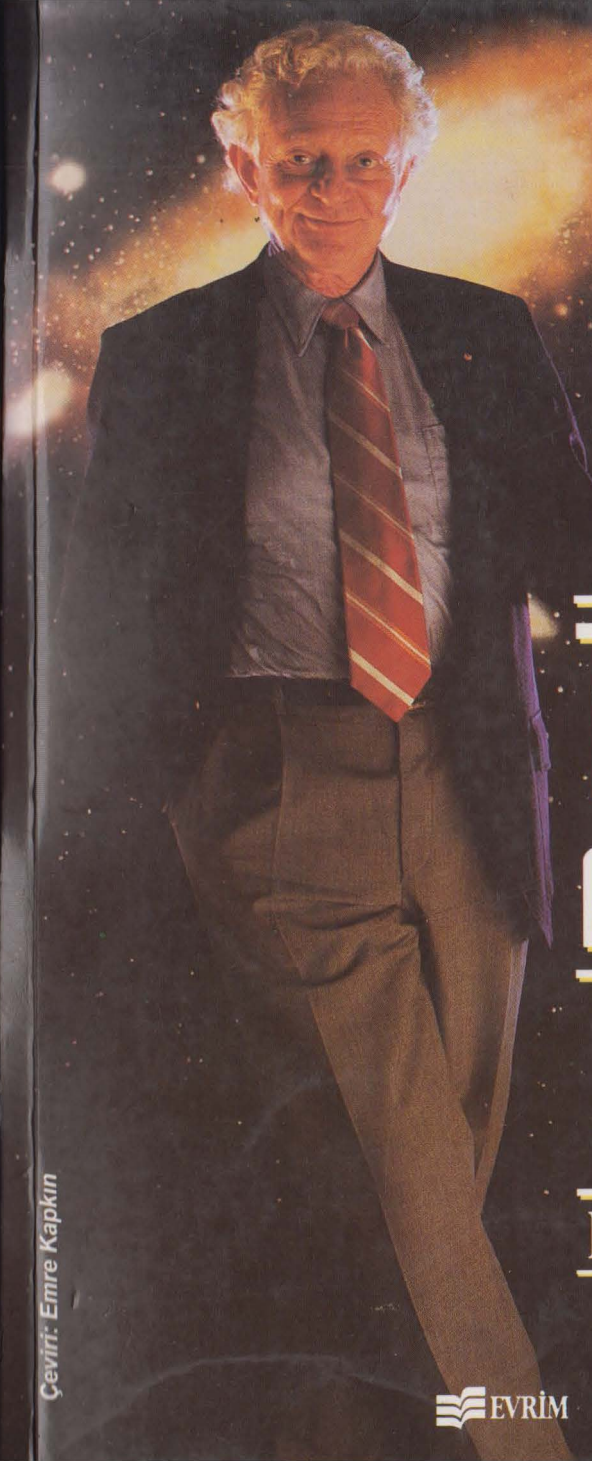
LEON LEDERMAN
ve
DICK TERESI

TANRI PARÇACIĞI

EĞER EVREN YANITSA SORU NE?

EVRİM



"FİZİK HAKKINDA ŞİMDİYE DEK YAZILMIŞ EN GÜLÜNÇ KİTAP."
— *DALLAS MORNING NEWS*

"LEDERMAN, ÇOK ÖZLENEN RICHARD FEYNMAN'DAN BU YANA EN ÇEKİCİ FİZİKÇİ."
— *SAN FRANSISCO EXAMINER*

TANRI PARÇACIĞI

EĞER EVREN YANITSA SORU NE?

LEON LEDERMAN
ve
DICK TERESI

Çeviri: Emre Kapkın

EVRİM

Bilim Dizisi: 22

"İNSANOĞLUNUN DOĞANIN MADDESİNİ ARAYIŞININ... VE İLERİDE DURAN BÜYÜK KEŞİFLERİN EĞLENCELİ TURU."

–Kirkus Reviews

LEON LEDERMAN'IN "NİHAİ ATOMUN ARAŞTIRILMASI"*

TANRI PARÇACIĞI

ÜZERİNE ELEŞTİREL ÖVGÜLER

"Kısmen tarih, kısmen özyaşamöyküsü, kısmen polemik yol üzerinde de biraz *mistik* yan darbeler... *Tanrı Parçacığı*nın keyfi, sırlarını ortaya çıkarmak için dünyayı deneysel olarak ele almanın keyfini betimleme biçimi."

*–Nature**

"Denemeye değer... Lederman'ın sunduğu şey insanlara, hani şu sıradan bir gökadanın alçakgönüllü bir yıldızının çevresinde dönen küçük bir gezegenin üzerinde kendini yineleyen maddeden oluşmuş önemsiz zerrelere, hepsinin oluşmasını sağlayan temel yasaları uslamlama şansı."

–The Washington Post Book World

"Canlı bir anlatı... Acımasız bir espri adamı, Mr.Lederman bize bir espri yığını... ve çarpıtılmış öyküler sunuyor."

–The Wall Street Journal

Daha olağanüstü övgüler için lutfen sayfayı çevirin

"Maddenin nihai bileşenlerinin araştırılmasının öyküsü daha önce bir çok kez anlatıldı ama asla bundan daha canlı ve nükteli olarak değil. Lederman gülünç bir adam Süper Çarpıştırıcının yapımını onaylaması için Başkan Reagan'ı kandırmaya nasıl yardım ettiğini neşeyle anlatışı bile kitabın fiyatını karşılıyor."

–Los Angeles Times

"İçeriden yüksek düzeyde bilgili birinin fizik dünyasına bakışı – parlak, ışıltılı, salt keyifli bir paket içinde."

–Kirkus Reviews

"Tanrı Parçacığı hem engin hem de ince sözcük oyunları, nükteli konudan sapmalar, muzip imalar ve esprilerle sarmalanmış. Şimdiye kadar fizik hakkında yazılmış en gülünç kitap olabilir."

–Dallas Morning News

"Kitap muazzam bir zekanın, inadına dağınık beyaz saçlar ve bir Nobel Ödülüyle tamamlandığında kuramla deneyi muazzam bir can sıkıntısı olmadan birleştirebileceğini kanıtlıyor...kozmosu neyin doğru yaptığı konusunda yeterince teknik merakı olanlar için zengin ödüller var."

–The Sunday Oklahoman

"Stephen Hawking'le Garrison Keillor arasında bir köprü, bilimci ve Nobel ödüllü Leon Lederman fiziği çekici bir konu yapmaya olabildiğince yaklaşıyor."

–Dallas Observer

"Lederman sizi kahkahaya boğacak –böylesine ağır bir konuyla Tanrı Parçacığına üstünlük kazandıran da bu.

–Newsday

"O çok gülünç... Lederman atomun içindeki dünyayı kavranabilir kılmak için büyük bir uğraş veriyor."

–Chicago Sun Times

"Parçacık fiziğinin başka bir dünyaya aitmiş gibi görünmesi herhangi birinin açıklama gücü için bir meydan okuma; bu nedenle Lederman'ın kusursuz mizahı ve öykü anlatma becerisi özellikle başarılı."

–Chicago Tribune

TANRI PARÇACIĞI

Eğer Evren Yanıtsa, Soru Nedir?

LEON LEDERMAN
DICK TERESI İLE

Çeviren: Dr. Emre Kapkın

EVRİM

EVRIM: 84
BİLİM: 21

•

Tanrı parçacığı
Eğer Evren Yanıtsa,
Soru Nedir?
Leon LEDERMAN

•

I. Basım Nisan 2001
ISBN: 975-503-089-1

•

Kitabın Özgün Adı: The God Particle
If the Universe Is the Answer, What Is the Question?
LEON LEDERMAN
DICK TERESI İLE
Çeviren: Dr. Emre Kapkın

•

"© Copyright 1993 by Leon Lederman and Dick Teresi
All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form"
© Copyright 2000 Leon Lederman and Dick Teresi
Bu kitabın Türkçe yayın hakları KESİM TELİF HAKLARI AJANSI ve TİC.AŞ aracılığıyla EVRİM YAYINEVİ ve BİLGİSAYAR SAN. TİC. LTD. ŞTİ.' ne aittir.

•

Yayın Yönetmeni: Ayfer KARAÖZ
Yayına Hazırlayan: Veli KARAÖZ
Kapak Film: Ebru Grafik
Baskı / Cilt: Sistem Ofset

•

EVRİM YAYINEVİ ve BİLGİSAYAR SAN. TİC. LTD. ŞTİ
Kadıköy İş Merkezi Neşet Ömer Sok. No: 10/ 78 -103 -108
Tel: (0216) 347 49 63 Pbx Fax: (0216) 347 76 I2
81300 Kadıköy / İSTANBUL
http://www.evrimkitap.com
e-mail:evrim@evrimkitap.com
e-mail:vkaraoz@hotmail.com

EVAN VE JAYNA İÇİN

Göreceliği de severim kuantum kurallarını da
Çünkü anlamam onlardan
Uzayı çarpılmış sandırırlar bana
Sanki yaramaz bir kuğuymuş da
Uslu uslu oturup boyunu ölçtürmüyormuş gibi
Ve sanki atom dürtüsel bir şeymiş de
durmadan fikir değiştiriyormuş.

–D. H. Lawrence

İÇİNDEKİLER

Dramatis Personae [Oynayanlar] 13

1 GÖRÜNMEYEN FUTBOL TOPU 15

2 İLK PARÇACIK FİZİKÇİSİ 43

Arasöz A: İki Kentin Öyküsü 88

3 ATOMU ARAMAK: MEKANİK 89

4 HÂLÂ ATOMU ARAMAK:
KİMYACILAR VE ELEKTRİKÇİLER 133

5 ÇIPLAK ATOM 173

Arasöz B: Dans Eden Moo-Shu Ustaları 225

6 HIZLANDIRICILAR:
ONLAR ATOMLARI EZİYORLAR DEĞİL Mİ? 237

Arasöz C: Denkliği Bir Hafta Sonu Nasıl da İhlal Ettik. ve Tanrıyı Keşfettik 301

7 A-TOM! 321

8 SONUNDA TANRI PARÇACIĞI 397

9 İÇ UZAY, DIŞ UZAY VE ZAMANDAN ÖNCEKİ ZAMAN 443

Teşekkürler 477

Tarih ve Kaynaklar Üzerine Bir Not 479

Dizin 483

DRAMATİS PERSONAE
[OYNAYANLAR]

Atomos ya da a-tom: Democritus'un icat ettiği kuramsal parçacık. Görünmez ve bölünmez olan atom maddelerin en küçük birimidir. Kimyasal atom denen şeyle karıştırılmamalı; onlar yalnızca her bir elementin (hidrojen, karbon, oksijen falan) en küçük birimidir.

Elektron: 1898'de keşfedilen ilk a-tom. Tüm çağdaş atomlar gibi elektronun da "sıfır çap" gibi garip bir özelliği olduğuna inanılır. A-tomların lepton ailesinin bir üyesidir.

Quark: A-tomlardan biri. Altı quark vardır – beşi keşfedilmiş biri (1993'de) hâlâ aranıyor. Altı quarkın her biri üç renkte olur. Altı tanenin yalnızca ikisi, üst ve alt quarklar günümüz evreninde doğal olarak bulunur.

Nötrino: Lepton ailesinden başka bir a-tom. Üç farklı türü vardır. Nötrinolar madde inşaatında kullanılmaz ama belli tepkimeler için temeldirler. Yarışın sonuncusu ünvanını kazanmışlardır. Sıfır yük, sıfır çap, ve büyük olasılıkla sıfır kütle.

Muon ve tau: Bu leptonlar elektronların kuzenleridir yalnız çok daha ağırdırlar.

Foton, graviton, W^+, W^- ve Z^0 ailesi, gluonlar: Bunlar parçacıktır ama quarklar ve leptonlar gibi madde parçacıkları değil. Sırasıyla elektromanyetik, yerçekimsel, zayıf ve güçlü kuvvetleri iletirler. Yalnız graviton henüz ortaya çıkarılmamıştır.

Boşluk: Hiçlik. Bunu da Democritus icat etmiştir. A-tomların içinde dolandıkları bir yer. Günümüzün kuramcıları boşluğu gerçek parçacıklar ve diğer süprüntülerden bir güldesteyle doldurmuşlardır. Çağdaş terimler: Vakum ve zaman zaman da eter (aşağıya bakın).

Eter: Isaac Newton tarafından icat edilmiş sonra James Clerk tarafından yeniden icat edilmiş. Bu, evrenin boş uzayını dolduran zımbırtıdır. Einstein tarafından aşağılanıp bir yana atılmıştı; şimdi

Nixonvari bir geri dönüş yapıyor. Aslında vakum gibi ama kuramsal, hayalet gibi parçacıklarla doldurulmuştur.

Hızlandırıcı: Parçacıkların enerjisini arttıran bir aygıt. $E = mc^2$ olduğundan bir hızlandırıcı bu parçacıkları ağırlaştırır.

Deneyci: Deney yapan fizikçi.

Kuramcı: Deney yapmayan fizikçi.

ve misafir sanatçı

Tanrı parçacığı

(nam-ı diğer Higgs parçacığı, n.d. Higgs bozonu, n.d. Higgs skalar bozonu)

• 1 •

GÖRÜNMEYEN FUTBOL TOPU

Atomlar ve boş uzay dışında hiçbir şey yoktur; başka her şey görüştür.

–Abdera'lı Democritus.

EN BAŞLANGIÇTA bir boşluk vardı –vakumun garip bir türü– hiçbir uzayı, hiçbir zamanı, hiçbir maddesi, hiçbir ışığı, hiçbir sesi olmayan bir hiçlik. Ama doğanın yasaları yerli yerindeydi ve bu garip vakumun gizilgücü vardı. Göklere uzanan bir uçurumun ucundan sarkan dev bir kaya gibi...

Durun bir dakika

Kaya düşmeden, şunu açıklamam gerekir ki ne hakkında konuştuğumu bilmiyorum. Mantıksal olarak bir öykü başlangıcından başlar. Ama bu öykü evren hakkında ve ne yazık ki En Başlangıç'a ilişkin *hiçbir veri* yok. Hiç, sıfır. Bir saniyenin trilyonda birinin milyarda biri yaşındaki erişkin haline gelene dek –yani Büyük Patlama'daki yaratılıştan çok kısa bir süre sonrasındaki– evren hakkında hiçbir şey bilmiyoruz.

Evrenin doğuşuna ilişkin bir şey okuduğunuz zaman birisi onu uyduruyordur. Felsefe alemindeyiz. En Başlangıçta ne olup bittiğini Tanrı bilir (o da sırrını ele vermiyor.)

Evet nerede kalmıştık? Ha, evet...

Göklere uzanan bir uçurumun ucundan sarkan bir kaya gibi boşluğun dengesi öyle inceydi ki bir değişiklik, evreni yaratacak bir değişiklik, üretmek için bir kapris yeterliydi. Ve bu oldu. Hiçlik patladı. Bu başlangıç akkorluğunda uzay ve zaman yaratıldı.

Bu enerjiden madde –ışımaya çözünen sonra da maddeye geri dönen yoğun bir parçacık plazması– doğdu. (Şimdi en azından elimizdeki birkaç olgu ve bazı tasarlanmış kuramla uğraşıyoruz). Parçacıklar çarpıştı ve yeni parçacıklar doğurdu. Kara delikler oluşup çözülürken uzay ve zaman kaynadı, köpürdü. Ne sahne ama!

Evren genişler, soğur ve daha az yoğun bir hal alırken parçacıkları pıhtılaştı ve güçler ayrımlaştı. Protonlar ve nötronlar biçimlendi; sonra çekirdekler ve atomlar ve de hâlâ genişleyen ve şurada burada yer yer yoğunlaşıp yıldızlar, gökadaları, gezegenler oluşturan kocaman toz bulutları. Gezegenin birinde –alelade bir yıldızın, standart bir gökadanın sarmal kolunda bir noktanın yörüngesinde çok sıradan bir gezegende– dalgalanan anakaralar ve bulanık okyanuslar kendilerini örgütlediler ve okyanuslar dışında bir organik molekül çamuru bir tepkimeye girip proteinleri inşa etti ve yaşam başladı. Basit organizmalardan bitkiler ve hayvanlar evrimleşti ve sonunda insanoğlu çıkageldi.

İnsanlar temelden farklıydılar çünkü çevrelerini şiddetle merak eden tek türdüler. Zamanla değişimler oluştu ve insanların garip bir alt kümesi ortalıkta dolanmaya başladılar. Bunlar tartışmacılardı. Evrenin görkemiyle mutlu olmakla yetinmiyorlardı. "Nasıl?" diye sordular. Evren nasıl yaratıldı? Evrenin "zımbırtısı" dünyamızın inanılmaz değişkenliğinden nasıl sorumlu olabilir: yıldızlardan, gezegenlerden, su samurlarından, okyanuslardan, mercanlardan, günışığından, insan beyninden? Değişikler yanıtlanabilecek bir soru atmışlardı ortaya – ama yalnızca bin yıllık emekle ve yüz kuşak boyunca ustadan çırağa aktarılmış adanmışlıkla yanıtlanacak bir soru. Soru ayrıca bir sürü yanlış ve utandırıcı yanıtı da esinledi. Neyse ki değişikler utanma duygusuyla doğmamışlardı. Onlara fizikçiler dendi.

Şimdi bu soruyu iki yüz yıldan fazla bir süre –kozmolojik zamanda ancak bir ışık çakımı– inceledikten sonra yaratılışın tüm öyküsüne göz atmaya başlıyoruz Teleskoplarımızda ve mikroskoplarımızda, gözlemevlerimizde ve laboratuarlarımızda –ve de not defterlerimizde– evre-

nin ilk anlarına egemen olan eski güzellik ve simetrinin taslaklarını algılamaya başlıyoruz. Neredeyse onu görüyoruz. Ama resim henüz net değil ve biz bir şeylerin –dünyamızın içsel basitliğini bulanıklaştıran, gizleyen, dumanlayan karanlık bir gücün– görüşümüzü bulandırdığını duyumsuyoruz.

EVREN NASIL ÇALIŞIR?

Bu kitap tek bir soruna adanmıştır, bilimi antik çağdan beri şaşırtan bir soruna. Maddenin en son yapı taşları nedir? Yunan filozofu Democritus en küçük birime *atomos* (sözcük olarak "kesilemeyen") adını vermiştir. Bu a-tom lise fen derslerinde öğrendiğimiz hidrojen, helyum, lityum ve ta uranyum ve ötesine dek uzanan atom değildir. Onlar günümüz standartlarına göre (bir bakıma Democritus standartlarına göre de) büyük, kaba saba, karmaşık oluşumlardır. Bir fizikçi için, hatta bir kimyacı için de, böyle atomlar daha küçük parçacıkların –elektronlar, protonlar ve nötronlar– gerçek çöp tenekeleridir protonlarla nötronlar ise daha da küçük şeylerle dolu kovalardır. Biz oradaki en ilkel nesneleri bilmeyi ve bu nesnelerin sosyal davranışlarını kontrol eden güçleri anlamayı gereksiniyoruz. Maddenin anahtarı Democritus'un a-tomudur sizin kimya öğretmeninizin atomu değil.

Bugün çevremizde gördüğümüz madde karmaşıktır. Yaklaşık yüz tane kimyasal atom vardır. Yararlı atom bileşimlerinin sayısı hesaplanabilir ve bu sayı çok büyüktür: milyarlarca ve milyarlarca. Doğa molekül denen bu bileşimleri gezegenleri, güneşleri, virüsleri, dağları, çek defterlerini, Diazemi, edebiyat ajanslarını ve öteki yararlı şeyleri yapmak için kullanır. Bu her zaman böyle değildi. Büyük Patlama'da evrenin yaradılışından sonraki ilk anlarda bugün bildiğimiz hiçbir karmaşık madde yoktu. Hiçbir çekirdek, hiçbir atom, daha basit parçalardan yapılmış hiçbir şey. Bunun nedeni erken dönemdeki evrenin kavurucu sıcağının bileşik nesnelerin oluşumuna izin vermemesidir; bu nesneler geçici çarpışmalarla oluşursa çabucak en ilkel yapıtaşlarına parçalanırlardı. Herhalde tek bir tür parçacık ve tek bir güç –ya da hatta birleşmiş tek bir parçacık/güç– ve fizik yasaları vardı. Bu ilk maddenin içinde insanların geliştiği belki de öncelikle bu şeyleri düşünsünler diye geliştiği karmaşık dünyamızın

tohumları vardı. İlk evreni sıkıcı bulabilirsiniz ama bir parçacık fizikçisi için ne günlerdi onlar! O basitlik, o güzellik ancak varsayımlarımızda sisli bir biçimde görselleşebiliyor.

BİLİMİN BAŞLANGICI

Benim kahramanım Democritus'tan önce bile dünyayı, açıklamaya cesaret etmiş Yunan filozofları vardı; mantıksal tartışmalar kullanmışlar ve boş inançları, mitleri ve tanrıların işe karışmasını kesinlikle dıştalamışlardı. O inançlar, mitler tanrılar korkutucu ve görünüşte keyfi görüngülerle dolu bir dünyaya uyumda değerli eşyalar gibi hizmet etmişlerdi. Ama Yunanlılar düzenliliklerden, gün ve gecenin dönüşümünden, mevsimlerden, ateşin, rüzgarın ve suyun eyleminden de etkilenmişlerdi. İ.Ö. 650 yılında Akdeniz havzasında büyük bir teknoloji doğmuştu. Oradaki insanlar toprağı ölçmeyi ve yıldızlar aracılığı ile yollarını bulmayı biliyorlardı; gelişmiş bir metalurjileri ve de takvimler ve çeşitli tahminler yapmak için yıldızların ve gezegenlerin konumları hakkında ayrıntılı bir bilgileri vardı. Üstün aletler, ince dokumalar ve zarifçe biçimlendirilmiş ve süslenmiş kap kacak yapıyorlardı. Ve Yunan İmparatorluğunun bir kolonisinde, şimdiki çağdaş Türkiye'nin batı kıyısındaki cıvıl cıvıl Milet kentinde görünümde karmaşık olan dünyanın içsel olarak basit olduğu –ve bu basitliğin mantıksal akıl yürütmeyle keşfedilebileceği– dile getirilmeye başlamıştı. Yaklaşık iki yüz yıl sonra Abdera'lı Democritus basit evrenin anahtarı olarak a-tomları önerdi ve araştırma başladı.

Fiziğin kökeni astronomiydi çünkü en eski filozoflar geceleyin gökyüzüne hayranlıkla bakmışlar ve yıldızların çizdiği örnekler, gezegenlerin devinimi, güneşin doğuşu ve batışı için mantıksal modeller aramışlardı. Zaman içinde bilim adamları gözlerini yeryüzüne çevirdiler: dünyanın yüzeyindeki görüngüler –ağaçlardan elmaların düşüşü, bir okun uçuşu, bir sarkacın düzenli devinimi, rüzgarlar ve dalgalar– bir dizi "fizik yasası"nı doğurdu. Fizik Rönesans döneminde çiçek açtı, 1500 yıllarında ayrı, kesin bir disiplin haline geldi. Yüzyıllar geçip giderken ve mikroskopların, teleskopların, vakum pompalarının, saatlerin filan icadıyla bizim gözlem gücümüz keskinleşirken sayıları defterlere yazarak, tablolar oluşturarak ve grafikler çizerek ve sonra

matematiksel davranışa uygunluğu zaferle not edilerek titizlikle betimlenebilen görüngüler ardarda açıklığa kavuşturuldu.

Yirminci yüzyılın erken kesiminde atomlar fiziğin keşif alanı haline gelmişti; 1940'larda çekirdekler araştırma odağı oldu. Giderek daha çok alan gözlem konusu haline geldi. Durmadan gücü artan aygıtların gelişimiyle giderek daha küçük şeylere daha yakından baktık. Gözlemleri ve ölçümleri, kaçınılmaz biçimde, kavrayışımızın bireşimleri, kısa özetleri, izledi. Her büyük gelişmeyle alan bölündü; bazı bilim adamları çekirdek ve çekirdekaltı evrene "indirgemeci" bir yol izlediler diğerleri ise atomları (atom fiziği), molekülleri (molekül fiziği ve kimya), çekirdek fiziğini falan daha iyi kavramak üzere bir yol izlediler.

LEON'UN TUZAĞA DÜŞMESİ

Ben bir molekül yumurcağı olarak başladım. Lisede ve yüksek okulun ilk yıllarında kimyayı sevdim ama giderek daha temiz –aslında kokusuz– görünen fiziğe doğru kaydım. Ayrıca fizikteki çocuklardan epey etkilenmiştim; daha gülünçtüler ve daha iyi basketbol oynuyorlardı. Grubumuzun devi Isaac Halpern'di; şimdi Washington Üniversitesinde fizik profesörü. Notlar asıldığında yalnızca aldığı A'nın düz mü işaretli mi[1] olduğuna bakmaya gittiğini söylerdi. Tabii onu severdik. Uzun atlamada da hepimizi geçerdi.

Fizik konuları kuru mantığı ve açık deneysel sonuçları yüzünden ilgimi çekmişti. Yüksek okulda son sınıftayken liseden en iyi arkadaşım şimdi Yale'de Einstein ödülü sahibi ünlü Martin Klein uzun bir akşam boyunca bir sürü bira devirdiğimizde bana fiziğin harikaları üzerine nutuk çekti. İşe de yaradı. A.B.D. Ordusuna Kimyada B.S[2] unvanıyla ve temel eğitimden ve II. Dünya Savaşından sağ çıkarsam fizikçi olma kararıyla katıldım.

---

[1] *[Notların harflerle belirlendiği sistemde her harf kendi içinde üzerine konan + ve – işaretiyle ayrıca üçe bölünmüş olur. Buna göre A⁺, A'nın da üstünde bir nottur. –çev.]*

[2] *[B.S. Bachelor of Science. 2 yıllık yüksek okul sonunda kazanılan unvan. Çev.]*

Sonunda 1948'de zamanında dünyanın en güçlü parçacık hızlandırıcısı olan, Columbia Üniversitesindeki sinkrosiklotronda Ph.D araştırma çalışmama başladığında fizik dünyasına doğdum. Dwight Eisenhower, Columbia'nın başkanı makineyi kutsayarak kordelayı 1950 Haziranında kesti. Ike'ın savaşı kazanmasına yardım ettiler; bana haftada doksan saat çalışma karşılığı bir yıl için yaklaşık 4000 $ verdiler. Sıkı zamanlardı. 1950'lerde sinkrosiklotron ve öteki yeni güçlü aygıtlar yeni parçacık fiziği disiplinini yarattılar.

Dışarıdan biri için parçacık fiziğinin en göze çarpan özelliği donanımdır, aletler yani. Ben sürüye tam da parçacık hızlandırıcıları rüştlerini ispat ettiğinde katıldım. Sonraki kırk yıl boyunca fiziğe egemen oldular, hâlâ da oluyorlar. İlk "atom parçalayıcı"nın çapı 8-10 cm. idi. Bugün dünyanın en güçlü hızlandırıcısı Illinois eyaletindeki Batavia'da Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuar'ında (Fermilab) bulunuyor. Fermilab'ın Tevatron denen makinesinin çevresi 4 mildir ve protonlarla antiprotonları birbirine daha önce ulaşılamamış enerjilerle çarpar. 2000 yılında ya da sonra enerji cephesinde Tevatronun tekeli kırılacak. Şu anda Texas'ta inşa edilmekte olan Süperiletken Süper Çarpıştırıcının (SSÇ), tüm hızlandırıcıların anasının çevresi ellidört mil olacak.

Bazen kendi kendimize sorarız: bir yerlerde yanlış yöne mi döndük? Donanıma takıntılı mı olduk? Parçacık fiziği, parçacıkların yüksek enerjilerle çarpıştığında Tanrı'nın bile ne olacağını bilmediği soyut görüngülerle uğraşan devasa araştırmacı grupları ve tarih öncesi anıtlara benzer makineleriyle bir tür gizli "siber bilim"imidir? Süreci kronolojik bir otoyolu, ussal olarak İ.Ö. 650 de Yunan kolonosi Miletus'tan başlayan bir yolu, izleyerek canlandırırsak güven ve esin kazanabiliriz. Otoyolun son durağı her şeyin anlaşıldığı –temizlik işçilerinin hatta belediye başkanının bile evrenin nasıl çalıştığını bildiği– bir kenttir. Otoyolu pek çok kişi izlemişti: Democritus, Archimedes, Copernicus, Kepler, Galileo, Newton, Faraday, Einstein, Fermi ve benim çağdaşlarıma dek tüm yol.

Otoyol daralır ve genişler; uzun hiçlik düzlüklerinden geçer (Nebraska'dan geçen 80 No.lu Devlet Yolu gibi) ve yoğun etkinliğin olduğu virajlı kesimlerden. "Elektrik mühendisliği", "Kimya", "radyo iletişimi" ya da "yoğun madde" adlı çekici yan yolları vardır Yan

yolları seçenler bu gezegendeki insanların yaşam biçimini değiştirmişlerdir. Ama Ototyolda kalanlar tüm yolun aynı levhayla işaretlendiğini görürler: "Evren nasıl çalışıyor?" 1990'ların hızlandırıcılarını bu Otoyolun üzerinde buluruz.

Ben Otoyola New York kentinin Broadway'inde ve 120 nci caddede katıldım. O günlerde bilimsel problemler çok açık ve çok önemli gibi görünürdü. Güçlü çekirdek gücü ve bazı kuramsal olarak tahmin edilen ve pi meson ya da pion denen parçacıklarla ilgiliydiler. Columbia'nın hızlandırıcısı masum proton hedeflerini bombardıman ederek pek çok pion üretmek üzere desenlenmişti. Aygıtlar o sırada basitti, bir üniversite öğrencisinin bile anlayabileceği kadar basit.

Columbia 1950'lerde fiziğin fidanlığıydı. Charles Townes kısa süre sonra laseri keşfedecek ve Nobel alacaktı. James Rainwater ödülü çekirdek modeliyle, Willis Lamb ise hidrojenin tayf çizgilerinde ince bir kaymayı ölçmesiyle alacaktı. Hepimizi esinleyen Nobel onurlu Isadore Rabi her ikisi de zamanı gelince Nobel kazanan Norman Ramsey ve Polykarp Kusch'un da içinde bulunduğu bir ekibin başıydı. T.D.Lee benzerliğin ihlali kuramıyla Nobel'i paylaştı. İsveç'in kutsal suyunda vaftiz edilmiş profesörlerin yoğunluğu hem coşturucu hem de çöküntüye uğratıcıydı. Genç öğretim üyeleri olarak bazılarımız "Henüz Değil" yazılı rozetler takardık.

Benim için mesleki tanınmanın Büyük Patlaması 1959-1962 yıllarında Columbia'dan iki meslektaşım ve benim yüksek enerjili nötrino çarpışmalarının ölçümünü ilk kez gerçekleştirmemize denk gelir. Nötrinolar benim gözde parçacıklarımdır. Bir nötrinonun neredeyse hiçbir özelliği yoktur, hiçbir kütle (ya da çok küçük) hiçbir elektrik yükü, hiçbir çap – ve yaralanmayı aşağılamayı eklersek hiçbir güçlü güç onu etkilemez. Bir nötrinoyu betimleyen ince anlatım "ele geçmez"dir. Yalnızca bir olgudur ve ölçülebilir bir çarpışmada yer alması çok küçük bir şans olarak milyonlarca mil som kurşundan geçebilir.

Bizim 1961 deneyimiz 1970'lerde parçacık fiziğinin "standart model"i diye bilinir hale gelen şeyin köşe taşını sağladı. 1988'de deney İsveç Kraliyet Bilim Akademisi tarafından Nobel ödülüyle tanındı. (Herkes neden yirmi yedi yıl beklediklerini soruyor. Gerçekten bilmiyorum. Aileme Akademinin ayaklarını sürüdüğü çünkü hangi

büyük başarımı onurlandıracaklarına karar veremedikleri düzmece nedenini söylüyorum.) Ödülü kazanmak gerçekten büyük heyecandı. Ama bu heyecan deneyimizin başarıya ulaştığını ayrımsadığımızda bizi eline geçiren inanılmaz coşkuyla gerçekten kıyaslanamaz.

Bugünün fizikçileri bilim adamlarının yüzyıllarca duyduğu duyguların aynısını duyarlar. Bir fizikçinin yaşamı sıkıntı, acı, zorluk, gerilim, umutsuzluk nöbetleri, çökkünlük ve cesaret kırıklıklarıyla doludur. Ama bunlar neşe, kahkaha, keyif ve coşkuyla noktalanmıştır. Bu mucizeler beklenmeyen zamanlarda gelirler. Sıklıkla basitçe başka birinin ortaya koyduğu bir şeyden yeni ve önemli bir şeyin, güzel bir şeyin ansızın kavranmasından türerler. Ancak tanıdığım çoğu bilim adamı gibi ölümlüyseniz evren hakkında kendinizin yeni bir şey keşfettiği çok daha tatlı anlar olur. Bunun ne kadar sık olarak gecenin üçünde olduğu şaşırtıcıdır; laboratuarda yalnızsınızdır, derin bir şeyi öğrenmişsinizdir ve dünyadaki diğer beş milyar insanın sizin şimdi bildiğinizi bilmediklerini ayrımsarsınız. Ya da bunu umarsınız. Kuşkusuz olabildiğince çabuk onlara söylemek için sabırsızlanırsınız. Buna "yayın" deniyor.

Bu kitap geçen 2 500 yılda bilim adamlarının yaşadığı sonsuz sayıda tatlı anlardan bir diziyle ilgilidir. Bu tatlı anlar bizim evrenin ne olduğu ve nasıl işlediğine ilişkin şimdiki bilgimizi oluşturmuştur. Öykünün bir kesimi de acı ve çökkünlüktür. Sıklıkla "Eureka" anının yolunu tıkayan doğanın inatçılığı, direngenliği, salt huysuzluğudur.

Ancak bilim adamı yaşamını doyurucu kılmak için Eureka anlarına bağlı kalamaz. Günlük etkinliklerde de biraz eğlence olmalıdır. Benim için bu eğlence bu olağandışı soyut konuda bize bir şeyler öğretebilecek aygıtı tasarlayıp inşa etmektedir. Columbia'da çabuk etkilenen bir üniversite öğrencisiyken Roma'dan gelen bir misafir profesöre bir parçacık sayacı inşa etmekte yardım etmiştim. Ben bu işte yeniydim o ise eski bir usta. Birlikte pirinç tüpü çarkta döndürdük (saat sabahın 5'ini geçiyordu ve makinistlerin tümü evlerine gitmişti). Cam başlı uca başlıklar lehimledik ve camı delen kısa, yalıtılmış metal kamışlardan bir altın tel geçirdik. Sonra biraz daha döndürdük. Tele 1 000 voltluk güç kaynağından özel bir kapasitörle yalıtılmış bir osiloskop bağlarken sayaçtan birkaç saat özel bir gaz geçirdik. Profesör arkadaşım –hadi ona Gilberto diyelim, zaten adı da bu– bir

yandan bana mükemmel biçimde bozuk bir İngilizce'yle parçacık sayaçlarının tarihi ve evrimi üzerine konferans verirken bir yandan da dikkatle osiloskopun yeşil çizgisini izliyordu. Ansızın Gilberto çıldırdı. "Mamma mia! Regardo incredibilo! Primo secourso!" (Ya da bunun gibi bir şeyler.) Bağırdı, gösterdi, beni havaya kaldırdı –hem de ondan onbeş santim uzun ve yirmi beş kilo daha ağır olduğum halde– odada beni dansettirdi.

"Ne oldu?" diye kekeledim.

"Mufiletto!" diye yanıtladı. "O saymak. O saymak!"

Bunların bir kısmını benim hatırım için yapıyor olabilirdi ama ellerimizle, gözlerimizle ve beyinlerimizle kozmik ışın parçacıklarının geçişini araştıran onları osiloskopun taramasında küçük bip sesleriyle işaretleyen aygıtı yapmış olmamızdan gerçekten heyecanlanmıştı. Bu görüngüyü belki de binlerce kez görmüş olmasına karşın heyecanını yitirmemişti. Bu parçacıklardan birinin Broadway'de 120. Caddeye onuncu kata doğru yoluna ışık yılları önce uzak bir gökadadan başlamış olması bu heyecanın yalnızca bir parçasıydı. Gilberto'nun bitmek bilmez gibi görünen hevesi bulaşıcıydı.

MADDE KÜTÜPHANESİ

Temel parçacıkların fiziğini açıklarken çoğu kez Romalı şair filozof Lucretius'un güzel bir mecazını ödünç alırım (ve biraz da süslerim). Diyelim ki bize bir kütüphanenin en temel öğelerini keşfetme görevi verilmiş olsun. Ne yapardık? Önce kitapları değişik konu kategorilerine göre düşünebilirdik: tarih, bilim, yaşamöyküsü. Ya da belki de onları ölçülerine göre düzenlerdik: kalın, ince, kısa, uzun. Böyle bir çok ayırımı göz önüne aldıktan sonra kitapların kolayca alt bölümlere ayrılabilecek karmaşık nesneler olduğunu ayrımsarız. Bu yüzden kitabın içine bakarız. Bölümler, paragraflar ve cümleler de çabucak çok ince olmayan karmaşık yapılar oldukları anlaşılıp bir yana bırakılır. Sözcükler! O zaman girişteki bir masanın üstünde kütüphanedeki tüm sözcüklerin kalın bir katalogunun – sözlüğün– olduğunu anımsarız. Dilbilgisi dediğimiz belli kuralları izleyerek kütüphanedeki tüm kitapları oluşturmak üzere sözlükteki

sözcükleri kullanabiliriz. Aynı sözcükler birbirleriyle farklı biçimlerde bir araya gelerek defalarca kullanılırlar.

Ama çok fazla sözcük vardır. Biraz daha düşünmek bizi harflere ulaştıracaktır çünkü sözcükler "bölünebilir." Hah şimdi bulduk! Yirmi altı harf on binlerce sözcüğü yapar, onlar da milyonlarca (milyarlarca?) kitabı oluştururlar. Şimdi yeni bir kurallar dizisini işe karıştırmamız gerekir: harf kombinasyonlarını kısıtlamak için imla. Çok genç bir eleştirmen işe karışmazsa buluşumuzu hemen yayınlayabiliriz. Küçük eleştirmen, hiç kuşkusuz çok bilmiş bir edayla şöyle diyecektir: "Yirmi altı harf gerekmez Dede. Gereksindiğin tek şey bir sıfırla bir bir. Bugünlerde çocuklar dijital beşik oyuncaklarıyla büyüyorlar ve sıfırlarla birleri alfabenin sözcüklerine dönüştüren bilgisayar algoritmalarıyla pek rahatlar. Eğer bunun için çok yaşlıysanız noktalarla çizgilerden oluşan Morse alfabesini anımsayacak kadar da yaşlısınız demektir. Her iki durumda da artık bir dizimiz vardır: 0 ya da 1 (veya nokta ve çizgi) ve yirmi altı harfi oluşturmak için uygun kodumuz; sözlükteki tüm sözcükleri yazmak için imla; sözcükleri cümlelere, paragraflara, bölümlere ve sonunda kitaplara dönüştürmek için dilbilgisi. Kitaplar da kütüphaneyi oluşturur.

Şimdi eğer 0 ya da 1'i ayırmak anlamsızsa kütüphanenin ilk, atomik öğelerini keşfetmişizdir. Yetersiz de olsa mecazda evren kütüphanedir, doğanın güçleri dilbilgisi, yazılış ve algoritmadır ve 0 ve 1 de bizim quarklar ve leptonlar dediğimiz şeyler, Democritus'un atomlarının çağdaş adaylarıdır. Kuşkusuz tüm bu nesneler görünmezdirler.

QUARKLAR VE PAPA

Dinleyicilerin arasındaki hanım inatçıydı. "Hiçbir atomu *gördünüz mü*?" diye sordu. Rahatsız edici de olsa uzun süredir atomların nesnel gerçekliğiyle yaşamış bir bilim adamı için anlaşılabilir bir soru. Atomların içsel yapısını gözümde canlandırabilirim. Küçük nokta çekirdeğin çevresinde sisli elektron bulutunu çizmek üzere dolanan bulutsu elektron "varlığı"nın zihinsel resimlerini anımsayabilirim. Bu zihinsel resimler iki farklı bilim adamı için asla aynı değildir çünkü

her ikisi de bu imgeleri eşitliklerden çıkarmışlardır. Böyle yazılı reçeteler bilim adamının bir görsel imgeye duyduğu insani gereksinimi yerine getirmeye sıra geldiğinde işleri pek de kolaylaştırmazlar. Yine de biz atomları ve protonları "görebiliriz", evet, quarkları da.

Benim bu zor soruyu yanıtlama girişimim her zaman "görmek" sözcüğünü genelleştirmeye çalışmakla başlar. Eğer gözlük takıyorsanız bu sayfayı "görüyor" musunuzdur? Ya bir mikrofilm basımına bakıyorsanız? Ya bir fotokopiye bakıyorsanız (hani şu benim telif hakkımı çaldıkları korsan basımlardan birine)? Ya metni bir bilgisayara ekranından okuyorsanız? Sonunda umutsuzca şunu sorarım: "Hiç papayı gördünüz mü?"

Genellikle yanıt "Tabii ki gördüm" olur. "Televizyonda gördüm." Sahi mi? Onun gördüğü bir ekranın içine boyanmış fosfor üzerine çarpan bir elektron demetidir. Benim atom ya da quarka ilişkin kanıtım da en az bunun kadar sağlamdır.

Nedir bu kanıt? Bir kabarcık odasında parçacık izleri. Fermilab hızlandırıcısında bir proton ile antiproton arasındaki çarpışmadan çıkan "kalıntı" üç kat yüksekliğinde 60 milyon dolarlık bir detektör tarafından elektronik olarak yakalanır. İşte "kanıt", "görme", bir parçacık geçtiğinde bir elektrik akımı geliştiren on binlerce alıngaçtır. Tüm bu akımlar yüz binlerce telden geçirilip elektronik veri işleyicilerine beslenir. En sonunda manyetik bantların makaralarında sıfırlar ve birlerle kodlanmış bir kayıt oluşur. Bu bant protonların antiprotonlara detektörün değişik kesimlerinde ayrı ayrı uçan yetmiş kadar parçacığı oluşturabilen sıcak çarpışlarını kaydeder.

Bilim, özellikle de parçacık fiziği, sonuçlarının yinelenmesiyle güven kazanır – yani California'daki bir deney Cenevre'de çalışan farklı tipte bir hızlandırıcı tarafından onaylanır. Ayrıca her deneyin içine aygıtın tasarlandığı gibi çalıştığını kontrol eden sınayıcılar yerleştirilir. Bu uzun ve kapsamlı bir süreçtir, on yıllar süren deneylerin sonucudur.

Yine de parçacık fiziği pek çok insana akıl ermez gelir. Dinleyicilerin arasındaki şu inatçı hanım küçük görünmez nesneleri kovalayan bir grup bilim adamına şaşıp kalan tek kişi değildir. O halda bir başka mecaz deneyelim.

GÖRÜNMEYEN FUTBOL TOPU

Twilo gezegeninden zeki yaratıklar düşünün. Az çok bize benziyorlar, bizim gibi konuşuyorlar, her şeyi insanlar gibi yapıyorlar – bir şey hariç. Görme aygıtlarında umulmadık bir şey var. Siyahla beyazın keskin karşıtlığını taşıyan nesneleri göremiyorlar. Örneğin zebraları göremiyorlar. Ya da UFL hakemlerinin gömleklerini. Ya da futbol toplarını. Bu arada bu çok da garip bir rastlantı değildir. Dünyalılar daha da gariptir. Görme alanımızın ortasında sözcüğün tam anlamıyla iki kör noktamız vardır. Bu delikleri görmememizin nedeni beynimizin alanın geri kalan kısmından gelen bilgiyle bu deliklerde ne bulunması *gerektiğini* tahmin edip oraları bizim için doldurması yüzündendir. İnsanlar gördüklerinin bir kesimi tahminden ibaret olduğu halde her gün otoyolda saatte 150 km. hızla yol alır, beyin ameliyatı yapar ve yanan meşalelerle hokkabazlık yaparlar.

Diyelim ki Twilo gezegeninden bu grup dünyaya bir iyi niyet göreviyle gelmiş olsun. Kültürümüzün havasını onlara tattırmak için onları gezegenimizin en popüler kültürel olayını görmeye götürelim: bir Dünya Kupası futbol maçına. Kuşkusuz biz onların siyah beyaz futbol topunu görmediklerini bilmiyoruz. Böylece onlar oturup maçı yüzlerinde kibar ama karışık bir anlatımla izlerler. Twilo'lular açısından sahada bir grup kısa pantolonlu insanlar bir aşağı bir yukarı koşuşuyor, bacaklarını amaçsızca havaya fırlatıyor, birbirlerine çarpıyor ve yere düşüyordur. Bazan resmi bir düdük çalınışıyla oyunculardan biri yan çizgiye koşuyor, orada duruyor ve öteki oyuncular onu izlerken her iki kolunu da başının üstüne doğru kaldırıyordur. Bir kez kaleci açıklanmaz bir biçimde yere düştüğünde büyük bir sevinç oluşmuş ve karşı takım bir puanla ödüllendirilmiştir.

Twilo'lular tamamen şaşkınlaşmış olarak yaklaşık onbeş dakika geçirirler. Sonra oyalanmak için oyunu anlamaya girişirler. Bazıları sınıflandırma teknikleri kullanır. Kısmen giysiler yüzünden birbiriyle çatışma halinde iki takım olduğu sonucuna varırlar. Değişik oyuncuların hareketlerinin dökümünü yaparlar ve her oyuncunun sahada aşağı yukarı belirli bir coğrafik bölgede kaldığını keşfederler. İnsanların da yapacağı gibi Twilo'lular her futbolcunun oynadığı

pozisyonlara adlar vererek Dünya Kupası futbolunun anlamı araştırmalarını açıklığa kavuştururlar. Pozisyonlar kategorize edilir, karşılaştırılır ve karşıtlaştırılır. Her pozisyonun nitelikleri ve kısıtlamaları dev bir kartta listelenir. Büyük ara verildiğinde Twilo'lular *simetri*'nin işlemekte olduğunu keşfetmiş olurlar. A Takımındaki her pozisyona karşılık B Takımında bir karşılık vardır.

Oyunun bitmesine iki dakika kaldığında Twilo'lular düzinelerle kart düzenlemiş, yüzlerce tablo ve denklem çıkarmış ve de futbol maçlarına ilişkin karmaşık kuralların çetelesini tutmuşlardır. Ama kurallar kısıtlı bir biçimde doğru da olsa hiçbiri oyunun esasını kavrayamamıştır. Sonra o zaman dek sessiz kalmış genç kıytırık bir Twilo'lu aklından geçenleri söyleyiverir. "Varsayalım ki" der sinirlice "görünmeyen bir top olsun."

"Ne diyorsun?" diye karşılık verir yaşlı Twilo'lular.

Büyükleri oyunun özü gibi görünen şeyi, çeşitli oyuncuların gidiş gelişlerini ve alanın belirlenişini gözlemlerken kıytırık gözlerini nadir olaylara dikmiştir. Ve bir tane bulmuştur. Hakem bir sayıyı ilan etmeden hemen önce ve kalabalık çılgınca sevinmeden bir saniye önce genç Twilo'lu kale ağının arkasında bir tümseğin anlık görüntüsünü ayrımsamıştır. Futbol düşük skorlu bir oyundur bu nedenle gözlemleyecek az sayıda tümsek oluşur ve her biri çok kısa ömürlüdür. Öyle de olsa kıytırık için her tümseğin yarı küre biçiminde olduğunu not etmeye yetecek kadar olay bulunmaktadır. Futbol oyununun görünmeyen (en azından Twilo'lular için görünmeyen) bir topa bağımlı olduğu yolundaki o çılgınca sonuca varmasının nedeni budur.

Twilo'dan gelen grubun geri kalanları bu kuramı dinlerler, deneysel kanıtın zayıf olmasına karşın epeyce tartıştıktan sonra gencin bir şey yakalamış olduğu sonucuna varırlar. Grupta yaşlı bir devlet adamı –sonradan bir fizikçi olduğu ortaya çıkar– birkaç nadir olayın bazen bin tane sıradan olaydan daha aydınlatıcı olduğunu gözlemler. Ama asıl birleştirici bir top olması *gerektiği*dir. Bazı nedenlerden Twilo'luların göremediği topun varlığını doğrulayın ve ansızın her şey çalışmaya başlasın. Oyun anlam kazanır. Yalnızca bu da değil, bir önceki akşam boyunca derlenen tüm kuramlar, kartlar ve şemalar da geçerliliğini korur. Top basitçe kurallara anlam kazandırmış olur.

Bu fizikteki bir çok bulmaca için geniş bir mecaz, özellikle de parçacık fiziğine çok uygun. Nesneleri (topu) bilmeden kuralları (doğanın yasalarını) anlayamayız ve yasaların mantıksal bir dizisi olmaksızın da tüm parçacıkların varlığını asla uslamlayamazdık.

BİLİMİN PİRAMİDİ

Burada bilim ve fizikten söz ediyoruz bu nedenle ilerlemeden önce bazı terimleri açıklayalım. Bir fizikçi nedir? Ve bu iş tanımı büyük bilim şemasında nereye uyar?

Her ne kadar bir toplumsal değer ya da hattâ entelektüel yiğitlik hiyerarşisi değilse de gözle görülür bir hiyerarşi vardır. Bir Texas Üniversitesi hümanisti olan Frederick Turner bunu çok daha tumturaklı bir biçimde dile getirmiştir. Bir bilim piramidi vardır, der. Piramidin temeli matematiktir, matematik daha soyut ya da daha moda olduğundan değil matematik başka herhangi bir disipline dayanmadığı ya da başka bir disipline gereksinim duymadığı için; oysa piramidin ikinci katmanı, fizik, matematiğe bel bağlar. Fiziğin üzerinde fizik disiplinine gereksinimi olan kimya oturur; bu basitleştirilmiş ayrımda fizik kimya yasalarıyla ilgilenmez. Örneğin kimyacılar atomların molekülleri oluşturmak için nasıl birleştikleri ve moleküllerin sıkı bir yakınlıkta nasıl davrandıklarıyla ilgilenirler. Atomlar arasındaki güçler karmaşıktır ama en sonunda bunlar elektriksel olarak yüklü parçacıkların çekim ve itim yasasıyla –yani fizikle– ilgilidirler. Sonra hem kimya hem de fiziğin anlaşılması üzerinde duran biyoloji gelir. Piramidin daha üstteki katları giderek daha bulanık ve daha ayrımsanamaz hale gelir: fizyoloji, tıp ve ruhbilime ulaştığımızda eski hiyerarşi karışır. Ara kesitlerde tireyle ayrılmış ya da bileşik konular bulunur: matematiksel fizik, fiziksel kimya, biofizik. Astronomiyi fiziğin içine sıkıştırmak zorundayım kuşkusuz, ama bu açıdan jeofiziği ya da nörofizyolojiyi ne yapacağımı bilmiyorum.

Bu piramit eski bir sözden saygısızca derlenmiş olabilir: fizikçiler yalnızca matematikçilerin dediğine uyarlar; matematikçilerse yalnızca Tanrının (gerçi bu denli alçakgönüllü bir matematikçi de pek bulunmaz).

DENEYCİLER VE KURAMCILAR: ÇİFTÇİLER, DOMUZLAR VE MANTARLAR

Parçacık fiziği disiplini içinde kuramcılar ve deneyciler vardır. Ben ikinci cinstenim. Genelde fizik bu iki kesimin etkileşimi sayesinde gelişir. Kuramla deney arasındaki ezeli aşk–nefret ilişkisinde bir tür çetele tutma bulunur. Kaç tane önemli deneysel buluş kuram tarafından tahmin edilmiştir? Kaç tanesi tam anlamıyla sürprizdi? Örneğin pozitif elektron'u (pozitron'u) kuram öngörmüştü, pion'u da, antiproton'u da, nötrino'yu da. Muon, tau lepton ve upsilon sürprizdi. Daha kapsamlı bir inceleme bu saçma tartışmada kaba bir eşitliği gösterir. Ama kim sayıyor ki?

Deney, gözlemleme ve ölçme demektir. Gözlemlerin ve ölçümlerin en verimli olduğu özel koşulların oluşturulmasını da kapsar. Antik Yunanlılarla çağdaş astronomlar ortak bir problemi paylaşırlar. Gözlemledikleri nesneleri yönetmemişlerdi ve yönetmiyorlar. Eski Yunanlılar bunu yapamadılar ya da yapamazlardı; onlar yalnızca gözlemlemekle doyum buldular. Astronomlar iki güneşi –ya da daha iyisi iki gökadayı– çarpıştırmaya bayılırlardı ama henüz bu yeteneği geliştirmedikleri için gözlemlerinin niteliğini geliştirmekle yetinmek zorundalar. Ama España'da bizim parçacıklarımızın özelliklerini incelemek için 1003 yolumuz var.

Hızlandırıcıları kullanarak yeni parçacıkların varlığını araştırmak için deneyler düzenleyebiliriz. Parçacıkların atom çekirdeklerine çarpmasını örgütleyebilir ve –eğer şifreyi çözersek– Miken'li bilginlerin Doğrusal B'yi okudukları gibi sonraki sapmaların ayrıntılarını okuyabiliriz. Parçacıklar üretiriz sonra ne kadar yaşadıklarını görmek için onları "izleriz"

Kavrama yeteneği olan bir kuramcının eldeki verileri bireştirmesi varlığını gerektiriyor gibi göründüğünde yeni bir parçacık tahmin edilir. Çok sık olarak varolmaz ve o özel kuram acı çeker. Ölüp ölmeyeceği kuramcının esnekliğine kalmıştır. İşin özü her iki tür deneyin de yapıldığıdır: bir kuramı sınamak için yapılanlar ve yeni bir alanı araştırmak için yapılanlar. Kuşkusuz sıklıkla bir kuramın *yanlışlığını kanıtlamak* için yapılanlar çok daha eğlencelidir. Thomas Huxley'in yazdığı gibi: "Bilimin büyük trajedisi – güzel bir hipotezin

çirkin bir gerçek tarafından kılıçtan geçirilmesi." İyi kuramlar zaten bilineni açıklar ve yeni deneylerin sonuçlarını tahmin eder. Kuramla deney arasındaki etkileşim, parçacık fiziğinin eğlencelerinden biridir.

Tarihteki önde gelen deneycilerden bazıları –Galileo, Kirchhoff, Faraday, Ampère, Hertz, Thomson'lar (hem J.J. hem de G.P.) ve Rutherford'da dahil– oldukça uzman kuramcılardı da. Deneyci – kuramcı, soyu tükenmekte olan bir türdür. Zamanımızda Enrico Fermi ünlü bir istisnaydı. I.I.Rabi aradaki genişleyen uçurumla ilgili endişesini Avrupalı deneycilerin bir sütun sayıyı toplayamayacağını, kuramcıların da kendi ayakkabılarını bağlayamayacaklarını söyleyerek ifade etmişti. Bugün her ikisi de evreni anlama amacında ortak olan ama kültürel görünüm, beceri ve çalışma alışkanlıkları açısından büyük farklar gösteren iki grup fizikçi vardır. Kuramcılar işe geç gelme eğilimindedir, Yunan Adalarında ya da İsviçre dağlarında çok yorucu toplantılara katılırlar ve çöplerini atmak için çok daha sık olarak evlerine giderler. Uykusuzluktan endişelenme eğilimindedirler. Bir kuramcının laboratuar hekimine büyük bir endişeyle gittiği anlatılır: "Doktor bana yardım etmelisin! Bütün gece iyi uyuyorum, sabahları da fena değil ama öğleden sonraları yatakta dönüp duruyorum." Bu davranış bir karikatür olarak Thorstein Veblen'in bestseller'i *Kuram Sınıfında Boş Zaman* kitabının haksız tiplemesini oluşturur.

Deneyciler geç gelmezler – eve hiç gitmezler. Yoğun bir laboratuar çalışması boyunca dış dünya yok olur ve obsesyon doruktadır. Uyku, hızlandırıcının döşemesine kıvrıldığınız bir saattir. Bir kuramsal fizikçi tüm yaşamını hiçbir ürküntü ve tehlike –başının üstündeki on tonluk yüküyle vinçler, yanıp sönen kurukafalar ve kemikler ve de TEHLİKE, RADYOAKTİVİTE işaretleri– olmaksızın geçirebilir. Bir kuramcının tek gerçek tehlikesi hesaplarının üzerinde sürünen bir böceğe kurşun kalemiyle saldırırken kendini yaralamasıdır. Benim kuramcılara yönelik tutumum bir kıskançlık ve korku karışımıdır; ayrıca saygı ve sevgi. Kuramcılar bilim üzerine tüm popüler kitapları yazmışlardır: Heinz Pagels, Frank Wilczek, Stephen Hawking, Richard Feynman ve ark. Eh neden olmasın? Bir sürü boş zamanları var. Kuramcılar kibirli olmaya eğilimlidir. Fermilab'daki yöneticiliğim sırasında kuram grubumuzu kibirliliğe karşı özellikle uyardım. Sonunda biri beni ciddiye aldı. Ofisinde kulağıma çalınan duasını hiç

unutmam: "Tanrım beni kibir günahım için bağışla, ve Tanrım kibir derken ben şunu kast ediyorum...."

Kuramcılar çoğu başka bilimci gibi şiddetle, bazen saçma bir biçimde, yarışmacı olabilirler. Ama bazı kuramcılar yücedirler, yalnızca ölümlülerin katıldığı savaşların çok üzerindedirler. Enrico Fermi klasik bir örnektir. Büyük İtalyan Fizikçi, en azından dıştan, yarışmanın geçerli bir kavram olduğuna ilişkin hiçbir ipucu vermezdi. Oysa sıradan fizikçi "Önce biz yaptık!" diyebilirdi. Fermi yalnızca ayrıntıları bilmek isterdi. Ancak Long Island'da Brookhaven Laboratuarı yakınlarında bir kumsalda bir yaz günü ona, insanın ıslak kumdan nasıl gerçekçi heykeller yapabileceğini gösterdim. Hemen hangimizin en iyi uzanmış çıplak yapabileceğimiz konusunda yarışmamızda ısrar etti. (O yarışmanın sonuçlarını buradan açıklamaktan kaçınıyorum. Sonuç Akdeniz çıplak heykel ekolünden mi yoksa Pelham Koyu ekolünden mi olduğumuza göre değişir.)

Bir keresinde bir konferansta yemek kuyruğunda kendimi Fermi'nin arkasında buldum. Büyük adamın huzurunda olmanın coşkusuyla az önce dinlediğimiz K-sıfır-iki denen parçacığın varlığının kanıtı hakkında ne düşündüğünün sordum. Bir süre gözlerini bana dikti ve "Genç adam" dedi "bu parçacıkların adlarını anımsayabilseydim botanikçi olurdum." Bu öykü pek çok fizikçi tarafından anlatılmıştır ama oradaki etkileyici genç araştırmacı *ben*dim.

Kuramcılar deneycilerin (biz katıksız tesisatçı ve elektrikçilerin) söyleşip bir şeyler öğrenmeyi sevdiği sıcak, hevesli insanlar olabilirler. Zamanımızın önde gelen kuramcılarıyla uzun söyleşiler yapmanın tadını almak benim şansım olmuştu: ölmüş olan Richard Feynman, onun Cal Tech'ten[1] meslektaşı Murray Gell-Mann, çapkın Teksaslı Steven Weinberg ve benim rakibim komik Shelly Glashow. James Bjorken, Martinus Veltman, Mary Gaillerd ve T.D. Lee birlikte olunması, kendilerinden bir şeyler öğrenilmesi ve çimdiklemesi eğlenceli olmuş olan diğer büyüklerdir. Benim deneylerimin önemli bir kesimi bu bilginlerin makalelerinden ve onlarla tartışmalardan çıkmıştır. Bazı kuramcılar çok daha az keyiflidirler, zekaları kuşkucu

[1] *[California Technology –çev.]*

bir güvensizlikle sakatlanmıştır Amadeus filminde Salieri'nin Mozart hakkındaki görüşünü anımsatırlar: "Tanrım neden böyle ilahi bir besteciyi bir eşeğin gövdesine yerleştirdin?"

Kuramcılar erken bir yaşta zirveye ulaşmaya bakarlar; yaratıcı sıvılar çok erken fışkırma ve on beş yaşından sonra kurumaya başlama eğilimindedir – ya da böyle görünür. Yeterince bilmeleri gerekir; gençken gereksiz entelektüel bagaj biriktirmemişlerdir.

Kuşkusuz kuramcılar keşiflerin kredisinden haksız bir pay almaya bakarlar. Kuramcı, deneyci ve keşif dizisi bazen çiftçi, domuz, mantar dizisine benzetilmiştir. Çiftçi domuzu mantarların olabileceği bir alana sürer. Domuz dikkatle mantarları araştırır. Sonunda bir tane bulur ve tam gövdeye indirmek üzereyken çiftçi mantarı koparır.

GEÇ SAATLERE KADAR OTURAN ADAMLAR

Aşağıdaki bölümlerde keşifçilerin gözünden konunun tarihine ve geleceğine deneycileri de –umarım ayarını kaçırmadan– vurgulayarak yaklaşacağım. Pisa'nın Eğri Kulesinin tepesine sızıp iki eşit olmayan ağırlığı iki darbe ya da tek darbe işitebilmek için tahta bir platforma atan Galileo'yu düşünün. Chicago Üniversitesinin futbol sahası altında ilk durdurulmuş zincirleme tepkimeyi gerçekleştiren Fermi ve arkadaşlarını düşünün.

Bir bilimcinin yaşamının sancı ve zorluğundan söz ederken varoluşsal anksiyeteden fazlasından söz ediyorum. Galileo'nun çalışması kilise tarafından lanetlenmişti; Madame Curie radyasyon zehirlenmesinin yol açtığı lösemi kurbanı olarak hayatıyla ödedi. Pek çoğumuzda katarakt gelişti. Hiçbirimiz yeterince uyumaz. Evren hakkında bildiklerimizin çoğunu gece geç saatlere kadar oturan bir yığın adama (ve hanıma) borçluyuz.

A-tom'un tarihi kuşkusuz kuramcıları da içerir. Onlar Steven Weinberg'in "deneysel hamleler arasındaki karanlık zamanlar" dediği zamanlarda onun deyişiyle bizi "neredeyse sezdirmeden daha önceki inançların değişmelerine" yöneltirler. Weinberg'in kitabı *İlk Üç Dakika*, şimdi modası geçmiş olmasına karşın, evrenin doğuşunun en iyi popüler anlatılarından biridir. (Her zaman kitabın bu kadar çok

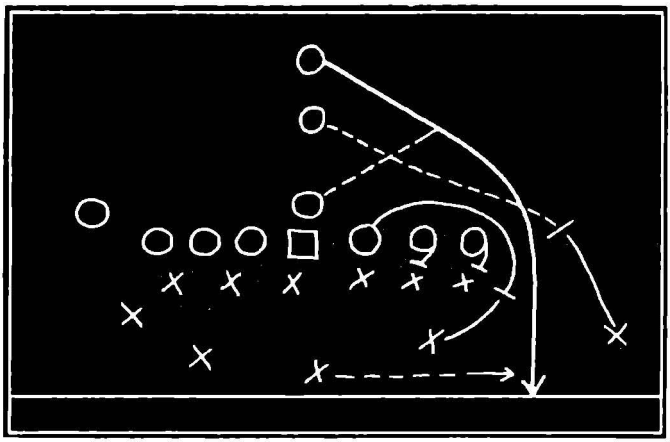
satmasının insanların onu seks kitabı sanmasından ileri geldiğini düşünmüşümdür) Benim vurgum atomun içinde yapmış olduğumuz kritik ölçümler üzerine olacak. Ama kurama dokunmadan veriler hakkında konuşamazsınız. Tüm bu ölçümler ne demektir?

AH AH MATEMATİK

Biraz matematik hakkında konuşmak zorunda kalacağız. Deneyciler bile bazı eşitlikler ve sayılar olmaksızın yaşayamazlar. Matematikten tümüyle kaçınmak incelenen kültürün dilini incelemekten kaçınan antropologun rolünü oynamak gibi olurdu ya da İngilizce öğrenmemiş bir Shakespeare bilgininin rolünü. Matematik, bilimin (özellikle fiziğin) dokumasının öyle karışık bir kesimidir ki onu bir yana atmak güzelliğin çoğunu, ifade bolluğunun çoğunu ve konunun tören giysilerinden çoğunu bir yana atmak olur. Pratik açıdan matematik fikirlerin nasıl geliştiğini, aygıtların nasıl çalıştığını, her şeyin nasıl bir araya geldiğini açıklamayı kolaylaştırır. Şurada bir sayı bulursunuz aynı sayıyı burada bulursunuz – belki de birbirleriyle ilişkilidirler.

Ama korkmayın. Hesaplamalar yapmayacağım. Finalde de matematik olmayacak. Chicago Üniversitesinde bir kursta bilim dışı öğrencilere ders verdim (kursun adı "Şairler için Quantum Mekaniği'ydi) Matematiği, Tanrı affetsin, tüm sınıfın önünde *yapmadan* sadece ona değinerek konunun üzerinde durdum. O zaman bile tahtadaki soyut simgelerin otomatik olarak gözleri matlaştıran suyu salgılayan organı uyardığını gördüm. Örneğin eğer $x = vt$ (okunuşu: iks eşittir ve kez te) yazmışsam konferans salonunda soluklar tutuluyordu. Yılda 20 000 $ ödeyen anababaların bu zeki çocukları $x = v.t$ ile başa çıkamayacağı için değil. Onlara x ve t için sayıları verin ve v'yi hesaplamalarını söyleyin %48'i doğru hesaplar, %15'i öğrenci konseyinin kararı uyarınca yanıtlamayı reddeder, %5'i de yoklamaya katılır. (Evet toplamın 100 etmediğini biliyorum. Ama ben deneyciyim, kuramcı değil. Ayrıca aptalca hatalar sınıfıma güven veriyor.) Öğrencileri garipleştiren benim onun hakkında konuşacağını bilmeleriydi. Matematik hakkında konuşmak onlar için yeniydi ve son derecede kaygı yaratmıştı.

Öğrencilerimin saygısını ve sevgisini yeniden kazanmak için hemen daha tanıdık ve rahat bir konuya geçtim. Aşağıdakini inceleyin.



Bu diyagrama bakıp anlamaya çalışan bir Marslı düşünün. Göbeğinden gözyaşları dökülecektir. Ama sizin orta zekalı, lise terk, futbol fanatiğiniz hemen havlar "Bu Washington Redskins'in kale önü karambolü!" İki geri oyuncuyu birden hücuma çıkarmanın bu anlatımı $x = v.t$'den daha mı basit? Aslında aynı derecede soyut ve daha gizli kapaklı. $x = v.t$ eşitliği evrenin her yerinde çalışır. Redskins'in verkaçı Detroit ya da Buffalo'da sayıya dönüşebilir ama Bears'e asla işlemez.

O halde eşitliklerin tıpkı futbol oyunu diyagramlarının futbol sahasında gerçek bir dünyaları olması gibi –onlar kadar aşırı karmaşık ve incelikten yoksun– gerçek bir dünyaları olduğunu düşünün. Aslında $x = v.t$ eşitliğini yönetmek önemli değildir. Daha önemli olan onu okuyabilmek ve onu içinde yaşadığımız evrenin bir cümlesi olarak anlamaktır. $x = v.t$'yi anlamak güce sahip olmaktır. Geleceği tahmin edebilir ve geçmişi okuyabilirsiniz. O hem Ouija tahtası hem de Rosetta taşıdır.[1] O halde ne anlama geliyor?

[Ouija tahtası: Ruh çağırma seanslarında kullanılan, üzerinde alfabe harfleri yazılı tahta. Rosetta taşı Mısır hiyerogliflerinin çözülmesini sağlayan ve üzerinde aynı metnin hem hiyeroglif, hem çivi yazısı hem de yunan alfabesiyle yazılı olduğu tablet. –çev.]

x bir şeyin nerede olduğunu söyler. Şey Porsche'sinin içinde eyaletlerarası karayolunda yol alan Harry de olabilir bir hızlandırıcıdan yınlayan bir elektron da. Örneğin $x = 16$ birim olduğunda Harry ya da elektronun bizim sıfır dediğimiz bir noktadan 16 birim ötede olduğunu kast ederiz. v, Harry ya da elektronun ne kadar hızlı gittiğidir – örneğin Harry'nin arabayı saatte 80 mille sürmesi ya da elektronun saniyede 1 milyon metreyle oyalanması. t birileri "başla" diye bağırdıktan sonra geçen zamanı temsil eder. Şimdi biz şeyin herhangi bir anda nerede olacağını tahmin edebiliriz, t ister 3 saniye olsun, ister 16 saat, isterse 100 000 yıl. Şeyin geçmişte nerede olduğunu da söyleyebiliriz t ister –7 saniye ($t = 0$ olmadan 7 saniye önce) isterse –1 milyon yıl olsun. Başka bir deyişle Harry sizin kapınızın önünden yola çıkmış ve doğuya doğru saatte 80 mil hızla bir saat gitmişse "başla" dediğinizden bir saat sonra sizin kapınızdan 80 mil doğuda olacağı açıktır. Tersine hızının hep v ve v'nin de saatte 80 mil olduğunu varsayarsak Harry'nin bir saat önce (-1 saat) nerede olduğunu da hesaplayabiliriz – kritik bir varsayım çünkü eğer Harry ayyaşın tekiyse bir saat önce Joe'nun barının önünde durmuştur.

Richard Feynman eşitliğin inceliğini başka bir biçimde sunar. Onun anlatımında bir polis bir station arabadaki kadını durdurur ve hırlar "Saatte seksen mil gittiğinizi biliyor musunuz?"

"Saçmalama" der kadın "Evden çıkalı on beş dakika oldu." differansiyel hesaba mizahi bir giriş icat ettiğini düşünen Feynman bu öyküyü anlattığı için cinsiyet ayrımcısı olmakla suçlandığında şok olmuştu o yüzden ben öyküyü burada anlatmayacağım.

Matematik kıtasında kısa gezimizin ana fikri, eşitliklerin çözümü olduğu ve bu çözümlerin ölçüm ve gözlemin "gerçek dünyası"yla kıyaslanabileceğidir. Eğer bu karşılaştırmanın sonucu başarılıysa insanın başlangıçtaki yasaya güveni artar. Zaman zaman çözümlerin her zaman gözlem ve ölçüme uymadığını ve bu durumda tekrar tekrar kontrol ettikten sonra çözümün çıktığı "yasa"nın tarihin çöp sepetine gönderildiğini göreceğiz. Bazen doğanın bir yasasını ifade eden eşitliklerin sonuçları tümüyle beklenmedik ve garip olur ve kurama kuşku düşürür. Eğer daha sonraki gözlemler yine de doğru olduğunu gösterirse seviniriz. Sonuç ne olursa olsun evren hakkındaki etrafına taklar kurulmuş hakikatler de rezonans halindeki elektrik devrelerinin

işleyişi de çelik bir inşaat putrelinin titreşimleri de matematik diliyle anlatılırlar.

EVRENİN YAŞI SANİYELERLE (10^{18} TANESİYLE) ÖLÇÜLÜR

Sayılar hakkında bir şey daha. Konumuz sıklıkla çok küçük şeylerin dünyasıyla çok büyüklerin dünyası arasında salınır. Böylece sıklıkla çok çok büyük ya da çok çok küçük sayılarla uğraşıyor olacağız. Bu nedenle çoğunlukla onları bilimsel yazımla yazacağım. Örneğin bir milyonu 1.000.000 diye yazmak yerine şöyle yazacağım 10^6 Bu 10'un altıncı kuvveti demektir ki bu da 1 den sonra altı tane sıfır bulunduğu anlamına gelir ve dolar olarak yaklaşık fiyatlarla A.B.D. hükümetini 20 saniye idare eder. Geleneksel olarak 1'le başlamayan büyük sayılar da bilimsel yazımla ifade edilebilir. Örneğin 5.500.000 5.5×10^6 diye yazılır. Minik sayılar için sadece bir eksi işaret: ekleriz. Milyonda bir (1/1.000.000) şöyle yazılır: 10^{-6}; bu, virgülden sonra altıncı basamaktaki 1 ya da 0,000001 anlamına gelir.

Önemli olan bu sayıların basamaklarını kavramaktır. Bilimsel yazımın dezavantajlarından biri sayıların gerçek büyüklüğünü (ya da küçüklüğünü) gizlemesidir. Bilimsel olarak uygun zamanlar akıl durdurucudur: 10^{-1} saniye bir göz kırpmasıdır; 10^{-6} saniye muon parçacığının ömrüdür ve 10^{-23} saniye ışık parçacığının, fotonun, çekirdeği geçmesi için geçen süredir. Onun kuvvetlerinde yükselmenin, büyüklüğü muazzam biçimde arttırdığını unutmayın. Örneğin 10^7 saniye dört aydan biraz fazlasına eşittir; 10^9 saniye ise otuz yıla. Ama 10^{18} saniye yaklaşık olarak evrenin yaşı, Big Bang'den bu yana geçmiş olan zamanın miktarıdır. Fizikçiler onu saniyelerle ölçer – yalnızca biraz fazlaca saniye ile.

Düşlenemez ölçüde küçükle sonsuz arasında dağılan tek nicelik zaman değildir. Bugün ölçüme elverişli en küçük uzaklık 10^{-17} santimetre kadar bir şeydir ki bu da Z^0 (ze sıfır) denen bir şeyin dünyamızdan yola çıkınca gidebileceği yoldur. Kuramcılar bazen çok daha küçük uzay kavramlarıyla uğraşırlar; örneğin bugünlerde moda olan ama çok soyut ve çok varsayımsal bir parçacık kuramı olan süper

zincirin büyüklüğünün 10^{-35} santimetre olduğunu söylerler, gerçekten küçük. Öteki uçta en büyük uzaklık gözlemlenebilen evrenin çapı olup 10^{28} cm.den biraz küçüktür.

İKİ PARÇACIKLA NİHAİ T–ŞÖRT'ÜN ÖYKÜSÜ

On yaşındayken kızamık oldum ve beni eğlendirmek için babam büyük puntolarla yazılmış *Göreceliğin Öyküsü* diye Albert Einstein'la Leopold Infeld'in yazdığı bir kitap getirdi. Einstein'la Infeld'in kitabının başlangıcını hiç unutmayacağım. Dedektif öykülerinden, her dedektif öyküsünün nasıl da bir gizi, ipuçları ve bir dedektifi olduğundan söz ediyordu. Dedektif ipuçlarını kullanarak gizi çözer.

Aşağıdaki öyküde çözülmesi gereken iki giz vardır. Her ikisi de kendini parçacıklar halinde dışavurur. Birincisi uzun süredir aranan atomdur; maddenin ilk kez Democritus tarafından varsayılan görünmeyen, bölünemeyen parçacığı. A-tom parçacık fiziğinin temel sorularının merkezinde yer alır.

İlk gizi çözmek için 2500 yıldır uğraştık. Her biri özenli çalışmalarla ortaya çıkarılmış binlerce ipucu vardır. İlk birkaç bölümde öncülerimizin yapbozu bir araya getirmek için ne gibi girişimlerde bulunduklarını göreceğiz. Kaç tane "çağdaş" fikrin on altıncı ve on yedinci yüzyılda, hatta İsa'dan önceki yüzyıllarda kucaklanmış olduğunu görmekten şaşıracaksınız. Sonunda şimdiki zamana dönecek ve ikinci, belki de çok daha büyük gizin, benim kozmik senfoniyi orkestra için yazdığına inandığım parçacıkla temsil edilen gizin, peşine düşeceğiz. Ve kitabın akışı içinde Pisa'daki bir kuleden ağırlıklar atan bir onaltıncı yüzyıl matematikçisi ile Illionois'in soğuk, rüzgarın süpürdüğü çayırlarındaki bir kulübede donmuş toprağın altına gömülü yarım milyar dolarlık bir hızlandırıcıdan akan verileri kontrol ederken parmakları donan günümüzün parçacık fizikçisi arasındaki doğal akrabalığı göreceksiniz. Her ikisi de aynı soruları sormuştu. Maddenin temel yapısı nedir? Evren nasıl çalışır?

Bronx'ta büyürken ağabeyimin saatlerce kimyasal maddelerle oynamasını izledim. Tam bir fırlamaydı. Deneylerini seyretmeme izin versin diye evdeki tüm ayak işlerini yapardım. O şimdi tuhafiye

işinde. Caf caflı yastıklar, propaganda rozetleri ve üstünde hoş sözler olan T-şörtler gibi şeyler satıyor. Bunlar insanlara dünya görüşlerini daha geniş olmayan bir cümlede toplama olanağı veriyor. Bilimin daha kibirli bir amacı olmamalıdır. Benim hırsım tüm fiziğin bir T-şörtün önüne sığacak kadar zarif ve basit bir formülle indirgendiğini görecek kadar yaşamak.

Nihai T-şörtün araştırılmasında yüzyıllar boyunca önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Örneğin Newton, yerçekimiyle ortaya çıkmıştır; şaşırtıcı derecede farklı görüngüleri açıklayan bir güç; gelgitleri, bir elmanın düşüşünü, gezegenlerin yörüngelerini ve gökadaların kümelenmesini. Newton T-şörtünde F = m a yazar. Daha sonra Michael Faraday ve James Clerk Maxwell elektromanyetik tayfın gizini ortaya çıkardılar. Elektrik, mıknatıslık, güneş ışığı, radyo dalgaları ve X ışınlarının tümünün aynı gücün dışavurmaları olduğunu buldular. Herhangi bir kampüs kitapçısı size üzerinde Maxwell'in eşitlikleri yazılı bir T-şört satabilir.

Bugün, pek çok parçacık sonra, elimizde tüm gerçekliği bir düzine kadar parçacığa ve dört kuvvete indirgeyen standart model var. Standart model Pisa'nın eğri kulesinden bu yana tüm hızlandırıcılardan gelen verileri temsil eder. Quarklar ve leptonlar diye adlandırılan parçacıkları –her birinden altışar tane– mükemmel bir tablo biçiminde düzenler. İnsan tüm standart modeli biraz karışık da olsa bir T-şört üzerine çizebilir. Bu aynı yolda yolculuk yapan bir fizikçi ordusunun ortaya çıkardığı zor kazanılmış bir basitliktir. Ancak standart model T-şörtleri aldatıcıdır. On iki parçacığı ve dört kuvvetiyle dikkate değer ölçüde doğrudur. Ama aynı zamanda tam değildir ve aslında içsel olarak sabit değildir. Sabit olmayışlara kısa özürler için T-şörtte yer açılacak olursa çok büyük beden gerekir ve yine de T-şörtün dışına taşabiliriz.

Mükemmel T-şört araştırmamızı engellemek için yolumuza dikilen kimdir ya da nedir? Bu bizi geriye ikinci gizimize götürür. Antik Yunanlılar tarafından başlatılan görevimizi tamamlamadan önce avımızın bizi şaşırtmak için yanlış ipuçları bıraktığı olasılığını göz önüne almamız gerekir. Bazen bir John le Carré romanındaki bir casus gibi deneycinin bir tuzak kurması gerekir. Suçluyu kendini ele vermeye zorlaması gerekir.

GİZEMLİ MR.HIGGS

Parçacık fizikçileri şu sıralarda tıpkı böyle bir tuzak hazırlamaktalar. Çevresi elli dört mil olan Superiletken Super Çarpıştırıcının ikiz ışın tüplerini içeren ve içinde haini kıstıracağımızı umduğumuz bir tünel inşa ediyoruz.

Ama ne hain! Tüm zamanların en büyüğü! Evrenin her yanında bizi maddenin gerçek doğasını anlamaktan alıkoyan tekinsiz bir varlığın bulunduğuna inanıyoruz. Bizi nihai bilgiye ulaşmaktan alıkoymaya çalışan bir şey ya da birisiymiş gibi.

Bu, bizi gerçeği bilmekten alıkoyan görünmez engele Higgs alanı denir. Buzsu dokunaçları evrenin her köşesine ulaşır ve bilimsel ve felsefi çıkarımları her fizikçinin tüylerini diken diken eder. Higgs alanı kara büyüsünü –başka neyle olacak?– bir parçacıkla çalıştırır. Bu parçacığa Higgs bozonu denir. Higgs bozonu Super Çarpıştırıcının inşasının birincil nedenidir. Ancak SSÇ Higgs bozonu üretmek ve aramak için gerekli enerjiye sahiptir ya da biz buna inanıyoruz. Bu bozon bugün fiziğin konumunda öyle merkezidir ki, maddenin yapısını kavramamızda öyle önemlidir ki, öyle yakalanmaz ki ben ona bir takma ad verdim: Tanrı Parçacığı. Neden Tanrı parçacığı? İki nedenle. Bir, yayıncı ona hainlikleri ve neden olduğu maliyet açısından daha uygun bir ad olmasına karşın Tanrının Belası Parçacığı dememize izin vermezdi. Ve iki, başka bir kitapla, *pek* eski bir kitapla konusal bir bağlantı var da ondan.

KULE VE HIZLANDIRICI

Ve tüm dünyada tek bir dil ve tek bir konuşma vardı

Ve zaman geçti, onlar doğuya doğru giderken Shinar ülkesinde bir ova buldular; ve oraya yerleştiler. Ve birbirlerine Haydi dediler tuğla yapalım ve onları iyice pişirelim. Ve duvar için tuğlaları ve harç için çamurları oldu. Ve Haydi dediler bir kent yapalım ve bir kule, tepesi belki cennete ulaşır; ve kendimize bir ad verelim ki tüm dünyanın yüzüne dağılmayalım.

Ve Tanrı aşağıya kenti ve adamların çocuklarının inşa ettiği kuleyi görmeye geldi. Ve Tanrı, işte dedi tek bir halk ve hepsinin tek bir dili var; ve bu da yapmaya başladıkları şey ve şimdi onlardan hiçbir şey esirgenmeyecek yapmayı hayal ettikleri hiçbir şey. Haydi aşağıya inelim ve orada dillerini karıştıralım ki birbirlerinin konuşmasını anlamasınlar.

Böylece Tanrı onları o zamandan sonra tüm dünyanın yüzeyine dağıttı ve onlar kenti yapmayı bıraktılar. Bu yüzden kentin adı Babil oldu.

– Yaratılış 11: 1-9

Bir zamanlar, pek çok binyıl önce, bu sözcükler yazılmadan çok önce doğa yalnızca tek dil konuşuyordu. Madde her yerde aynıydı – zarif, akkor halindeki simetrisi içinde güzel. Ama çok uzun bir zaman içinde alçakgönüllü bir yıldızın yörüngesindeki bu sıradan gezegende yaşayan bizlerin aklını karıştırmak üzere değişmiş ve pek çok biçimde evrene saçılmıştı.

İnsanoğlunun ussal bir dünya anlayışı arayışlarında gelişmenin hızlı, hamlelerin bol ve bilimcilerin tam bir iyimserlik içinde olduğu zamanlar olmuştur. Başka zamanlarda mutlak kargaşa egemendir. Sıklıkla en karışık evreler, entelektüel kriz ve tam anlayışsızlık zamanları bizzat aydınlatıcı hamlelerin habercisi olmuştur.

Parçacık fiziğinin son birkaç on yılında Babil Kulesi öyküsünün uygun düşeceği garip bir entelektüel baskı evresindeydik. Parçacık fizikçileri dev hızlandırıcılarını evrenin parça ve süreçlerini açınsamak için kullanıyorlardı. Maceraya son yıllarda dev teleskoplarla 15 milyar yıl önce olduğuna inandıkları ve Big Bang dedikleri dehşetli bir patlamanın kalıntı kıvılcımlarını ve tozlarını gözetleyen astronomlarla astrofizikçiler de yardım ediyordu.

Her iki grup her şeyi açıklayacak basit, tutarlı, her şeyi kapsayan bir modele doğru ilerlemekteydi: madde ve enerjinin yapısı, inanılmaz ısısı ve yoğunluğuyla bebek evrenin en baştaki anlarından bugün bildiğimiz görece soğuk ve boş dünyaya kadar uzanan ortamlarda kuvvetlerin davranışı. Bir garipliğin, evrende düşman gibi görünen bir kuvvetin ayağa dikilmesiyle sendelediğimizde güzelce, belki pek

güzelce, ilerliyorduk. İçinde gezegenlerimizin, yıldızların ve gökadaların gömülü olduğu her şeyi kaplayan boşlukta bir şey fırlayıvermiş gibiydi. Henüz arayamadığımız ve oraya bizi sınamak ve şaşırtmak için konmuş denilebilecek bir şey. Çok mu yaklaşmıştık? Arkeolojik kayıtları şapşalca değiştiren sinirli bir Büyük Oz Büyücüsü mü vardı?

Konu fizikçilerin bu bulmacayla karışıklığa mı düşecekleri yoksa mutsuz Babil'lilerin tersine, kuleyi inşa etmeye devam edip Einstein'ın dediği "Tanrının fikrini anlamaya" mı çalışacağı konusuydu.

Ve tüm evrende bir çok dil ve bir çok konuşma vardı.

Ve zaman geçti onlar doğuya doğru giderken Waxahachie ülkesinde bir ova buldular ve oraya yerleştiler. Ve birbirlerine Haydi dediler bir Dev Çarpıştırıcı inşa edelim; öyle ki çarpışmaları zamanın başlangıcına dek ulaşsın. Eğim için superiletken mıknatısları ve parçalamak için protonları vardı.

Ve Tanrı adamların çocuklarının inşa ettiği hızlandırıcıyı görmek için aşağı indi. Ve Tanrı dedi İşte insanlar benim karışıklığımı çözüyorlar. Ve Tanrı içini çekti ve dedi Haydi aşağıya inelim ve onlara Tanrı Parçacığını verelim ki yarattığım evrenin ne kadar güzel olduğunu görebilsinler.

Pek Yeni Ahit, 11: 1

• 2 •

İLK PARÇACIK FİZİKÇİSİ

Şaşırmış göründü "Bir atomu kesecek bir bıçak mı buldunuz?" dedi. *Bu* kentte mi?"

Başımı salladım. "Tam da onun ağzının üzerinde oturuyoruz" dedim.

–Hunter S.Thompson'un affına sığınarak

Dünyanın en karmaşık bilimsel laboratuarı da olsa herkes Fermilab'ın içine arabayla (ya da yürüyerek veya bisikletle) girebilir. Çoğu devlet binaları mahremiyetlerini koruma konusunda militandır. Ama Fermilab sırları açma işiyle uğraşır saklamakla değil. Köktenci 1960'larda Atom Enerjisi Komisyonu benim öncelim ve laboratuarın kurucu yöneticisi Robert R.Wilson'a eylemci öğrencileri Fermilab'ın kapısında durdurmak için bir plan geliştirmesini söylemişti. Wilson'un planı basitti. AEK'na protestocuları tek başına ve tek bir silah kuşanmış olarak karşılayacağını söyledi: bir fizik konferansı. Komisyona bunun en cesur kitle kışkırtıcılarını dağıtmaya bile yetecek derecede öldürücü olacağı güvencesini verdi. Bugüne dek laboratuar yöneticileri acil durumlar için el altında bir konferans bulundururlar. Hiçbir zaman kullanmak zorunda kalmayalım diye dua edelim.

Fermilab Illinois'de Batavia'nın beş mil doğusunda Chicago'dan arabayla yaklaşık bir saat batıda, 300 dönüm mısır tarlasından bozma bir arazide yer aldı. Arazinin Pine Street girişinde ilk yönetici olmasının yanında bir sanatsal, mimari ve bilimsel zafer olan Fermilab binasından da epeyce sorumlu olan Robert Wilson tarafından

yaratılmış dev bir çelik heykel bulunur. *Kırılmış Simetri* adını taşıyan heykel yerden on beş metre yüksekte bir noktada kesişecekmiş gibi duran yukarıya doğru eğimli üç yaydan ibarettir. Birleşmezler, en azından açık bir biçimde. Üç kol buluşur ama neredeyse sanki birbirleriyle konuşmamış üç farklı müteahhit tarafından inşa edilmişlercesine gelişigüzel bir biçimde. Heykelin bir "ayy" havası vardır – şu andaki evrenimizden pek de farklı değil. Eğer heykelin çevresinde dolaşırsanız dev çelik çalışmanın sinir bozucu düzeyde her açıdan asimetrik olduğu görülür. Ama eğer dosdoğru onun altında sırtüstü yatarsanız heykelin simetrik olduğu bir gözlem noktasının tadını çıkarırsınız. Wilson'un sanat yapıtı Fermilab'a mükemmel biçimde uyar. Çünkü oradaki fizikçilerin iş tanımı çok asimetrik gibi görünen bir evrende kuşkulandıkları gizli bir simetrinin ipuçlarını araştırmaktadır.

Araziye girecek olursanız yörenin en belirgin binasıyla karşılaşırsınız. Wilson Hall, Fermilab'ın on altı katlı merkezi laboratuar binası kat kat yukarıya doğru yükselir; Dürer'in dua eden elleri gibi bir şey. Bina Wilson'un Fransa'da Beauvais'yi ziyareti sırasında gördüğü İ.S. 1255'de inşa edilmiş bir katedralden esinlenmiştir. Beauvais katedrali bir din adamları bölmesiyle bağlanmış iki kuleden oluşmuştu. İ.S. 1972'de tamamlanan Wilson Hall iki kule (dua eden iki el) ile çeşitli katlardaki birleşmeler ve dünyanın en büyük girişlerinden birinden ibarettir. Yükselen binaya girişte bir yansıtıcı havuzla havuzun ucunda yüksek bir dikilitaş vardır. Dikilitaş, Wilson'un laboratuara son sanatsal katkısı, tüm araştırmacılar tarafından Wilson'un Son Çizimi diye bilinir.

Wilson Hall'e teğet olarak laboratuarın varoluş nedeni yer alır: parçacık hızlandırıcısı. Çayırın dokuz metre altında gömülü, çevresi dört mil olan sekiz on santim çapında paslanmaz çelik bir tüp olarak tanımlanır. Protonları dairesel yoluna yönelten bin tane süperiletken mıknatısla sarılmıştır. Hızlandırıcı çarpışmalar ve ısıyla doludur. Bu halka içinde protonlar yaklaşık ışık hızıyla kardeş antiprotonlarıyla baş başa yok olmalarına doğru yarışırlar. Bu çarpışmalar zaman zaman mutlak sıfırın üzerinde 10.000 trilyon (10^{16}) derecelik ısılar doğurur, bu güneşin merkezindeki ısıdan ya da bir supernova'nın müthiş patlamasındakinden çok fazladır. Burada bilimciler bilim kurgu filmlerinde gördüklerimizden çok daha yasal zaman yol-

cularıdır. Böylesi ısıların son kez "doğal" oluşu Big Bang'den, evrenin doğuşundan, bir saniyenin minik bir kesri kadar sonrasına denk düşer.

Yeraltında olmasına karşın hızlandırıcı halkası halkanın üzerinde altı metre yüksekliğinde bir toprak yığını nedeniyle yukarıdan kolayca ayırt edilir. (Çok ince, çevresi dört mil olan bir simit düşünün) Çoğu insanlar yığının amacının makinenin radyasyonunu soğurmak olduğunu sanır ama asıl neden Wilson'un estetik yönü olan bir adam olmasıdır. Hızlandırıcının tüm inşa çalışmasından sonra onun nerede olduğunu söyleyemediği için düş kırıklığına uğramıştı. Bu yüzden işçiler, hızlandırıcının çevresinde soğutma havuzları için delikler açtıklarında molozları bu kocaman çembere yığdırdı. Çemberi vurgulamak için Wilson çevresinde üç metre genişliğinde bir kanal ve havaya su fıskiyeleri fırlatan dolanım pompaları donattı. Kanal görsel olduğu kadar işlevseldir de; soğutma suyunu hızlandırıcıya taşır. Her şey garip bir biçimde güzeldir. Yeryüzünden üç yüz mil yükseklikten alınan uydu fotoğraflarında yığın ve su yolu –o yükseklikten mükemmel bir çembere benzer– kuzey Illinois manzarasında görülen en keskin görüntüdür.

Arazinin hızlandırıcı halkasının içinde kalan 266 dönümü garip bir geriye dönüştür. Laboratuar halkanın içinde çayırlığı canlandırıyor. Son iki yüz yıldır Avrupa otları tarafından neredeyse boğulan özgün çayırlığın uzun otları Chicago yöresindeki çayır kalıntılarından tohumlar yetiştiren birkaç yüz gönüllü sayesinde yeniden yetişmiştir. Borazan kuşları, Kanada kazları ve kumluk turnaları halkanın içini benekleyen yüzey suyu toplayıcı göllerinde yuvalarını yaparlar.

Yolun öte yanında, ana halkanın kuzeyinde, bir başka restorasyon projesi vardır – yüz buffaloluk bir sürüyü barındıran bir otlak. Sürü Illinois'de doğmuş birkaç hayvan dışında Colorado ve Güney Dakota' dan getirilen hayvanlardan oluşur; oysa sekiz yüz yıldır Batavia bölgesinde buffalo yetişmemiştir. Ondan önce şimdi fizikçilerin gezindiği çayırlarda sürüler yayılırdı. Arkeologlar şimdiki Fermilab arazisi üzerinde buffalo avcılığının yörede bulunan tüm ok uçlarının kanıtladığı üzere dokuz bin yıl geriye gittiğini söylüyorlar. Görünen o ki yüzyıllar boyunca Yerli Amerikalılar yakınlardaki Fox nehrinden avcılarını şimdi Fermilab olan yere göndermişler, avcılar orada kamp

kurup hayvanları avlamış ve onları geriye nehir kıyısındaki köylerine götürmüşler.

Bazı insanlar günümüz buffalolarını önemsiz bir tedirginlik sayıyorlar. Bir keresinde Phil Donahue'nun programında Fermilab'ı tanıtırken binaların yakınında oturan bir hanım telefon etmişti. "Dr. Lederman hızlandırıcıyı oldukça zararsız hale getirdi." diye yakındı. "Eğer öyleyse tüm bu buffalolar ne oluyor? Hepimiz onların radyoaktif maddelere çok duyarlı olduğunu biliyoruz." Buffalonun maden ocaklarındaki kanaryalara benzediğini yalnızca kömür gazı yerine radyasyon araştırmak üzere eğitildiğini sanıyordu. Onun beni tepedeki ofisimde bir tanesi devrilip kalırsa otoparka koşmak üzere bir gözüm buffalo sürüsünde çalıştığımı hayal ettiğini sanıyorum. Doğrusu buffalo sadece buffalodur. Bir Geiger sayacı radyasyon tarayıcısı olarak çok daha iyi çalışır üstelik çok daha az saman tüketir.

Pine Street'ten doğuya Wilson Hall'den uzağa gidin, aralarında madde üzerine pek çok keşfimizi yapmak üzere düzenlenmiş çarpışma tarayıcısı tesisi (ÇTT) ve birkaç yıl önce ölen büyük Cal Tech kuramcısının adına yeni inşa edilen Richard P.Feynman Bilgisayar Merkezi de olmak üzere başka bir çok önemli binaya gelirsiniz. Arabanızı sürmeye devam edin ve sonunda Eola Road'a gelin. Sağa dönün ve bir mil kadar düz gidin; solda 150 yıllık bir çiftlik evi göreceksiniz. Burası benim yönetici olarak yaşadığım yerdir: 137 Eola Road. Bu resmi bir adres değil. Sadece evin üzerine koymak için seçtiğim sayı bu.

Aslında tüm fizikçilere ofislerine ya da evlerine ne kadar çok şey bilmediğimizi anımsatsın diye bir işaret koymalarını öneren Richard Feynman'dır. Sayı basitçe bunu gösteriyor: 137. Yüz otuz yedi ince yapı sabiti diye bilinen bir şeyin tersidir. Bu sayı bir elektronun bir fotonu yayma ya da soğurma olasılığıyla ilişkilidir. İnce yapı sabiti aynı zamanda alfa adını da yanıtlar ve elektron yükünün karesi alınır ışık hızı çarpı Planck sabitine bölünürse ona ulaşılır. Tüm bu laf kalabalığı tek bir sayının, 137'nin, elektromanyetizm (elektron), görelilik (ışık hızı) ve kuantum kuramı (Planck sabiti) kesişmesini kapsadığı anlamına gelir. Tüm bu önemli kavramlar arasındaki ilişkinin bir ya da üç veya pi'nin katı olduğu ortaya çıksa çok daha az rahatsız edici olurdu. Ama 137?

Bu kayda değer sayının en kayda değer yanı boyuttan bağımsız olmasıdır. Işık hızı yaklaşık saniyede 300.000 kilometredir. Abraham Lincoln'ün boyu 1.98 m. idi. Çoğu sayıların boyutları vardır. Ama alfa'yı oluşturan nicelikleri birleştirdiğiniz zaman tüm birimler iptal olur! Yüz otuz yedi, kendi başına gelir; her yerde çıplak olarak ortaya çıkar. Bu Mars'taki ya da Sirius yıldızının ondördüncü gezegenindeki bilimcilerin yük, hız ve Planck sabitinin kendi versiyonları için hangi Allahın cezası birimleri kullanırlarsa kullansınlar 137 bulacakları anlamına gelir. O asal bir sayıdır.

Fizikçiler son elli yıldır 137'yle boğuşmuşlardır. Werner Heisenberg bir keresinde Kuantum mekaniğinin tüm şaşkınlıklarının sonunda 137 açıklandığında sone ereceğini söylemişti. Mezuniyet öncesi öğrencilerime dünyanın herhangi bir yerindeki büyük bir kentte sıkıntıya düşerlerse bir kartona "137" yazıp kalabalık bir caddenin köşesinde havaya kaldırmalarını söylerim. Önünde sonunda bir fizikçi sıkıntıda olduklarını anlayacak ve yardıma gelecekti. (Bildiğim kadarıyla hiçbiri bunu denemedi ama deneseler işe yarardı.)

Fizikte harika (ama kanıtlanmamış) öykülerden biri hem 137'nin önemini vurgular hem de kuramcıların kibirliliğini sergiler. Bu masala göre İsviçre inançlı Avusturyalı ünlü matematiksel fizikçi Pauli cennete gitmiş (bundan eminiz) ve Fizikteki önemi nedeniyle Tanrıyla bir görüşme ayarlanmış.

"Pauli tek soru sormana izin var. Ne bilmek istersin?"

Pauli hemen yaşamının son on yılında yanıtlamak için boşuna uğraştığı soruyu sormuş. "Neden alfa bir bölü yüz otuz yediye eşittir?"

Tanrı gülümsemiş, tebeşiri almış ve tahtaya eşitlikleri yazmaya başlamış. Birkaç dakika sonra elini sallayan Pauli'ye dönmüş. "Das ist falsch!" [Bu saçma!]

Burada, dünyada geçen gerçek bir öykü de var – doğruluğu kanıtlanabilir bir öykü. Pauli gerçekten 137'ye takıntılıydı ve onun anlamını bulmaya sonsuz saatler harcamıştı. Sayı onu sonuna kadar bırakmadı. Pauli'nin asistanı ölümcül ameliyatını geçirmeden önce kaldığı hastane odasında kuramcıyı ziyaret ettiğinde Pauli asistana giderken oda numarasını not etmesini söyledi. Oda numarası 137'ydi.

Bu benim yaşadığım yer: 137 Eola Road.

LEDERMAN'LA GECE GEÇ VAKİT

Bir hafta sonu Batavia'da gece geç saatte yemek yedikten sonra eve dönerken laboratuar arazisinin içinden geçtim. Eola Road üzerinde değişik noktalardan insan çayırlığın gökyüzünde ışıldayan laboratuar binasını görebilir. Bir Pazar gecesi 11.30'da Wilson Hall fizikçilerin evrenin geri kalan gizlerini çözme konusunda ne denli güçlü duygular içinde olduklarının tanığıdır. İkiz kulesinin, her biri bizim madde ve enerji üzerine yarı saydam kuramlarımızın kördüğümleri üzerinde çalışan mahmur gözlü araştırmacı kotasını barındıran on altı katı boyunca ışıkları parlıyordu. Neyse ki ben eve gidip yatabilirdim. Laboratuarın yöneticisi olarak benim gece vardiyası yükümlülüklerim hayli azalmıştı. Problem üzerinde çalışmak yerine onlar üzerinde uyuyabilirdim. O gece verilerin gelmesini bekleyerek hızlandırıcının döşemesine kıvrılmak yerine gerçek bir yatakta yatacağıma şükrediyordum. Yine de quarklar, Gina, leptonlar, Sophia.... üzerine endişe ederek yatakta döndüm durdum. Sonunda kafamdan fiziği kovmak için koyunları saymaya karar verdim "...134, 135, 136, 137..."

Ansızın çarşafların arasından doğruldum, zorlayıcı bir duygu beni evden dışarı itiyordu. Ambardan bisikletimi çıkardım ve –pijamalarımla, pedalları çevirirken madalyalarım sallanarak– zahmetli bir ağır çekimle çarpıştırıcı tarayıcısı binasına doğru bisikleti sürdüm. Huzursuz ediciydi. Yapılacak çok önemli bir işim olduğunu biliyordum ama bisikletimi bir türlü daha hızlı süremiyordum. O zaman yakınlarda bir psikologun bana söylemiş olduğu şeyi anımsadım: saydam düş diye bir düş olduğunu, böyle bir düşte düş görenin düşte olduğunu bildiğini. Bir kez bunu bilince demişti psikolog düşün içinde ne istersen yapabilirsin. İlk adım gerçek yaşamda değil düşte olduğuna ilişkin bazı ipuçları bulmaktı. Bu kolaydı. Bu lanet şeyin düş olduğunu pekala biliyordum. İtalikler yüzünden. İtaliklerden nefret ederim. Okuması çok zor. Düşümün kontrolünü ele aldım. "İtalik yok!" diye haykırdım.

İşte! Bu daha iyi. Bisikletin vitesini yükselttim ve ışık hızıyla (hey düşte her şeyi yapabilirsiniz) ÇTT'ne pedal bastım. Hay allah, fazla hızlı: dünyayı sekiz kez dönmüş ve yine eve gelmiştim. Vitesi düşürdüm ve zarif bir saatte 120 mille binaya gittim. Sabahın üçünde

bile park yeri oldukça doluydu; hızlandırıcı laboratuarlarında protonlar geceleri durmaz.

Islıkla küçük bir duygusal melodi çalarak tarayıcı binasına girdim. ÇTT her şeyin parlak turuncu ve maviye boyalı olduğu sanayi hangarına benzer bir binadır. Çeşitli ofisler, bilgisayar odaları ve kontrol odalarının tümü bir duvar boyunca dizilmişti; binanın geri kalanı üç kat yüksekliğinde 5000 tonluk bir aygıt olan tarayıcıya uygun olarak düzenlenmiş açık alandır. Bu özel 10 milyon sterlinlik İsviçre saatini bir araya getirmek iki yüz fizikçi ve aynı sayıda teknisyenin sekiz yılını almıştır. Tarayıcı çok renkli olup ışınsal düzendedir, parçaları merkezdeki küçük bir delikten simetrik olarak uzanırlar. Tarayıcı laboratuarın saray mücevheridir. Onsuz tarayıcının merkezinden geçen hızlandırıcının içinde ne olup bittiğini "göremeyiz" Tarayıcının ölü merkezinde olup biten protonlarla antiprotonların kafa kafaya çarpışmasıdır. Tarayıcı öğelerinin ışınsal parmakları çarpışmada üreyen yüzlerce parçacığın ışınsal yayılmasına kabaca denk düşer.

Tarayıcı, dev aygıtın hızlandırıcı tünelinden periyodik bakım için toplantı katına taşınmak üzere raylar üzerinde hareket eder. Genellikle bakımı elektrik fiyatlarının en yüksek olduğu yaz aylarına denk getiririz (elektrik faturanız yılda 10 milyon dolardan fazla olursa kısıntı için her şeyi yaparsınız). Bu gece tarayıcı çalışıyordu. Tünelin içine geri götürülmüştü ve bakım odasına geçiş yolu radyasyonu önleyen 3 metre kalınlığında çelik bir kapıyla kapatılmıştı. Hızlandırıcı öyle inşa edilmişti ki protonlar ve antiprotonlar (çoğunlukla) borunun tarayıcının içinden geçen kesiminde çarpışırlar. – "çarpışma bölgesi" Doğal olarak tarayıcının görevi protonlarla p-çizgilerin (antiprotonların) kafa kafaya çarpışmalarının ürünlerini aramak ve kataloglamaktır.

Hala pijamalarımın içinde tarayıcının bulgularının sürekli olarak görüntülendiği ikinci kattaki kontrol odasına çıktım. Bu saatte bekleneceği üzere oda sessizdi. Gündüz vardiyasında alışıldığı üzere hiçbir kaynakçı ya da başka işçi onarımlar yaparak ya da başka bakım görevlerini yerine getirerek binada dolanmıyordu. Her zamanki gibi kontrol odasındaki ışıklar düzinelerce bilgisayar monitörünün mavimsi parıltısını daha iyi görüp okumak için soluktu. ÇTT'nin kontrol odasındaki bilgisayarlar tıpkı sizin yatırımlarınızı izlemek ya da

Cosmic Ozmo oynamak için satın alabileceğiniz mikro bilgisayarlar gibi Mackintosh'lardır. Onlar protonlarla antiprotonların arasındaki çarpışmadan yaratılan artıkları sınıflandıran tarayıcıyla birlikte çalışan dev bir "ev yapımı" bilgisayardan gelen bilgilerle beslenir. Ev yapımı şey aslında dünyanın her yanından on beş ya da daha fazla üniversitesinden ÇTT canavarını oluşturmak için işbirliği yapan en zeki bilimcilerin tasarladığı karmaşık bir veri edinme sistemi ya da VES'dir. VES saniyede binlerce çarpışmanın hangi yüzlercesinin çözümlemeye değecek kadar ilginç ya da önemli olduğuna karar verip banda kaydetmek üzere programlanmıştır. Macintosh'lar veri toplayan çok çeşitli alt sistemleri görüntülerler.

Odayı gözden geçirdim ve bir sürü boş kahve fincanı ve küçük bir grup fizikçi gördüm; çok fazla kafein ve vardiyada çok fazla saat geçirme yüzünde hem taşkın hem de tükenmiştiler. Bu saatte öğrencileri ve daha uygun vardiyalar bulmaya kıdemleri yetmeyen genç doktora mezunlarını (yeni Ph.D.ler) görebilirsiniz. Dikkate değer olan hanımların sayısıdır; çoğu fizik laboratuarında nadir bir eşya. ÇTT'nin saldırgan devşirmecileri grubun zevki ve yararı için de para almıştı.

Köşede buraya hiç uymayan bir adam oturuyordu. Zayıf ve bakımsız sakallıydı. Diğer araştırmacılardan farklı görünmüyordu ama bir biçimde kadrodan olmadığını biliyordum. Belki harmaniye yüzünden. Oturmuş sinirli sinirli kıkırdayarak Macintosh'a bakıyordu. Düşünün ÇTT kontrol odasında gülmek! Bilimin şimdiye dek kurduğu en büyük deneylerden birinde! Direnmenin daha iyi olacağını düşündüm.

LEDERMAN: Affedersiniz. Siz Chicago Üniversitesinden gönderilmesi beklenen matematikçi misiniz?

HARMANİYELİ ADAM: Meslek doğru kent yanlış. Adım Democritus. Abdera'dan yelken açtım Chicago'dan değil. Bana Gülen Filozof derler.

LEDERMEN: Abdera mı?

DEMOCRITUS: Trakya'da bir kent. Yunanistanda.

LEDERMAN: Trakya'dan kimseyi istediğimi anımsamıyorum. Gülen Filozofa gereksinimimiz yok. Fermilab'da tüm esprileri ben yaparım.

DEMOCRITUS: Evet Gülen Yöneticiyi duydum. Bu konuyu dert etme. Burada çok kalacağını sanmıyorum. Şu ana kadar gördüklerimden sonra.

LEDERMEN: O zaman kontrol odasında neden kalabalık ediyorsun.

DEMOCRITUS: Bir şey arıyorum. Pek küçük bir şey.

LEDERMAN: Doğru yere geldin. Küçük bizim uzmanlığımız.

DEMOCRITUS: Bana da öyle dediler. Ben bu şeyi ikibin dörtyüz yıldır arıyorum.

LEDERMAN: Oo. Sen *o* Democritus'sun.

DEMOCRITUS: Başka bir tane daha mı biliyorsun?

LEDERMAN: Anladım. *Harika bir Dünya*'daki melek Clarence gibisin, buraya beni intihardan vazgeçirmek için gönderildin. Aslında bileklerimi kesmeyi düşünüyor*dum*. Tepe quark'ını bulamıyoruz.

DEMOCRITUS: İntihar! Bana Socrates'i anımsatıyorsun. Hayır ben bir melek değilim. Bu ölümsüzlük kavramı benden sonra, şu beyni sulanmış Plato'nun yaydığı bir şey.

LEDERMAN: Ama ölümsüz değilsen nasıl burada olabiliyorsun? İki milenyum önce öldün.

DEMOCRITUS: Göklerde ve yerde Horatius, senin felsefende düşlenemeyecek kadar çok şey var.

LEDERMAN: Kulağa tanıdık geliyor.

DEMOCRITUS: On altıncı yüzyılda tanıştığım bir adamdan ödünç aldım. Ama soruna yanıt vermek için söyleyeyim, sizin zaman yolculuğu dediğiniz şeyi yapıyorum.

LEDERMAN: Zaman yolculuğu mu? Siz zaman yolculuğunu İ.Ö. Beşinci yüzyılda, Yunanistanda düşündünüz mü?

DEMOCRITUS: Zaman bir parça pastadır. İleri gider, geri gider. Sizin California sörfçüleri gibi onun içine girip dışına çıkabilirsiniz. Düşünmesi zor olan maddedir. Aslında bazı mezunlarımızı sizin zamanınıza gönderdik. Bir tanesi, Stephenius Hawking, ortalığı karıştırdı. "Zaman" üzerinde uzmanlaşmıştı. Bildiği her şeyi biz öğrettik.

LEDERMAN: Neden bu keşfi yayınlamadınız?

DEMOCRITUS: Yayınlamak ha! Altmış yedi kitap yazdım; iyi de satacaktı, ama yayıncı reklam yapmayı reddetti. Banim hakkımda bildiklerinizin çoğu Aristoteles'in yazdıklarıdır. Ama sana biraz daha açıklayayım. Yolculuk yaptım evlat, yolculuk yaptım! Zamanımdaki herhangi bir adamdan çok daha fazla yer gezdim; en kapsamlı araştırmaları yaparak yedi iklim dört köşeyi gezdim, hepsinden çok ünlü insanları dinledim...

LEDERMAN: Ama Plato senin cesaretinden nefret ediyordu. Senin fikirlerinden kitaplarının yakılmasını isteyecek kadar hoşlanmadığı doğru mu?

DEMOCRITUS: Evet ve o boş inançlı yaşlı keçi neredeyse başarıyordu. Ve sonra o İskenderiye yangını gerçekten ünümü suya düşürdü. Siz çağdaş denenlerin zamanın yönetimi konusunda bu denli cahil olmanızın nedeni bu. Şimdi tüm işittiklerim Newton, Einstein hakkında.

LEDERMAN: Peki 1990'larda Batavia'yı bu ziyaret niye?

DEMOCRITUS: Sadece fikirlerimden birini kontrol etmek için, ne yazık ki vatandaşlarımın terk ettiği bir fikir.

LEDERMAN: Bahse girerim atomdan, *atomos*'dan söz ediyorsun.

DEMOCRITUS: Evet, a-tom, nihai, bölünemez, görünmez parçacık. Tüm maddenin yapı taşı. İnsanoğlunun benim kuramımı saflaştırma konusunda ne kadar yol aldığını görmek için zamanda sıçrama yaptım.

LEDERMAN: Ve kuramın şuydu ki

DEMOCRITUS: Beni yemliyorsun genç adam! Neye inandığımı çok iyi biliyorsun. Unutma yüzyıldan yüzyıla onyıldan onyıla zamanda sıçradım. On dokuzuncu yüzyıl kimyacılarıyla yirminci yüzyıl fizikçilerinin benim düşüncelerimin üzerinde oynadığının pekala farkındayım. Beni yanlış anlama – bunu yapmanız doğruydu. Keşke Plato da sizin kadar akıllı olsaydı.

LEDERMAN: Sadece onu senin ağzından işitmek istedim. senin çalışmalarını başkalarının yazdıklarından biliyoruz.

DEMOCRITUS: Çok iyi. Bilmem kaçıncı kez başlıyoruz. Eğer sıkıcı gelirsem geçenlerde bunu şu Oppenheimer denen adamla konuştuğum

için. Fizikle Hinduizm arasındaki paralellik gibi sıkıcı zırvalarla sözümü kesme yeter.

LEDERMAN: Çin yemeklerinin ayna simetrisinin ihlali üzerine etkisi kuramını dinlemek ister miydin? Dünyanın hava, toprak, ateş ve sudan ibaret olduğunu söylemek kadar geçerli.

DEMOCRITUS: Neden sessiz durup baştan başlamama izin vermiyorsun. İşte şu Macintosh zımbırtısının yanına bir sandalye çek ve dikkat et. Şimdi eğer benim ve biz tüm atomcuların çalışmasını anlayacaksan iki bin altı yüz yıl geriye gitmemiz gerek. Ben doğmadan iki yüz yıl önce şimdi Türkiye dediğiniz Ionia'da bir taşra kasabası olan Miletus'ta İ.Ö. 600 dolaylarında doğmuş olan Thales'ten başlamamız gerekir.

LEDERMAN: Thales de bir filozof muydu?

DEMOCRITUS: Hem de nasıl! O *ilk* Yunan filozofuydu. Ama Socrates öncesi Yunanistan'ın filozofları gerçekten çok şey biliyorlardı. Thales başarılı bir matematikçi ve astronomdu. Lydia'lılarla Medler arasındaki bir savaşa yakın bir güneş tutulmasını tahmin ettiğini biliyor muydun? İlk almanaklardan birini düzenlemişti –bugün bu işi çiftçilere bıraktığınızı biliyorum– ve bizim denizcilerimize geceleyin bir gemiye Küçük Ayı takım yıldızını kullanarak nasıl yön vereceklerini öğretmişti. Aynı zamanda siyasi bir danışman, kurnaz bir iş adamı ve iyi bir mühendisti. İlk Yunan filozofları yalnız akıllarının estetik işleyişleri yüzünden değil pratik sanatları ya da öyle demek isterseniz uygulamalı bilimleriyle de saygı görürlerdi. Bugün fizikçilerde herhangi bir fark var mı?

LEDERMAN: Her zaman yararlı bir şeyler yaptığımız bilinir. Ama üzülerek söyleyeceğim, başarılarımız genellikle çok dar bir noktaya odaklanmıştır ve çok azımız Yunanca bilir.

DEMOCRITUS: O zaman ben İngilizce konuştuğum için şanslısın öyle mi? Neyse, Thales kendine benim gibi durmadan temel bir soru sordu: "Dünya neyden yapılmıştır ve nasıl çalışır?" Çevremizde sözde bir kaos görürüz. Çiçekler açar, sonra ölür. Seller toprağı tahrip eder. Göller çölleşir. Gökten göktaşları düşer. Hortumlar hiç yoktan ortaya çıkıverir. Zaman zaman bir dağ patlar. İnsanlar yaşlanır ve toza dönüşür. Bu sürekli değişimde sabit kalan kalıcı bir şey, altta yatan bir kimlik, var mıdır? Tüm bunlar bizim küçük akıllarımızın anlayabileceği kadar basit kurallara indirgenebilir mi?

LEDERMAN: Thales bir yanıt buldu mu?

DEMOCRITUS: Su. Thales suyun asal ve nihai öğe olduğunu söyledi.

LEDERMAN: Nasıl açıkladı?

DEMOCRITUS: Öyle çılgınca bir fikir değildi. Thales'in ne düşündüğünden tam olarak emin değilim. Ama düşün: su gelişim için temeldir en azından bitkiler için. Tohumların nemli bir doğası vardır. Hemen her şey ısıtılınca su çıkarır. Ve su katı, sıvı ve gaz olarak –su buharı halinde– var olabildiği bilinen tek maddedir. Belki bu süreç daha ileri götürülürse suyun toprağa dönüşebileceğini öne sürmüştür. Bilmiyorum. Ama Thales sizin bilim dediğiniz şeye çok büyük bir başlangıç yapmıştı.

LEDERMAN: İlk deneme için fena değil.

DEMOCRITUS: Ege çevresinde Thales ve grubuna tarihçilerin, özellikle Aristoteles'in büyük darbe vurduğu izlenimi vardır. Aristoteles güçlerle, nedensellikle bozmuştu. Onunla başka bir şey konuşamazdın ve miletus'taki Thales'le arkadaşlarının başının etini yedi. Neden su? Katı suyun etersel suya dönüşmesine neden olan güç neydi? Neden bu kadar değişik su biçimleri vardı?

LEDERMAN: Çağdaş fizikte, şey bugünlerin fiziğinde şeye ek olarak güçler gerekir, şeye –

DEMOCRITUS: Thales ve güruhu pekala neden kavramını onun su bazlı maddesinin doğasıyla sarmalayabilirlerdi. Güç ve madde tekliği! Bunu sonraya saklayalım. O zaman sen bana gluonlar ve süpersimetri v.b. dediğiniz şeyleri anlatabilirsin.

LEDERMAN [*diken diken olmuş tüylerini çılgınca kaşıyarak*]: Of, bu dahi başka ne yaptı?

DEMOCRITUS: Bazı geleneksel olarak mistik fikirleri vardı. Dünyanın suyun üstünde yüzdüğüne inanırdı. Mıknatısların demiri oynatabildikleri için ruhları olduğuna inanırdı. Ama basitliğe de inanırdı, çevremizde çeşitli maddi "şeyler" olduğu halde evrende bir teklik olduğuna. Thales bir dizi mantıksal önermeyi sahip olduğu ne kadar mitolojik kalıntı varsa onunla suya özel bir rol vermek üzere birleştirmişti.

LEDERMAN: Sanırım Thales dünyanın bir kaplumbağanın üzerinde duran Atlas'ın sırtında olduğuna inanıyordu.

DEMOCRITUS: Au contraie. [(Fr.) Tersine. – çev.] Thales ve tayfası bu çok önemli toplantıyı olasıdır ki Miletus'un çarşısında bir restoranın arka odasında yaptılar. Belli bir miktar Mısır şarabından sonra Atlas'ı bir kenara fırlattılar ve ciddi bir sözleşme yaptılar: "Bu günden sonra dünyanın nasıl işlediğine ilişkin açıklamalar ve kuramlar kesinlikle mantıksal önermelere dayanacaktır. Boş inanç yok. Athena, Zeus, Herkül, Ra, Budha, Lao-Tzu'ya çağrı yok. Bakalım kendi kendimize bulabilecek miyiz?" Bu, insanların yaptığı en önemli sözleşme olsa gerek. İ.Ö. 650'ydi, olasılıkla bir Perşembe gecesi ve bu bilimin doğumuydu.

LEDERMAN: Şimdi boş inancı kovduğumuzu sanıyor musun? Bizim yaratılışçılarımızla tanıştın mı? Hayvan hakları aşırıcılarımızla?

DEMOCRITUS: Burada, Fermilab'da mı?

LEDERMAN: Hayır ama uzakta değil. Ama söyle bana bu toprak, hava, ateş ve su fikri nasıl çıktı?

DEMOCRITUS: Ağır ol. O kurama gelmeden önce başka bir çift adam var. Biri Anaximandros. O Thales'in Miletus'daki genç arkadaşlarından biriydi. Anaximandros ilk ününü Miletus'lu gemiciler için Karadeniz'in haritasını yapmak gibi pratik şeylerle kazanmıştı. Thales gibi maddenin asal yapı taşını aradı ama onun su olamayacağına karar verdi.

LEDERMAN: Kuşkusuz Yunan düşüncesinde bir başka büyük ilerleme. *Onun* adayı neydi, baklava mı ?

DEMOCRITUS: Gül bakalım. *Senin* kuramlarına da geleceğiz. Anaximandros başka bir pratik dahiydi ve ustası Thales gibi boş zamanlarını felsefi tartışmalara katılarak geçirirdi. Anaximandros'un mantığı oldukça inceydi. Dünyayı savaşan zıtlardan –sıcak ve soğuk, ıslak ve kuru– oluşmuş olarak görüyordu. Su ateşi söndürür, güneş suyu kurutur ve saire. Bu nedenle evrenin birincil öğesi su ya da ateş veya bu zıtlardan herhangi birini niteleyen hiçbir şey olamazdı. Orada hiçbir simetri yoktu. Biz Yunanlıların simetriyi ne çok sevdiğimizi bilirsin. Örneğin tüm madde başlangıçta Thales'in dediği gibi su olsaydı ısı ya da ateş hiçbir zaman oluşamazdı çünkü su ateşi doğurmaz onu yok eder.

LEDERMAN: O zaman asal öğe olarak neyi *önerdi*?

DEMOCRITUS: Ona *apeiron* dedi, anlamı "sınırları olmayan" Maddenin

bu ilk hali başkalaşmamış, büyük, belki de sonsuz oranlarda kitleydi. O ilkel "zımbırtı" ydı, zıtların arasında nötr. Bu fikir benim düşüncemi derinden etkilemiştir.

LEDERMAN: O halde bu apeiron senin a-tom'un gibi bir şey – yalnız sonsuz küçük bir parçacık yerine sonsuz büyük bir madde? Bu işleri karıştırmıyor mu?

DEMOCRITUS: Hayır, Anaximandros bir şeyi yakalamıştı. Apeiron hem uzay hem zamanda sonsuzdu ama aynı zamanda yapısızdı, öğe parçaları yoktu. Her şeyde yalnızca ve yalnızca apeiron vardı. Ve eğer asal bir maddeye karar vereceksen böyle bir niteliği olması daha iyidir. Aslında benim amacım iki bin yıl sonra sonunda sizin benim güruhumun bilim öncesini takdir ettiğinizi belirterek seni utandırmak değil. Anaximandrosun yaptığı boşluğu keşfetmekti. Sanırım sizin P.A.M. Dirac sonunda boşluğa hak ettiği nitelikleri 1920'lerde vermeye başladı. Anaxi'nin apeironu benim "yok"umun, içinde parçacıkların devindiği bir hiçliğin prototipiydi. Isac Newton ve James Clerk Maxwell ona eter dediler.

LEDERMAN: Ama zımbırtıdan, maddeden ne haber?

DEMOCRITUS: Şunu dinle [*harmaniyesinin altından bir parşömen rulosu çıkarır, burnunun üzerine bir indirimli Magna Vision okuma gözlüğü yerleştirir*]: Anaximandros diyor ki "İçinde tüm göklerin ve dünyaların oluştuğu şey ne su ne de öğeler denen başka bir şey, farklı sınırsız bir şeydir. Şeyler içinden var oldukları bu şeye dönüşerek yok olurlar... Zıtlar tektedir ve ondan ayrışırlar" Şimdi siz yirminci yüzyıl tiplerinin her zaman boşlukta yaratılan madde ve karşımaddeden söz ettiğinizi biliyorum ayrıca yok olma....

LEDERMAN: Kuşkusuz, ama...

DEMOCRITUS: Anaximandros zıtların apeiron –ona boşluk de ya da eter de– içinde olduğunu ve ondan ayrıştığını söylerken bu senin düşündüğün gibi bir şey olmuyor mu?

LEDERMAN: Bir bakıma ama beni daha çok ilgilendiren Anaximandros'a bunları düşündürtenin ne olduğu

DEMOCRITUS: Kuşkusuz karşımaddeyi öngörmemişti. Ama uygun biçimde donanımlı bir boşlukta zıtların ayrılabileceğini düşünmüştü: sıcak ve soğuk, ıslak ve kuru, tatlı ve acı. Bugün siz bunlara pozitifle

negatifi, kuzeyle güneyi eklediniz. Birleştiklerinde özelliklerini iptal ederler ve nötr apeirona dönerler. Harika değil mi?

LEDERMAN: Demokratla cumhuriyetçiye ne dersin? Republicas diye bir Yunanlı var mıydı?

DEMOCRITUS: Çok eğlenceli. Hiç değilse Anaximandros asal bir öğeden farklılığı yaratan düzeneği açıklamaya kalkışmıştı. Ve onun kuramı bir dizi, bazılarına senin bile katılacağın, alt inanca yol açmıştı. Örneğin Anaximandros insanın daha aşağı hayvanlardan geliştiğine inanmıştı, onların da denizdeki yaratıklardan. Onun en büyük kozmolojik fikri yalnızca Atlas'ı değil Thales'in dünyayı taşıyan okyanusunu da def etmekti. Dünyayı tutman gerekmediğini biliyordu. Sonsuz uzayda asılı duran (henüz küresel biçimi verilmemiş) şeyi gözünün önüne getir. Gidecek hiçbir yer yok. Eğer bu Yunanlıların düşündüğü gibi başka hiçbir şey olmasaydı Newton'un yasalarıyla tam uyumlu. Anaximandros tek bir dünyadan ya da evrenden daha fazlasının bulunması gerektiğini de düşündü. Aslında tümü yok olabilen artarda birbirini izleyen sınırsız sayıda evren olduğunu söylemişti.

LEDERMAN: "Uzay Yolu"ndaki değişen evrenler gibi mi?

DEMOCRITUS: Reklamlarını kendine sakla. Sayısız dünyalar düşüncesi biz atomculara çok önemeli gelmişti.

LEDERMAN: Dur bir dakika. Senin yazdığın ve çağdaş kozmolojinin ışığında beni ürperten bir şey hatırlıyorum. Hatta onu ezberlemiştim. Dur bakayım: "Değişik büyüklüklerde sayısız dünya vardır. Bazılarında ne güneş ne de ay yoktur, bazılarında bizimkinden büyüktürler ve başka dünyalarda da birden çok güneş ve ay vardır.

DEMOCRITUS: Evet biz yunanlıların sizin Kaptan Kirk'ünüzle ortak bazı düşüncelerimiz vardı. Ama biz biraz daha iyi giyiniyorduk. Ben kendi fikrimi daha çok sizin enflasyona uğramış kozmologlarınızın bu günlerde üzerine makaleler yayınladığı kabarcıklı evrenleriyle kıyasladım.

LEDERMAN: Ben de tam bundan korkuyordum. Sizin öncüllerden biri havanın nihai öğe olduğuna inanmıyor muydu?

DEMOCRITUS: Anaximenes'i söylüyorsun, Anaximandros'un daha genç bir arkadaşı, Thales'in çetesinin sonuncusu. O aslında

Anaximandros'tan bir adım geriye gitmişti ve tıpkı Thales gibi ortak bir başlangıç öğesi olduğunu söyledi – yalnız Anaximenes bu öğenin su değil hava olduğunu söyledi.

LEDERMAN: Ustasını dinlemiş olsaydı hava gibi sıradan bir şeyi bir yana bırakırdı.

DEMOCRITUS: Evet ama Anaximenes bu asal maddeden çeşitli madde biçimlerinin nasıl oluştuğuna ilişkin zekice bir düzenekle ortaya çıkmıştı. Okuduklarımdan anladığım kadarıyla sen şu deneycilerden birisin.

LEDERMAN: Evet. Bir problem mi var?

DEMOCRITUS: Bu kadar çok Yunan kuramıyla dalga geçtiğini fark ettim. Önyargının çevremizdeki dünya tarafından mantıklı bir biçimde önerilen bu fikirlerin çoğunun ince deneysel doğrulamaya elverişsiz olmasından geldiğini sanıyorum.

LEDERMAN: Doğru. Deneyciler doğrulanabilen fikirleri çok severler. Geçimimizi bundan sağlıyoruz.

DEMOCRITUS: O zaman Anaximenes'e daha çok saygı duyabilirsin çünkü onun inançları gözleme dayanır. Çeşitli madde öğelerinin havadan yoğunlaşma ve seyrelme yoluyla ayrıştığını varsaymıştır. Hava neme indirgenebilir ve bunun tersi. Sıcak ve soğuk havayı farklı maddelere dönüştürür. Sıcağın nasıl seyrelme soğuğun da yoğunlaşmayla ilişkili olduğunu göstermek için Anaximenes insanlara şu deneyi yapmalarını önerir: dudaklarınız neredeyse kapalıyken hava üfleyin, hava soğuk üretecektir. Ama ağzınızı iyice açıp nefes verirseniz nefesiniz daha sıcak olur.

LEDERMAN: Kongre Anaximenes'i sevecekti. Onun deneyleri benimkilerden ucuz. Ve tüm bu sıcak hava...

DEMOCRITUS: Anladım ama yapmak istediğim senin biz Eski Yunanlıların hiçbir deney yapmadığımız düşüncesini çürütmekti. Thales ve Anaximenes gibi düşünürler için temel sorun maddelerin dönüşebileceğine olan inançlarıydı: su toprak haline gelebilir; hava da ateş. Olamaz mı? Eski felsefenin bu gediği benim iki çağdaşım – Parmenides ve Empedocles– ortaya çıkana kadar dile getirilmedi.

LEDERMAN: Empedocles şu toprak, hava ve saire adamı değil mi?

Parmenides'i anımsat bana.

DEMOCRITUS: Genellikle idealizmin babası olarak bilinir çünkü düşüncelerinin çoğu şu aptal Plato tarafından derlenmiştir; aslında o sapına kadar materyalistti. Oluştan çok söz etmiştir ama bu maddi bir oluştu. Temelde Parmenides Oluşun hiçbir zaman ortaya çıkmayacağını ve yok olmayacağını savundu. Madde öyle yoktan varolup sonra da yok olmaz. O hep vardır sonra da yok edemeyiz.

LEDERMAN: Aşağı hızlandırıcıya gidelim de ne kadar yanıldığını göstereyim. Biz durmadan maddeyi varoluşun içine dışına zıplatıp duruyoruz.

DEMOCRITUS: Tamam tamam. Ama bu önemli bir kuram. Parmenides biz Yunanlılar için önemli bir fikri kucaklıyordu: teklik. Bütünlük. Var olan vardır. O mükemmel ve kalıcıdır. Sanırım sen ve çalışma arkadaşların da birliği kucaklıyorsunuz.

LEDERMAN: Evet o kalıcı ve sevilesi bir kavramdır. Ne zaman becerebilirsek inançlarımızda birlik için uğraşırız. Güncel takıntılarımızdan biri Büyük Birleşmedir.

DEMOCRITUS: Ve aslında sırf isteyerek yeni maddeleri yoktan var etmiyorsunuz. Sürece enerji eklemek zorunda olduğunuzdan eminim.

LEDERMAN: Doğru, istersen elektrik faturasını gösterebilirim.

DEMOCRITUS: O zaman bir bakıma Parmenides o kadar yanlış değildi. Onun Oluş dediği şeye hem maddeyi hem de enerjiyi dahil ederseniz o haklı olur. Ne var olur, ne de yok olur, en azından tek biçimde değil. Ve duyularımız bize başka bir öykü anlatır. Ağaçların yanıp toprağa döndüğünü görürüz. Sonra ateş suyla yok edilir. Yazın sıcak havası suyu buharlaştırır. Çiçekler çıkar, sonra ölürler. Bu apaçık çelişkiden çıkış yolunu gören Empedocles'ti. O maddenin korunması gerektiği, öyle keyfe göre ortaya çıkıp kaybolmayacağı konusunda Parmenides' le uzlaştı. Ama bir tür maddenin diğerine dönüştüğü konusunda Thales ve Anaximenes'le anlaşamadı. O zaman çevremizde gördüğümüz sürekli değişiklikten neyi sorumlu tutacaktık? Empedocles yalnızca dört tür madde vardır dedi. Onun ünlü toprak, hava ateş ve suyu. Onlar başka tür maddeye dönüşmezler, dünyanın somut nesnelerini oluşturan değişmez ve nihai *parçacıklardır.*

LEDERMAN: Şimdi sen konuşuyorsun.

DEMOCRITUS: Sen öyle san. Nesneler bu öğelerin içice geçmesinden oluşur ve öğelerin ayrışmasıyla varoluşları sona erer. Ama öğelerin kendileri –toprak, hava, ateş, su– ne var olur ne yok olur değişmeden kalırlar. Açıkçası ben onunla bu parçacıkların kimliği konusunda uzlaşmıyordum ama ilke olarak önemli bir entelektüel sıçrama yapmıştı. Dünyada yalnız birkaç temel madde vardı ve pek çok biçimde onları karıştırarak nesneleri oluşturursun. Örneğin Empedocles kemiğin iki kısım toprak, iki kısım su ve dört kısım ateşten oluştuğunu söylemişti. Bu reçeteyi nasıl bulduğunu o zaman kaçırmışım.

LEDERMAN: Biz hava – toprak – ateş – su karışımını denedik ama tek elde ettiğimiz sıcak, kabarcıklar çıkaran çamurdu.

DEMOCRITUS: Bir tartışmayı bir çentiğe indirgemek istiyorsan onu bir "çağdaş"a bırak.

LEDERMAN: Kuvvetlerden ne haber? Siz Yunanlıların hiçbiri parçacıklar kadar kuvvetlere de gereksiniminiz olduğunu anlamamış gibi görünüyor.

DEMOCRITUS: Benim kuşkularım var ama Empedocles katılırdı. Kuvvetlere gereksineceğinizi görmüştü. İki kuvvet öne sürdü: Sevgi ve çatışma – şeyleri bir araya getirmek için sevgi, ayırmak için çatışma. Belki çok bilimsel değil ama sizin çağınızdaki bilimcilerin evren için benzer bir inançlar sistemi yok mu? Bir dizi parçacık ve bir kuvvetler kümesi? Çoğu kez garip adlar verilmiş değil mi?

LEDERMAN: Bir bakıma öyle. Bizim "standart model" dediğimiz şeyimiz var. Evren hakkında bildiğimiz her şeyin bir düzine parçacık ve dört kuvvetin etkileşimiyle açıklanabileceğini öne sürer.

DEMOCRITUS: Buyur bakalım. Empedocles'in dünyası bundan hiç farklı gözükmüyor öyle değil mi? O evrenin dört parçacık ve iki kuvvetle açıklanabileceğini söylemişti. Siz yalnızca iki tane daha eklediniz ama iki modelin yapısı da benzer değil mi?

LEDERMAN: Kesinlikle ama biz içerikte anlaşmıyoruz: ateş, toprak, çatışma...

DEMOCRITUS: İyi, iki bin yıllık sıkı çalışmadan sonra bir şeyler göstermeniz gerekiyordu sanırım. Ama içerik konusunda ben de Empedocles'in kuramına katılmıyorum.

LEDERMAN: O halde sen neye inanıyorsun?

DEMOCRITUS: Hah şimdi işe başlıyoruz. Parmenides ile Empedocles'in çalışması sahneyi benim çalışmam için hazırladı. Ben a-tom'a ya da atoma, bölünmeyecek olana inanırım. Atom evrenin yapı taşıdır. Tüm madde atomların çeşitli düzenlemelerinden ibarettir. O evrendeki en küçük şeydir.

LEDERMAN: İ.Ö. beşinci yüzyılda, Yunanistan'da görünmeyen nesneleri bulmak için gerekli aygıtlarınız var mıydı?

DEMOCRITUS: Tam olarak "bulmak" değil.

LEDERMAN: Ne o zaman?

DEMOCRITUS: Belki "keşfetmek" daha iyi bir sözcük. Ben atomu Salt Mantıkla keşfettim.

LEDERMAN: Söylediğine göre sadece onun üzerine düşündün. Herhangi bir deney yapmak zahmetine girmedin.

DEMOCRITUS: [*laboratuarın uzak köşelerini göstermek için kıpırdanarak*]: Aklın, en büyük, en hassas aygıtlarından daha iyi yapabildiği deneyler vardır.

LEDERMAN: Sana atomlar fikrini ne verdi? İtiraf edeyim? Çok zekice bir varsayımdı. Ama daha öncekilerden çok daha ötelere ulaştı.

DEMOCRITUS: Ekmek.

LEDERMAN: Ekmek mi? Birileri fikri ortaya atman için para mı verdi?

DEMOCRITUS: O tür ekmek değil. Bu Devlet burslarından önceki bir zamanda oldu. Gerçek ekmeği kast ediyorum. Bir gün uzun bir perhiz sırasında birileri fırından yeni çıkmış bir somun ekmekle çalışma odama geldi. Daha görmeden ekmek olduğunu anladım. Şöyle düşündüm: görünmeyen bir ekmek özü uzaktan geldi ve benim Grek burnuma ulaştı. Kokulara ilişkin bir not aldım ve başka "yolculuk yapan özler" üzerine düşündüm. Küçük bir su havuzu büzülür ve sonunda kurur. Neden? Nasıl? Görünmeyen su özü havuzundan sıçrayıp benim sıcak ekmek gibi uzun uzaklıklara yolculuk yapabilir mi? Bunun gibi bir sürü küçük şeyler – görüyorsun, düşünüyorsun, onlar hakkında konuşuyorsun. Arkadaşım Leucippus ve ben günlerce tartışırdık bazen güneş doğana ve karılarımız sopalarla peşimizden gelene dek. Sonunda eğer tüm maddeler insan gözünün göremeyeceği kadar küçük olduğu için görünmez olan atomlardan oluşuyorsa o

zaman pek çok farklı tür atom olabileceğine karar verdik: su atomları, demir atomları, papatya yaprağı atomları, arının ön bacağı atomları – Yunanlı olmayacak kadar çirkin bir sistem.

Sonra daha iyi bir fikir bulduk. Yalnızca birkaç farklı atom çeşidi olsun, düzgün, pürüzlü, yuvarlak, köşeli ve seçilmiş sayıda değişik biçimlerde atomlar ama her türden sonsuz sayıda olsun. Sonra onları boş uzaya koy. (Evlat boş uzayı kavramak için içtiğimiz biraları görmeliydin! "Hiç ama hiç"i nasıl tanımlarsın?) Bu atomlar rastgele devinsin. Hiç durmadan devinsin, ara sıra çarpışarak, bazen yapışıp biraraya toplanarak. O zaman bir atomlar topluluğu şarabı, bir başkası şarabın içinde sunulduğu kadehi yapardı, feta peynirini, baklavayı ve zeytini de.

LEDERMAN: Aristoteles bu atomların doğal olarak dağılacağını öne sürmemiş miydi?

DEMOCRITUS: Bu onun problemi. Karanlık bir odaya girdiğinde bir güneş ışığı demetinde dans eden tozları hiç gördün mü? Toz, tıpkı atomlar gibi herhangi bir yönde ve her yönde devinir.

LEDERMAN: Atomların *bölünemezliğini* nasıl düşündün?

DEMOCRITUS: Aklımda oluştu. Cilalanmış tunçtan bir bıçak düşün. Uşağımızdan bütün gün onu ağzı kıl kadar ince olana dek bilemesini isteriz. Sonunda tatmin olup eyleme başlarım. Bir parça peynir alırım...

LEDERMAN: Feta mı?

DEMOCRITUS: Kuşkusuz. Sonra peyniri bıçakla ikiye bölerim. Sonra yine ikiye, yine ikiye ta ki tutulamayacak kadar küçük bir peynir parçası kalana dek. Sonra düşünürüm ki kendim daha küçük olsaydım parça bana büyük görünecekti; onu tutabilecektim ve daha da bilenmiş bıçağımla onu kesebilecektim; yine kesecektim, yine kesecektim. Şimdi aklımda kendimi yine bir karıncanın burnundaki sivilce kadar küçültmem gerekecek. Peyniri kesmeye devam ederim. Eğer süreci yeterince yinelersem sonucun ne olacağını biliyor musun?

LEDERMAN: Tabii, feta-compli[1]

---

[1] *[(Fr.) Fait accompli = oldu bitti. –çev.]*

DEMOCRITUS [*inler*]: Gülen Filozof bile iğrenç bir sözcük oyununa kızar. Eğer devam edebilirsem... Sonunda istediğin sayıda uşak bıçağı yüz yıl bilese bile asla kesilemeyecek kadar sert bir madde parçasına gelirdin. En küçük nesnenin zorunlu olarak bölünemeyeceğine inanıyorum. Bazı sözde eğitimli filozofların söylediği gibi sonsuza dek kesmeye devam edemeyiz. Şimdi elimde kesilmeyen nihai nesne, atomos vardır.

LEDERMAN: Ve sen İ.Ö. beşinci yüzyılda Yunanistanda bu fikri ortaya attın öyle mi?

DEMOCRITUS: Evet ne olmuş? Bugün sizin fikirleriniz çok mu farklı?

LEDERMAN: Şey, doğrusu büyük ölçüde aynı. Sadece ilk olarak senin yayınlamış olmandan nefret ediyorum.

DEMOCRITUS: Ancak siz bilimcilerin atom dediği şey benim aklımdaki şey değil.

LEDERMAN: Haa, o bazı on dokuzuncu yüzyıl kimyacılarının hatası. Hayır, bugün hiç kimse periodik tablodaki elementlerin –hidrojen, oksijen, karbon v.b.– atomlarının bölünmez nesneler olduğuna inanmaz. O adamlar erken çıkış yaptılar. Senin atomlarını bulduklarını sandılar. Ama nihai peynirden daha bir sürü kesiş uzaktaydılar.

DEMOCRITUS: Ve bugün siz onu buldunuz mu?

LEDERMAN: *Onları* bulduk. Birden fazla var.

DEMOCRITUS: Kuşkusuz öyledir. Leucippus'la ben pek çok olduklarına inanırdık.

LEDERMAN: Leucippus'un gerçekten var olmadığını sanıyordum.

DEMOCRITUS: Bunu Bn. Leucippus'a söyle. Haa, bazı bilginlerin onun uydurma bir tip olduğuna inandıklarını biliyorum. Ama o bu Macintosh zımbırtısı her neyse onun kadar gerçek [*bilgisayarın tepesine vurur*] Leucippus, Thales ve diğerleri gibi Miletus'luydu. Ve biz bizim atom kuramımızı birlikte işledik öyle ki kimin neyi ortaya attığını anımsamak çok zor. Sadece birkaç yaş büyük olduğu için insanlar onun benim öğretmenim olduğunu söyler.

LEDERMAN: Ama pek çok atom olduğunda direten *sen*din.

DEMOCRITUS: Evet bunu anımsıyorum. Sonsuz sayıda bölünmez birim vardır. Büyüklük ve biçim bakımından farklıdırlar ama bunun ötesinde sertlik ve içine girilmezlikten başka hiçbir gerçek nitelikleri yoktur.

LEDERMAN: Biçimleri vardır ama bunun dışında yapısızdırlar.

DEMOCRITUS: Evet bu iyi bir anlatım.

LEDERMAN: O halde deyim yerindeyse sizin standart modelinizde atomların nitelikleriyle yaptıkları nesneleri nasıl ilişkilendirdiniz?

DEMOCRITUS: O kadar da özel bir şey değil. Örneğin tatlı şeylerin düzgün atomlardan, acı şeylerin ise sivri atomlardan oluştuğunu düşündük. Bunu biliyoruz çünkü dili acıtıyorlar. Sıvılar yuvarlak atomlardan oluşmuştur oysa metal atomlarının onları birarada tutacak küçük kilitleri vardır. Metaller bu yüzden öyle serttir. Ateş insan ruhu gibi küçük küresel atomlardan oluşmuştur. Parmenides ve Empedocles'in kuramlaştırdığı gibi gerçek olan hiçbir şey doğmaz ya da yok olmaz. Çevremizde gördüğümüz nesneler sürekli olarak değişir ama bu birleşip ayrışabilen atomlardan yapıldıkları içindir.

LEDERMAN: Bu birleşme ve ayrışma nasıl olur?

DEMOCRITUS: Atomlar sürekli devinim içindedir. Bazen birbirine kilitlenebilen biçimleri olduğunda birleşirler. Ve bu görünebilecek kadar büyük nesneler yaratır: ağaçlar, su, dolma. Bu sürekli devinim atomların kendilerini ayırmalarına ve çevremizde gördüğümüz maddede görünürdeki değişimlere de neden olur.

LEDERMAN: Ama atomlar bağlamında yeni madde ne yaratılır ne de yok edilebilir değil mi?

DEMOCRITUS: Hayır bu bir yanılsamadır.

LEDERMAN: Eğer tüm maddeler bu temelde özelliksiz atomlardan yapılıyorsa neden nesneler farklı? Neden kayalar sert örneğin ve koyunlar yumuşak?

DEMOCRITUS: Kolay. Sert şeylerin içinde daha az boş uzay vardır. Atomlar daha sıkı paketlenmiştir. Yumuşak şeylerde daha çok boşluk vardır.

LEDERMAN: O halde siz Yunanlılar uzay kavramını benimsiyordunuz, boşluğu.

DEMOCRITUS: Kesinlikle. Ortağım Leucippus ve ben atomu icat ettik. Sonra onu içine yerleştirecek bir yere gereksinim duyduk. İçine atomlarımızı koyabileceğimiz boş uzayı tanımlamaya çalışırken Leucippus'un kafası iyice karıştı (ve biraz da sarhoş oldu). Eğer boşsa hiçbir şeydir ve hiçbir şeyi nasıl tanımlarsın? Parmenides'in boş uzayın var olamayacağına ilişkin demir gibi kanıtı vardı. Sonunda onun kanıtının var olmadığına karar verdik. [*Kıkırdar.*]. Kahrolası bir problem. Epeyce sakız şarabı gerekti. Hava – toprak – ateş – su zamanında boşluk beşinci öz sayıldı. Bize epeyce sorun çıkardı. Siz çağdaşlar hiçliği çekincesiz benimsiyor musunuz?

LEDERMAN: Benimsemek zorundayız. Hiç olmadan hiçbir şey çalışmaz. Ama bugün bile o zor ve karmaşık bir kavram. Ancak anımsayacağın gibi bizim "hiç"imiz, boşluk, durmadan kuramsal kavramlarla dolduruluyor: eter, radyasyon, negatif bir enerji denizi, Higgs. Tavan arası boşluğu gibi. O olmasaydı ne yapardık bilmem.

DEMOCRITUS: İ.Ö. 420'de boşluğu açıklamanın ne kadar da güç olduğunu düşünebilirsin. Parmenides boş uzayın gerçekliğini yadsımıştı. Leucippus boşluk olmadan devinim olmayacağını bu yüzden boşluk olması gerektiğini ilk kez söylemişti. Ama Empedocles insanları bir süre kandıran zeki bir laf ebesiydi. Devinimin boş uzay olmaksızın da olabileceğini söyledi. Okyanusta yüzen bir balığı alın dedi. Su balığın başında ayrılır sonra da eşzamanlı olarak devinmekte olan balığın kuyruğunda kalan boşluğa doğru devinir. İkisi, balık ve su, her zaman temas halindedir. Boş uzayı unutun.

LEDERMAN: Ve insanlar bu önermeyi tuttu mu?

DEMOCRITUS: Empedocles zeki bir adamdı ve daha önce de boş önermeleri başarıyla yıkmıştı. Örneğin Pisagor'cular –Empedocles'in çağdaşları– birimlerin birbirinden ayrı tutulması gerektiği gibi açık bir nedenle boşluğu benimsemişlerdi.

LEDERMAN: Onlar fasulye yemeyi reddeden filozoflar değil miydi?

DEMOCRITUS: Evet ama bu hiçbir dönemde kötü bir fikir değildir. Başka ufak tefek inançları da vardı, bir kilenin üstüne oturmamalısın ya da kestiğin tırnakların üstüne basmamalısın. Ama iyi bildiğin gibi matematik ve geometride bazı ilginç şeyler de yaptılar. Ama bu boşluk meselesinde boşluğun havayla dolu olduğunu söyledikleri için Empedocles onları suçladı. Empedocles bu önermeyi basitçe havanın

maddi olduğunu göstererek çürüttü.

LEDERMAN: Öyleyse sen boşluğu nasıl benimsedin? Empedocles'in düşünüşüne saygı duyuyordun değil mi?

DEMOCRITUS: Aslında öyle ve bu nokta beni uzun süre alt etti. Boşlukla başım dertteydi. Onu nasıl tanımlayabilirim? Eğer gerçekten hiçbir şeyse nasıl varolabilir? Ellerim şurada masana değiyor. Masanın üstüne doğru ilerlerken avucum benimle masanın yüzeyi arasındaki boşluğu dolduran havanın yumuşakça kaçıştığını hissediyor. Hava Empedocles'in beceriksizce gösterdiği gibi boşluğun kendisi olamaz. İçinde devinmeleri gereken boşluğu duyumsayamazsam atomlarımı nasıl kafamda canlandırabilirdim? Ve de eğer bir biçimde dünyadan atomları sorumlu tutmak istiyorsam önce özellikten yoksun olduğu için tanımlanamaz gibi görünen bir şeyi tanımlamam gerekir.

LEDERMAN: O zaman ne yaptın?

DEMOCRITUS [*gülerek*]: Endişe etmemeye karar verdim. Konuya boş – verdim.

LEDERMAN: Vay be!

DEMOCRITUS: *Κυσυρα βακμια* [Kusura bakma.] Ciddi olmak gerekirse problemi bıçağımla çözdüm.

LEDERMAN: Peyniri atomlarına bölen hayali bıçağınla mı?

DEMOCRITUS: Hayır, gerçek bir bıçak, diyelim ki gerçek bir elmayı keserken. Bıçağın ağzı girdiği yerde boş bir yer bulmak zorundadır.

LEDERMAN: Ya elma boşluksuz bir araya gelmiş katı atomlardan oluşuyorsa?

DEMOCRITUS: O zaman içine girilemez çünkü atomların içine girilemez. Hayır, görüp hissedebildiğimiz tüm maddeler yeterince keskin bir bıçağın varsa kesilebilir. O halde boşluk vardır. Ama o zaman çoğu kez kendime insanın sonsuza dek mantıksal açınazlarla avunamayacağını söyledim hâlâ da buna inanıyorum. Devam ediyoruz, sanki hiçlik benimsenebilirmiş gibi sürdürüyoruz. Eğer her şeyin nasıl çalıştığına ilişkin bir anahtar araştırmayı sürdürürsek bu önemli bir idman olacaktır. Mantığın bıçak sırtında engelleri yenerek riski düşürmeye hazır olmalıyız. Sanırım siz çağdaş deneyciler bu tutum karşısında şoka uğrayacaklar. Gelişmek için her ama her noktayı

kanıtlamanız gerekir.

LEDERMAN: Yo, senin yaklaşımın çok çağdaş. Biz de aynı şeyi yaparız. Varsayımlarda bulunuruz yoksa hiçbir yere gidemezdik. Bazen kuramcıların dediklerini bile hesaba katarız. Bilmeceleri kestirmeden geçip onları çözmeyi geleceğin fizikçilerine bırakmakla tanınmışızdır.

DEMOCRITUS: Biraz mantıklı olmaya başladın.

LEDERMAN: O zaman toparlarsak senin evrenin oldukça basit.

DEMOCRITUS: Atomlar ve boş uzay dışında hiçbir şey yoktur; geri kalanların tümü görüştür.

LEDERMAN: Eğer her şeyi bulduysan, burada yirminci yüzyılın kuyruğunun ucunda ne işin var?

DEMOCRITUS: Dediğim gibi insanoğlunun görüşlerinin sonunda gerçekle çakışıp çakışmadığını, çakıştıysa bunun ne zaman olduğunu görmek için zamanda sıçrıyordum. Yurttaşlarımın a-tom'u, nihai parçacığı reddettiğini biliyorum. 1993'ün insanlarının yalnız benimsemekle kalmayıp onu bulduklarını da anlıyorum.

LEDERMAN: Hem evet hem hayır. Nihai bir parçacık olduğuna inanıyoruz ama tam senin dediğin biçimde değil.

DEMOCRITUS: Nasıl o zaman?

LEDERMAN: Her şeyden önce sen temel yapı taşı olarak a-tom'a inanırken aslında pek çok tür a-tom olduğuna inanıyordun: sıvıların yuvarlak a-tomları var; metallerin a-tom'larının kilitleri var; düzgün a-tom'lar şekeri ve diğer tatlı şeyleri biçimlendiriyor; sivri a-tom'lar limonu, ekşi şeyleri yapıyor v.b.

DEMOCRITUS: Ya sizin görüşünüz?

LEDERMAN: Çok karmaşık. Bizim a-tom'umuz çok daha basit. Senin modelinde çok daha büyük sayıda değişik a-tom'lar var. Pekala her tür nesne için bir tür atom olabilir. Biz tek bir a-tom bulmayı umuyoruz.

DEMOCRITUS: Basitlik uğruna maceraya atılmaya bayılırım ama böyle bir model nasıl çalışır? Tek a-tom'dan çeşitliliği nasıl elde edeceksiniz ve de bu a-tom nedir?

LEDERMAN: Şu evrede az sayıda a-tom'umuz var. Bir tür a-tom'a

"quark" öteki türe de "lepton" diyoruz ve her türden altı tane ayırt ettik.

DEMOCRITUS: Benim a-tom'uma ne kadar benziyorlar?

LEDERMAN: Bölünemez, katı, yapısızlar. Görünmezler. Küçükler.

DEMOCRITUS: Ne kadar küçük?

LEDERMAN: Quark'ın nokta gibi olduğunu düşünüyoruz. Boyutu yok ve bu yüzden senin a-tom'undan farklı olarak biçimi de yok.

DEMOCRITUS: Boyutsuz ha? Yine de var oluyor ve katı mı?

LEDERMAN: Onun matematiksel bir nokta olduğuna inanıyoruz, o zaman katılık tartışma konusu oluyor. Maddenin görünürdeki katılığı quarkların birbirleriyle ve leptonlarla birleşmelerinin ayrıntılarına bağlı oluyor.

DEMOCRITUS: Bu, düşünmesi zor bir şey. Ama bana zaman ver. Sizin kuramsal probleminizi kavrarım. Bu quark'ı, şu boyutsuz özü, benimseyebileceğime inanıyorum. Ancak çevremizdeki dünyanın çeşitliliğini –ağaçlar, kazlar, Macintosh'lar– bu kadar az parçacıkla nasıl açıklıyorsunuz?

LEDERMAN: Quark'lar ve Lepton'lar evrendeki diğer her şeyi yapmak üzere birleşirler. Ve de bizde her birinden altı tane var. Sadece iki quark ve bir leptonla milyarlarca farklı şey yapabiliriz. Bir süre topu topu bir tane gerektiğini düşündük. Ama doğa daha fazlasına gereksiniyor.

DEMOCRITUS: Benim bir çok a-tomumdansa on iki parçacığın çok daha basit olduğuna katılıyorum ama on iki de hâlâ büyük bir sayı.

LEDERMAN: Altı tür quark belki de aynı şeyin farklı görünümleridir. Quarkların altı "kokusu" Bunun bize gösterdiği şey çeşitli quarkların her tür maddeyi oluşturmak üzere birleştiği. Ama insanın evrendeki her tür nesne için senin modelinde olduğu gibi ayrı bir quark kokusuna –ateş için bir, oksijen için bir, kurşun için bir– gereksinimi yoktur.

DEMOCRITUS: Bu quarklar nasıl birleşir?

LEDERMAN: Quarklar arasında güçlü bir kuvvet var, işin içine karışan elektriksel güçlerden çok farklı davranan çok garip türde bir kuvvet.

DEMOCRITUS: Evet, bu elektrik dalgasını biliyorum. On dokuzuncu yüzyılda şu Faraday denen adamla kısa bir konuşma yapmıştım.

LEDERMAN: Zeki bir bilimci.

DEMOCRITUS: Belki öyledir ama matematiği felaketti. Benim çalıştığım Mısır'da onu asla yapamazdı. Ama ben konu dışına çıktım. Güçlü bir kuvvet diyorsun. Şu işitmiş olduğum yerçekimsel güçten mi söz ediyorsun?

LEDERMAN: Yerçekimi mi? O çok daha zayıf. Aslında quarklar bizim gluonlar dediğimiz parçacıklarla bir arada tutulur.

DEMOCRITUS: Ah, senin gluonların. Şimdi tümden yeni bir parçacık türünden konuşuyoruz. Maddeyi yapanın quarklar olduğunu sanıyordum.

LEDERMAN: Onlar yapıyor. Ama kuvvetleri unutma. Ayrıca ayar bozonları dediğimiz parçacıklar var. Bu bozonların bir görevi var. İşleri, kuvvet hakkındaki bilgiyi A parçacığından B'ye sonra tekrar A'ya taşımaktır. Aksi halde B, A'nın ona kuvvet uyguladığını nereden bilirdi?

DEMOCRITUS: Vay! Evreka! Tam Yunanlı fikri! Thales bayılırdı.

LEDERMAN: Ayar bozonları ya da kuvvet taşıyıcıları veya bizim dediğimiz gibi kuvvet aracısının aslında kuvvetin davranışını belirleyen özellikleri –kütle, dönme, yük– vardır. Böylece örneğin elektromanyetik kuvveti taşıyan fotonların kütlesi sıfırdır ve bu onların çok hızlı yol almalarına olanak verir. Bu kuvvetin çok uzun menzilli olduğunu gösterir; sıfır kütleli gluonlarca taşınan güçlü kuvvet de sonsuza dek uzanır ama kuvvet öyle güçlüdür ki quarklar asla birbirinden çok uzağa gidemezler. Zayıf kuvvet dediğimiz kuvveti taşıyan ağır W ve Z parçacıkları kısa menzillidir. Çok küçük uzaklıklarda çalışırlar. Yerçekimi için bir parçamız var, ona "graviton" adını verdik ama şimdiye dek görmedik hattâ onun için iyi bir kuram bile yazmadık.

DEMOCRITUS: Benimkinden daha "basit" dediğiniz model bu mu?

LEDERMAN: Siz atomcular çeşitli kuvvetleri nasıl açıkladınız?

DEMOCRITUS: Açıklamadık. Leucippus ve ben atomların sürekli devinim halinde olmaları gerektiğini biliyorduk ve basitçe bu fikri

benimsedik. Dünyanın başlangıçta neden bu durmak bilmez atomik devinime sahip olması gerektiğine belki Miletuslu mantığıyla hareket nedeninin atomun niteliğinin bir parçası olduğu dışında hiçbir neden gösteremedik. Dünya neyse odur ve insan bazı temel nitelikleri benimsemek zorundadır. Dört değişik kuvvete ilişkin tüm kuramlarınızla bu düşünceye karşı çıkabilir misin?

LEDERMAN: Gerçekten çıkamam. Ama bu atomcuların güçlü bir biçimde yazgıya ya da şansa inandığı anlamına gelmiyor mu?

DEMOCRITUS: Evrende var olan her şey şansın ve gerekliliğin ürünüdür.

LEDERMAN: Şans ve gereklilik – iki zıt kavram.

DEMOCRITUS: Yine de doğa her ikisine de uyar. Gelincik tohumundan her zaman gelincik çıkar, devedikeni çıkmaz, orası doğru. Bu gerekliliğin işleyişidir. Ama atomların çarpışmasıyla oluşan gelincik tohumu sayısında güçlü şans öğeleri vardır.

LEDERMAN: Senin dediğine göre doğa bize özel bir poker eli veriyor ki bu bir şans konusu. Ama o elin gerekli sonuçları var.

DEMOCRITUS: Kaba bir benzetme ama evet o böyle çalışıyor. Bu sana çok yabancı mı?

LEDERMAN: Hayır, az önce betimlediğin şey çağdaş fiziğin temel inançlarından biri gibi. Biz ona kuantum kuramı diyoruz.

DEMOCRITUS: A, evet, bin dokuz yüz yirmi ve otuzlardaki şu Jön Türkler. O dönemde çok fazla oyalanmadım. Şu Einstein denen adamla yapılan tüm o kavgalar – bana çok şey ifade etmedi.

LEDERMAN: Kuantum çetesiyle –Niels Bohr, Werner Heisenberg, Max Born ve güruhu– Erwin Schrödinger ve Albert Einstein gibi doğanın yolunu şansın belirlediği fikrine karşı çıkan fizikçiler arasındaki harika çatışmalardan hoşlanmadın ha?

DEMOCRITUS: Beni yanlış anlama. Zeki adamlar; hepsi öyle. Ama tartışmaları her zaman bir takımın ya da diğerinin Tanrının adını ya da güdüsünü ortaya atmakla sonlanıyordu.

LEDERMAN: Einstein Tanrının evrenle barbut oynadığını benimseyemediğini söylemişti.

DEMOCRITUS: Evet, tartışma kötüye gittiğinde hep Tanrı kozunu çıkarıyorlardı. İnan bana eski Yunanistan'da bunlardan yeterince tanıdım. Benim savunucum Aristoteles bile benim şansa inancım ve devinimi bir ilk olgu olarak benimsemem yüzünden beni fena halde azarlamıştı.

LEDERMAN: Kuantum kuramını nasıl buldun?

DEMOCRITUS: Kesinlikle sevdim onu, sanırım. Daha sonra Richard Feynman'la tanıştım ve bana kendisinin de kuantum kuramını hiçbir zaman anlamamış olduğunu çıtlattı. Hep güçlük çektiğim nokta... Dur bir dakika! Konuyu değiştirdin. Üzerinde gevezelik ettiğin şu "basit" parçacıklara geri dönelim. Quarkların birbirine nasıl yapıştığını açıklıyordun, şeyi yapmak için... neyi yapmak için?

LEDERMAN: Quarklar hadronlar dediğimiz büyük bir nesne sınıfının yapı taşlarıdır. Bu "ağır" anlamına Yunanca bir sözcük.

DEMOCRITUS: Gerçekten!

LEDERMAN: Yapabildiğimizin en azı bu. Quarklardan yapılmış en ünlü nesne protondur. Bir proton için üç quark gerekir. Aslında protonun pek çok kuzeni için üç quark yeter, üç quarkın bir çok kombinasyonu vardır – sanırım iki yüz on altı tane. Bu hadronların çoğu keşfedilmiş ve lambda (Λ), sigma (Σ) gibi Yunan harflerinin adları verilmiştir.

DEMOCRITUS: Proton bu hadronlardan biri mi?

LEDERMAN: Ve şu andaki evrenimizde en popüler olanı. Örneğin bir proton ya da bir nötron yapmak için üç quarkı birbirine yapıştırabilirsin. Sonra leptonlar denen parçacık sınıfından bir elektronu bir protona ekleyerek bir atom yapabilirsin. Bu özel atoma hidrojen denir. Sekiz proton, eşit sayıda nötron ve sekiz elektronla bir oksijen atomu inşa edebilirsin. Nötronlarla protonlar çekirdek dediğimiz minik bir yığında birbirlerine sarılırlar. İki hidrojen atomuyla bir oksijen atomunu birbirine yapıştırırsan su elde edersin. Azıcık su, azıcık karbon, biraz oksijen biraz da azot ve önünde sonunda tatarcıkları, atları ve Yunanlıları elde edersin.

DEMOCRITUS: Ve hepsi quarklarla başlıyor.

LEDERMAN: Yaa.

DEMOCRITUS: Ve gereksindiğin tek şey bu.

LEDERMAN: Tam değil. Atomların bir araya gelmesine yol açan sonra da onları başka atomlara yapıştıran bir şeylere de gereksinimin vardır.

DEMOCRITUS: Yine gluonlar.

LEDERMAN: Hayır, onlar yalnızca quarkları birbirine yapıştırır.

DEMOCRITUS: Ηαψ αλλαη! [Hay allah!]

LEDERMAN: Bu Faraday'la Chuck Coulomb gibi öteki elektrikçilerin işe karıştığı nokta. Onlar elektronları çekirdeğe doğru çeken elektriksel kuvvetleri incelediler. Atomlar çekirdeklerin ve elektronların karmaşık bir dansıyla birbirlerini çekerler.

DEMOCRITUS: Bu elektronlar, elektriğin de arkasındalar değil mi?

LEDERMAN: Onun temel çantalarından biri.

DEMOCRITUS: O halde bunlar da ayar bozonları, fotonlar ve W'lar ve Z'ler gibi öyle mi?

LEDERMAN: Hayır elektronlar madde parçacıkları. Onlar lepton ailesinden. Quarklar ve leptonlar maddeyi yapar. Fotonlar, gluonlar, W'lar, Z'ler ve gravitonlar kuvvetleri yaparlar. Bugünün en ilgi çekici gelişmelerinden biri kuvvetle madde arasındaki ayırımın bulanıklaşması. Tümü parçacık. Yeni bir basitlik.

DEMOCRITUS: Ben kendi sistemimi daha çok beğeniyorum. Benim karmaşıklığım sizin basitliğinizden daha basit gibi. Neyse, öteki beş lepton ne?

LEDERMAN: Üç tür nötrino, artı muon ve tau denen iki lepton var. Ama şimdi onlara girmeyelim. Elektron bugünün global ekonomisinin en önemli leptonu.

DEMOCRITUS: O zaman yalnızca elektron ve altı quark için endişelenmem gerekiyor. Bunlar kuşları, denizi, bulutları açıklıyor...

LEDERMAN: Doğrusu bugün evrendeki hemen her şey yalnızca iki quark –yukarı ve aşağı quarklar– ve elektrondan ibaret. Nötrino evrende özgürce yılar ve bizim radyoaktif çekirdeklerimizden fırlar; öteki quarklarla leptonlar bizim laboratuarlarımızda imal edilmiş olsa gerek.

DEMOCRITUS: O zaman onlara neden gereksinelim?

LEDERMAN: İyi bir soru. Şuna inanıyoruz: maddenin altı temel parçacığı var. Altı quark, altı lepton. Bugün yalnızca birkaç tanesi bolca var. Ama Big Bang sırasında, evrenin doğuşunda hepsi eşit dağılmış olarak oradaydı.

DEMOCRITUS: Peki tüm bunlara kim inanıyor, altı quark ve altı leptona? Sizler bir avuç kişi mi? Birkaç zındık mı? Hepiniz mi?

LEDERMAN: Hepimiz. Hiç değilse tüm zeki parçacık fizikçileri. Ama bu kavram tüm bilimciler tarafından oldukça fazla benimsenmiştir. Bu konuda bize güvenirler.

DEMOCRITUS: O zaman biz nerede anlaşamıyoruz? Ben kesilmeyen bir atom olduğunu söyledim. Ama onlardan çok, pek çok vardı. Ve onlar birbirini tamamlayan biçim özellikleri nedeniyle birleşmişlerdi. Sen bu "a-tomlar"dan yalnızca altı ya da on iki tane olduğunu söylüyorsun. Ve onların biçimleri yok ama birbirini tamamlayan elektrik yükleri nedeniyle birleşiyorlar. Senin quarklarınla leptonların da kesilmiyor. Şimdi, yalnızca on iki tane olduğundan emin misin?

LEDERMAN: Şey... nasıl saydığına bağlı. Ayrıca altı antiquark ve altı antilepton ve de

DEMOCRITUS: Κοδγα Ζευσ'υν δονυ! [Koca Zeus'un donu!]

LEDERMAN: Sandığın kadar kötü değil. Uzlaşmadığımızdan daha çok uzlaşıyoruz. Ama bana söylemiş olduklarına karşın böyle ilkel, cahil bir zındığın bizim quark dediğimiz atomla ortaya çıkabilmesi beni hâlâ şaşırtıyor. Fikri doğrulamak için ne tür deneyler yaptınız? Biz burada her kavramı sınamak için milyarlarca drahmi harcıyoruz. Sen nasıl bu kadar ucuz çalışabildin?

DEMOCRITUS: Biz onu eski moda yoldan yaptık. Bir Enerji Departmanı ya da Ulusal Bilim Vakfı olmadığı için Salt Mantığı kullanmak zorunda kaldık.

LEDERMAN: O zaman kuramlarını uydurdun.

DEMOCRITUS: Hayır biz eski Yunanlıların bile fikirlerimizi biçimlendirdiğimiz ipuçlarımız vardı. Dediğim gibi gelincik tohumlarından her zaman gelincikler çıktığını gördük. Bahar her zaman kıştan sonra gelir. Güneş doğar ve batar. Empedocles su saatlerini ve dönen kovaları inceledi. İnsan gözlerini açarsa sonuçlara varabilir.

LEDERMAN: Çağdaşlarından birinin dediği gibi "Sadece bakarak bir çok şeyi gözlemleyebilirsin."

DEMOCRITUS: Kesinlikle! Böylesine Yunanlı bir bakış açısı olan bu bilge kim?

LEDERMAN: A. Y. I. Yogi

DEMOCRITUS: Mutlaka sizin en büyük filozoflarınızdan biridir.

LEDERMAN: Öyle de diyebilirsin. Ama neden deneye güvenmiyorsun?

DEMOCRITUS: Akıl duyulardan daha iyidir. *Hakiki* bilgiyi içerir. İkinci tür bilgi duyulardan –görme, işitme, koklama, tad, dokunma– gelen sahte bilgidir. Düşünsene. Sana tatlı gelen içki bana ekşi gelebilir. Sana güzel gelen bir kadın benim için hiçbir şeydir. Çirkin bir çocuk annesine güzel görünür. Böyle bilgilere nasıl güvenebiliriz?

LEDERMAN: O zaman nesne dünyasını ölçebileceğimize inanmıyorsun? Duyularımız basitçe duyusal bilgi uydururlar ha?

DEMOCRITUS: Hayır duyularımız yoktan bilgi yaratmazlar. Nesneler atomlarını saçarlar. Bu onları görmemizin ya da koklamamızın –sana anlattığım ekmek sonunu gibi– nedenidir. Bu atomlar / imgeler ruha giden geçitler olan duyu organlarımızdan içeri girerler. Ama imgeler havadan geçerken çarpılırlar; uzaktaki nesneleri görmememiz bundan. Duyular gerçeklik hakkında hiçbir güvenilir bilgi vermez. Her şey özneldir.

LEDERMAN: Sana göre hiçbir nesnel gerçeklik yok mu?

DEMOCRITUS: Ha, nesnel bir gerçeklik var. Ama onu doğru olarak algılayamayız. Hasta olduğumda yiyeceklerin tadı değişir. Su bir ele ılık gelebilir, ötekine gelmez. Tümü atomların bizim bedenlerimizdeki geçici birleşmelerine ve onların algılanan nesnedeki aynı derecede geçici birleşmelerine tepkisine bağlıdır. Gerçek, duyulardan daha derin olmalıdır.

LEDERMAN: Ölçülen nesne ile ölçme aygıtı –bu olguda beden– etkileşirler ve nesnenin doğasını değiştirirler böylece de ölçümü bulanıklaştırırlar.

DEMOCRITUS: Bu konuda düşünmenin garip bir yolu, ama evet. Ne anlıyorsun?

LEDERMAN: Şey, bunun sahte bilgi olduğunu düşünmek yerine insan bunu ölçümün ya da duyunun *kesin olmayışı* sorunu olarak görebilir.

DEMOCRITUS: Bununla yaşayabilirim. Ya da Heraclitus'tan alıntı yaparsak "Duyular kötü tanıklardır."

LEDERMAN: Onu "hakiki" bilginin kaynağı diye adlandırsan bile akıl daha mı iyi? Senin dünya görüşünde akıl senin ruh dediğin şeyin bir özelliği ki o da atomlardan ibaret. Bu atomlar da sürekli devinim halinde ve dıştaki çarpık atomlarla etkileşim içinde değil mi? İnsan duyularla düşünceler arasında mutlak bir ayırım yapabilir mi?

DEMOCRITUS: İyi bir noktaya değindin. Geçmişte dediğim gibi "Kötü akıl bizden gelir." Duyulardan. Yine de Salt Mantık duyulardan daha az yanıltıcıdır. Senin deneylerine kuşkucu kaldım. Tüm telleri ve makinalarıyla tüm bu koca binaları neredeyse gülünesi buldum.

LEDERMAN: Belki öyledirler. Ama görebildiklerimize, dokunabildiklerimize ve işitebildiklerimize güvenme güçlüğünün anıtları olarak duruyorlar. Senin, ölçümlerin öznelliğine ilişkin sözlerin bizim tarafımızdan on altı ve on yedinci yüzyıllarda yavaşça öğrenildi. Yavaş yavaş gözlem ve ölçmeyi defterlere sayıları yazmak gibi nesnel eylemlere indirgemeyi öğrendik. Bir hipotezi, bir fikri, doğanın bir sürecini bir çok açıdan, bir çok laboratuarda, birçok bilimci tarafından nesnel gerçekliğe en yakın sonuç –konsensusla– ortaya çıkana dek sınamayı öğrendik. Bize gözlemde yardımcı olsun diye harika aygıtlar yaptık ama onlar bir çok yerde ve bir çok teknikle yinelenene dek ortaya çıkardığı sonuçlara kuşkulu olmayı öğrendik. Son olarak sonuçları zamanın sınamasına maruz bıraktık. Eğer bazı genç OÇ[1] yüzyıl sonra ve şöhret için yanıp tutuşarak onu yerle bir ederse bırak etsin. Onu ödül ve övgülerle ödüllendiririz. Kıskançlığımızı ve korkumuzu bastırmayı ve alçağı sevmeyi öğrendik.

DEMOCRITUS: İyi de iktidar ne olacak? Dünyanın benim çalışmalarım hakkında bildiklerinin çoğu Aristoteles'den geldi. İktidardan söz et. İnsanlar yaşlı Aristoteles'le uzlaşmadıklarında sürüldü, hapse atıldı ve yakıldı. Atom fikri güç bela Rönesans'a ulaştı.

LEDERMAN: Şimdi işler çok daha iyi. Mükemmel değil ama daha iyi.

---

[1] *[Orospu çocukları – çev.]*

Bugün iyi bir bilimciyi neredeyse kurulu düzenden ne denli kuşku duyduğuyla ölçüyoruz.

DEMOCRITUS: Zeus aşkına, bu iyi haber. Pencereler ya da deneyler yapmayan erişkin bilimcilere kaç para veriyorsunuz?

LEDERMAN: Açıkçası sana bir kuramcı olarak iş verilir. Saat ücreti iyi ama ben onlardan pek fazlasını işe alımıyorum. Kuramcılar hiçbir zaman Çarşambaları toplantı yapmazlar çünkü bu iki hafta sonunu öldürür. Ayrıca sen kendini gösterdiğin kadar deney karşıtı değilsin. Fikri beğensen de beğenmesen de deneyler yaptın.

DEMOCRITUS: Ben mi yaptım?

LEDERMAN: Elbette. Bıçağın. O bir zihinsel deneydi ama yine de bir deneydi. Zihninde o peynir parçasını kese kese senin atom kuramına ulaştın.

DEMOCRITUS: Evet ama bu tümüyle zihindeydi. Salt Mantık.

LEDERMAN: Sana bu bıçağı göstersem ne olurdu?

DEMOCRITUS: Ne diyorsun?

LEDERMAN: Maddeyi sonsuza dek, sonunda bir a-tom kalana dek kesen bir bıçak gösterseydim.

DEMOCRITUS: Bir atomu kesen bir bıçak mı buldunuz? ***Bu*** kentte mi?

LEDERMAN [*başını sallayarak*]: Onun tam ağzının üstünde oturuyoruz.

DEMOCRITUS: Bu laboratuar, senin bıçağın mı?

LEDERMAN: Parçacık hızlandırıcısı. Ayaklarımızın altında parçacıklar çevresi dört mil olan bir tübün içinde dönüyor ve birbirine çarpıyor.

DEMOCRITUS: Maddeyi a-toma ulaşana dek kesme yolunuz bu ha?

LEDERMAN: Quarklara ve leptonlara dek, evet.

DEMOCRITUS: Etkilendim. Ve daha küçük hiçbir şey olmadığından eminsin öyle mi?

LEDERMAN: Şey evet; kesinlikle eminim, sanırım, belki.

DEMOCRITUS: Ama mutlak değil. Yoksa kesmeyi durdurmuş olurdun.

LEDERMAN: "Kesmek" bize içlerinde koşuşan küçük adamlar olmasa da quarkların ve leptonların özellikleri hakkında bir şeyler öğretti.

DEMOCRITUS: Sormayı unuttuğum bir şey var. Quarklar – tümü de nokta gibi, boyutsuz; gerçek bir büyüklükleri yok. O halde elektriksel yükleri dışında onları nasıl ayırt ediyorsunuz?

LEDERMAN: Farklı kütleleri var.

DEMOCRITUS: Bazıları ağır, bazıları hafif ha?

LEDERMAN: Da.

DEMOCRITUS: Bu biraz bilmecemsi geldi.

LEDERMAN: Farklı kütleleri olması mı?

DEMOCRITUS: Herhangi bir ağırlıkları olması. *Benim* atomlarımın hiç ağırlığı yok. Quarklarınızın kütlesi olması sizi rahatsız etmiyor mu? Bunu açıklayabiliyor musunuz?

LEDERMAN: Evet, bizi epeyce rahatsız ediyor ve hayır, açıklayamıyoruz. Ama bizim deneylerimizin gösterdiği bu. Ayar bozonlarıyla işler daha da kötü. Akla yakın kuramlar onların kütlesinin sıfır olması gerektiğini söylüyor. Sıfır, hiç, mafiş! Ama...

DEMOCRITUS: Herhangi bir cahil Trakyalı tenekeci kendini aynı sıkıntıda hissederdi. Bir kayayı kaldırırsın. Ağır gelir. Bir tutam yünü kaldırırsın Hafif gelir. Bu dünyada yaşamanın sonucu olarak atomların –istersen quarkların de– farklı ağırlıları olduğuna varılır. Ama yine duyular kötü tanıklardır. Salt Mantığı kullanarak maddenin neden ağırlığı olması gerektiğini anlamıyorum. Bunu açıklayabilir misin? Parçacıklara kütlesini ne verir?

LEDERMAN: O bir giz. Hâlâ bu fikirle boğuşuyoruz. Eğer biz bu kitapta 8. Bölüme gelene dek bu kontrol odasında takılırsan hepsini açıklayacağız. Kütlenin bir alandan geldiğinden kuşkulanıyoruz.

DEMOCRITUS: Alan mı?

LEDERMAN: Bizim kuramsal fizikçilerimiz ona Higgs alanı diyor. O tüm uzaya yayılır, apeirona, senin boşluğu doldurur, maddeyi çeker, onu ağır yapar.

DEMOCRITUS: Higgs mi? Higgs de kim? Neden siz insanlar bir şeylere

benim adımı vermiyorsunuz – democriton! İşittiğinizde tüm öteki parçacıklarla etkileştiğini *bilirsiniz*.

LEDERMAN: Özür dilerim. Kuramcılar şeylere hep birbirlerinin adlarını verirler.

DEMOCRITUS: Bu alan ne?

LEDERMAN: Alan Higgs bozonu dediğimiz bir parçacıkla temsil edilir.

DEMOCRITUS: Bir parçacık! Bu fikri zaten sevdim. Ve siz bu Higgs parçacığını hızlandırıcılarınızda buldunuz ha?

LEDERMAN: Şey hayır.

DEMOCRITUS: O zaman nerede buldunuz?

LEDERMAN: Onu henüz bulmadık. O yalnızca ortak fizikçi zihninde vardır. Salt Olmayan Mantık gibi bir şeyde.

DEMOCRITUS: Neden ona inanıyorsunuz?

LEDERMAN: Çünkü var olması gerekiyor. Quarklar, leptonlar, bilinen dört kuvvet – bunların hiçbiri gördüklerimizi çarpıtan, deneysel sonuçlarımızı büken masif bir alan olmadıkça tümüyle anlam kazanamaz. Tümdengelime göre, Higgs oradadır

DEMOCRITUS: Bir Yunanlı gibi konuştun. Bu Higgs alanını sevdim. Pekala, bak, gitmem gerekiyor. Yirmibirinci yüzyılın sandallarını methettiler. Geleceğe doğru yoluma devam etmeden, benim atomumun araştırılmasında daha büyük ilerlemelerin oluştuğu yer ve zaman hakkında bir fikrin var mı?

LEDERMAN: İki zaman, iki farklı yer. Birincisi sana 1995'de buraya Batavia'ya dönmeni öneririm. Ondan sonra yaklaşık 2005'de Texas'ta Waxahachie'yi dene.

DEMOCRITUS [*homurdanır*]: Hadi canım. Siz fizikçiler hep birbirinize benziyorsunuz. Birkaç yıl içinde her şeyin açığa kavuşacağını düşünüyorsunuz. 1900'de Lord Kelvin'i ve 1972'de Murray Gell-Mann'ı ziyaret ettim ve her ikisi de bana fiziğin bittiği, her şeyin tamamen açıklandığı konusunda güvence verdiler. Altı ay sonra geri gelmemi ve tüm düğümlerin çözülmüş olacağını söylediler.

LEDERMAN: Ben bunu söylemiyorum.

DEMOCRITUS: Umarım öyledir. Bu yolu yirmi dört yüzyıldır izliyorum. O kadar kolay değil.

LEDERMAN: Biliyorum. 95'de ve 2005'de geri gelmeni söylüyorum çünkü o zaman bazı *ilginç* olaylar bulacaksın.

DEMOCRTIRUS: Ne gibi?

LEDERMAN: Altı quark vardı hatırlıyor musun? Onların yalnızca beşini bulduk, sonuncusunu burada, Fermilab'da. Altıncı ve sonuncu quarkı –en ağır quarkı– bulmamız gerekiyor; ona tepe quarkı diyoruz.

DEMOCRITUS: 1995'de aramaya başlayacaksınız öyle mi?

LEDERMAN: Söylediğim gibi şimdi arıyoruz. Ayaklarımızın altında dönen parçacıklar kesilip ayrılıyor ve bu quarkı aramak için kılı kırk yararak inceleniyor. Henüz onu bulmadık. Ama 1995'e doğru onu bulmuş olacağız... ya da var olmadığını kanıtlamış olacağız.

DEMOCRITUS: Bunu yapabilir misiniz?

LEDERMAN: Evet makinemiz bu denli güçlü, bu denli kesin. Eğer onu bulursak her şey yolunda olur. Altı quarkla altı leptonun senin a-tomların olduğu fikrini daha da sağlamlaştıracağız.

DEMOCRITUS:Yapamazsanız...

LEDERMAN: O zaman her şey yerle bir olacak. Kuramlarımız, standart modelimiz hiç değerine düşecek. Kuramcılar ikinci kat pencerelerinden atlayacak. Bileklerini tereyağı bıçaklarıyla kesecekler.

DEMOCRITUS [güler]: Çok eğlenceli! Haklısın. 1995'de Batavia'ya dönmem gerek.

LEDERMAN: Onun senin kuramının da sonu olacağını ekleyebilirim.

DEMOCRITUS: Benim fikirlerim uzun bir süre dayandı genç adam. Eğer a-tom bir quark ya da lepton değilse başka bir şey olduğu ortaya çıkar. Her zaman öyle olmuştur. Ama söyle bana. Neden 2005? Ve şu Waxahachie nerede?

LEDERMAN: Teksas'ta, çölde, tarihin en büyük parçacık hızlandırıcısını inşa ettiğimiz yerde. Aslında, büyük piramitlerden bu yana inşa edilmiş her tür bilimsel aracın en büyüğü olacak. (Piramitleri kimin tasarladığını bilmiyorum ama tüm işi atalarım yapmıştı!) Süperiletken

Süper Çarpıştırıcı, bizim yeni makinemiz, 2005'e doğru –üç aşağı beş yukarı, Kongre nin bütçeyi ne zaman onayladığına bağlı olarak– tam faaliyette olacak.

DEMOCRITUS: Yeni hızlandırıcınız buradakinin bulamadığı neyi bulacak?

LEDERMAN: Higgs bozonunu. Higgs alanının peşinden gidecek. Higgs parçacığını yakalamaya çalışacak. Onun ilk kez neden şeylerin ağır olduğunu ve neden dünyanın bu denli karmaşık göründüğünü ortaya çıkaracağını umuyoruz. (oysa sen de ben de en temelde dünyanın basit olduğunu biliyoruz.)

DEMOCRITUS: Bir Yunan tapınağı gibi.

LEDERMAN: Ya da Bronx'ta bir shul[1]?

DEMOCRITUS: Bu yeni makineyi görmeliyim. Ve de bu parçacığı. Higgs bozonunu – hiç de şiirsel bir ad değil.

LEDERMAN: Ben ona Tanrı parçacığı diyorum.

DEMOCRITUS: Daha iyi. Yine de küçük "t"yi yeğlerim. Ama söyle bana sen bir deneycisin. Bugüne kadar bu Higgs parçacığı için ne gibi fiziksel kanıtlar topladın?

LEDERMAN: Hiç. Sıfır. Aslında Salt Mantık dışında kanıtlar en duyarlı fizikçileri bile Higgs'in var olmadığına inandırdı.

DEMOCRITUS: Yine de direniyorsun.

LEDERMAN: Olumsuz kanıt henüz başlangıcında. Ayrıca bu ülkede bir anlatımımız var...

DEMOCRITUS: Evet?

LEDERMAN: "Her şey bitmeden işler bitmez."

DEMOCRITUS: A. Y. I. Yogi mi?

LEDERMAN: Hee.

DEMOCRITUS: O bir dahi.

[Yiddiş "okul"–Çev.]

Ege'nin kuzey ucunda Trakya'nın Yunan kesiminde Nestos nehri ağzında Abdera kenti bulunur. Dünyanın bu kesimindeki çoğu kentlerde olduğu gibi tarih, süpermarketlere, otoparklara ve sinemalara yukarıdan bakan tepelerin kayalarına yazılmıştır. 2400 yıl kadar önce kent eski Yunanistan anayurduyla şimdi Türkiye'nin batısı olan Ionia'daki önemli mülkler arasındaki işlek kara yolu üzerindeydi. Abdera aslında Büyük Kurus'un ordularından kaçan göçmenler tarafından kurulmuştu.

İsa'dan önce beşinci yüzyılda Abdera'da yaşadığınızı düşleyin. Bu keçi sürülerinin ülkesinde doğal olaylar bilimsel nedenlerle açıklanmazdı. Şimşek çakması Olimpus Dağının tepesinden kızgın Zeus'un fırlattığı yıldırımlardı. İnsanın sakin sularda keyif mi süreceği yoksa dev dalgaların içinde mi olacağı Poseidon'un değişken mizacına kalmıştı. Bolluklar ya da kıtlıklar Ceres'in, tarım tanrıçasının, kapris lerine göre oluşurdu; iklim koşullarına göre değil. O zaman çağın toplumsal inançlarını görmezden gelebilen ve quark ve kuantum kuramıyla uyumlu kavramlarla ortaya çıkabilen bir aklın keskinliğini ve bütünlüğünü düşleyin. Eski Yunanistan'da, şimdi olduğu gibi, gelişme dehanın bir kazasıydı, ileri görüş ve yaratıcılık sahibi bireylerin işiydi. Ama bir dahi için bile Democritus zamanından çok ilerideydi.

Antik çağlardan beri yinelenen bilimsel olarak en öğretici iki sözüyle tanınmıştı: "Atomlar ve boşluk dışında hiçbir şey yoktur; başka her şey görüştür." ve "Evrende var olan her şey raslantı ve gerekliliğin ürünüdür." Kuşkusuz Democritus'un mirasının –Miletus' daki öncülerinin muazzam başarılarının– hakkını vermemiz gerekir. Bu adamlar görevi belirlemişlerdi: algılarımızın kaosunun altında tek bir düzen vardır; dahası biz bu düzeni kavrama yeteneğine sahibiz.

Democritus'a seyahat etmiş olması yardım etmiş olabilir. En kapsamlı araştırmaları yaparak "Zamanımdaki herhangi bir insandan daha geniş toprakları gezdim, daha çok iklim gördüm ve daha çok ünlü adamla konuştum." Mısır'da astronomi ve Babil'de matematik öğrendi. Pers ülkesini ziyaret etti. Ama atomcu kuramının uyarısı öncülleri Thales, Empedocles ve belki de, kuşkusuz, Leucippus gibi Yunanistan'dan geldi.

Ve yayın yaptı! İskenderiye kataloglarında altmış çalışmadan

fazlası listelenmişti: fizik, kozmoloji, astronomi, coğrafya, fizyoloji, tıp, duyu, epistemoloji, matematik, mıknatıslık, botanik, şiir ve müzik kuramı, lenguistik, tarım, resim ve başka konular. Yayınlanmış çalışmalarının hemen hiçbiri sağlam kalmamıştır; Democritus hakkındaki bilgilerimiz temelde parçacıklardan ve daha sonraki Yunan tarihçilerinin tanıklığından gelir. Newton gibi büyü ve simya keşifleri üzerine de yazmıştır. Ne biçim bir adamdı bu?

Tarihçiler ondan Gülen Filozof diye söz ederler, insanoğlunun budalalıkları onu şenliğe yöneltmiştir. Olasılıkla zengindi; Yunan filozoflarının çoğu öyleydi. Seksi onaylamadığını biliyoruz. Democritus'un dediğine göre seks öylesine haz vericidir ki insanın bilincini kaplayabilir. Belki de onun sırrı buydu ve belki daha iyi düşünsünler diye kuramcılarımıza seksi yasaklamamız gerekir. (Deneycilerin düşünmeye gereksinimi yoktur bu yüzden bu kuralın dışında kalabilirler.) Democritus arkadaşlığa değer verirdi ama kadınlar için iyi şeyler düşünmezdi. Çocuk istemezdi çünkü onları eğitmek felsefesini karıştırabilirdi. Şiddetli ve tutkulu hiçbir şeyden hoşlanmadığını bildirmişti.

Bunun doğru olduğunu kabul etmek biraz zor. Şiddetin hiç yabancısı değildi; onun atomları durmadan şiddetli bir devinim halindeydiler. Ve Democritus'un inandığına inanmak tutku ister. İnançları ona hiç ün getirmediği halde onlara sadık kalmıştı. Aristoteles ona saygı duydu ama söz edildiği gibi Plato tüm kitaplarının yakılmasını istedi. Doğduğu kentte Democritus bir başka filozofun, kendilerini zengin adamlara konuşma sanatı öğretmenleri olarak adayan filozoflar okulu olan Sofistlerin en ünlüsü Protagoras'ın gölgesinde kalmıştı. Protagoras Abdera'yı terk edip Atina'ya gittiğinde hevesle karşılanmıştı. Öte yandan Democritus şöyle demişti, "Atina'ya gittim ve hiç kimse beni tanımadı."

Democritus bizim Democritus'un yazdıklarından derlenen ve biraz düş gücüyle süslenen hayali düş söyleşimizde yer almayan başka bir çok şeye de inanırdı. O söyleşiyi uydurmaya cesaret ettim ama Democritus'un temel inançlarına dokunmadan; sadece kendime deneylerin değeri konusunda onun aklını çelme lüksünü tanıdım. Kendi hayali "bıçağının" Fermilab'ın karnında hayata geçtiğini görmenin çekimine direnmesinin hiç yolu olmadığına güveniyordum.

Democritus'un boşluk üzerine çalışması devrimciydi. Örneğin uzayda üst, alt, orta olmadığını biliyordu. Her ne kadar bu fikir ilk kez Anaximandros tarafından öne sürüldüyse de yer merkezci halkıyla bu gezegende doğmuş bir insan için bu tam başarıydı. Yukarı ya da aşağının olmadığı kuramı uzay kapsüllerinden alınan TV sahnelerine karşın hâlâ çoğu insan için zordur. Democritus'un daha ileri inançlarından biri farklı büyüklükte sayısız dünya olduğudur. Bu dünyalar düzensiz uzaklıktadır, bir yönde daha fazla bir başka yönde daha az. Bazıları büyümekte bazıları çökmektedir. Şurada var olurlar. Ötede ölürler, birbirlerine çarpıp parçalanırlar. Bazı dünyalarda ne hayvansal ne bitkisel hayat ne de su vardı. İşin garibi bu algılama çağdaş kozmolojik fikirlerle ve bununla bağlantılı olarak "şişen evren" ve ondan fışkıran sayısız "köpük evrenler" denen şeyle ilişkilendirilebilir. Bu fikir iki binyıl önce Yunan imparatorluğunu dolaşan bir gülen filozoftan çıkmıştı.

Her şeyin "şansın ya da gerekliliğin ürünü" olduğuna ilişkin ünlü deyişine gelince biz aynı paradoksu en dramatik olarak yirminci yüzyılın en büyük kuramlarından biri olan kuantum mekaniğinde buluruz. Democritus, atomların tek tek çarpışmasının zorunlu sonuçları olduğunu söylemişti. Kesin kurallar vardı. Ancak hangi çarpışmalar daha sıktır, hangi atomlar belli bir bölgede egemendir –bunların tümü şans öğeleri. Mantıksal sonucuna gidecek olursak bu kavram neredeyse ideal bir güneş–dünya sisteminin yaratılmasının bir şans konusu olduğu anlamına gelir. Çağdaş kuantum kuramının bu muammayı çözümünde, kesinlik ve düzenlilik değişik olasılıkta tepkilerin dağılımı üzerinde bir ortalama olarak ortaya çıkar. Ortalamaya katkıda bulunan rastgele süreçlerin sayısı arttıkça insan ne olacağını giderek artan kesinlikle söyleyebilir. Democritus'un kavramı bizim bugünkü inancımızla uyum içindedir. İnsan belli bir atomun başına ne geleceğini kesin olarak söyleyemez ama uzayda rastgele çarpışan milyarlarca atomun devinimlerinin sonuçlarını doğru olarak öngörebilir.

Duyulara güvensizliği bile kayda değer bir içgörü sağlamaktadır. Duyu organlarımızın algılanan nesnenin atomlarıyla çarpışan bu yüzden de algılarımızı kısıtlayan atomlardan yapıldığına dikkat çeker. 5. Bölümde göreceğiniz gibi bu sorunu ifade ediş biçimi bu yüzyılın bir başka büyük keşfi, Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle uyum

içindedir. Ölçme işlemi, ölçülen parçacığı etkiler. Evet burada biraz şiirsellik var.

Felsefe tarihinde Democritus'un yeri nedir? Geleneksel standartlara göre pek yüce değil –gerçek çağdaşları Socrates, Aristoteles, Plato kadar hiç değil. Bazı tarihçiler onun atom kuramını Yunan felsefesinin garip bir dipnotu olarak ele alırlar. Ama hiç değilse güçlü bir azınlık görüşü vardır. İngiliz filozofu Bertrand Russell Democritus'tan sonra felsefenin tepe aşağı gittiğini ve Rönesansa kadar toparlanamadığını söylemişti. Russell, Democritus ve öncüllerinin "dünyayı anlamak için önyargısız bir çaba içine girdiklerini" yazmıştı. Tutumları "yaratıcı, çalışkan ve macera keyfiyle dolu" idi. Her şeyle ilgilenmişlerdi– meteorlar ve güneş tutulmaları, balıklar ve hortumlar, din ve ahlak; nüfuz edici bir zekayla çocukların neşesini birleştirmişlerdi." Boş inançlı değil gerçekten bilimseldiler ve çağlarının önyargılarından pek fazla etkilenmemişlerdi.

Kuşkusuz Russell, Democritus gibi ciddi bir matematikçiydi ve bu adamlar birbirlerini tutarlar. Bir matematikçinin Democritus, Leucippus ve Empedokles gibi sıkı düşünürlerin yanını tutması olsa olsa doğaldır. Russell Aristoteles ve diğerlerinin atomcuları atomların özgün devinimlerini hesaba katmadıkları için kınadıkları halde Leucippus ve Democritus'un evrene bir amaç yüklememekle eleştirmenlerinden çok daha bilimsel olduklarını söyler. Atomcular nedenselliğin bir şeyle başlaması gerektiğini biliyorlardı ve bu başlangıçtaki şeye hiçbir neden yüklenemezdi. Devinim basitçe bir ilk veriydi. Atomcular mekanik sorular sorup mekanik yanıtlar verdiler. Onlar "Neden?" diye sorduklarında kast ettikleri: bir olayın *nedeni* nedir? İzleyicileri –Plato, Aristoteles filan– "Neden?" diye sorunca bir olayın *amacını* araştırıyorlardı. Ne yazık ki diyor Russell bu ikinci sorgulama biçimi "genellikle çok geçmeden bir Yaratıcıya ya da hiç değilse bir Yapaycıya ulaşır." Bu Yaratıcının sonradan birisi bir super Yaratıcı öne sürene kadar hesaba katılmaması gerekir v.b. Bu tür düşünmek diyor Russell bilimi kör bir yola sokmuştur ve bilim yüzyıllarca orada kısılıp kalmıştır.

İ.Ö. yaklaşık 400'deki Yunanistan'la kıyaslayınca bilim nerede duruyor? Bugünün deneyle yönetilen "standart model"i Democritus'un spekulatif atom kuramına aykırı değil. Geçmiş ya da şimdiki

evrende yalnızca on iki madde parçacığıyla tavuk çorbasından nötron yıldızlarına kadar her şeyi yapabiliriz. Bizim a-tomlarımız iki aileden gelir: altı quark ve altı lepton. Altı quarkın adı yukarı, aşağı, büyülü, garip, tepe (ya da taç) ve en alt (ya da enfes). Leptonlar tanıdık elektronu, elektron nötrinoyu, muonu, muon nötrinoyu, tauyu ve tau nötrinoyu içerirler.

Ama "geçmiş ya da şimdiki" evrenler dediğimize dikkat edin. Eğer Chicago'nun Güney Kesimi'nden evrenin ucuna kadar yalnızca şimdiki çevremizden söz ediyorsak pekala daha az parçacıkla yetinebiliriz. Quarklar için farklı kombinasyonlarla atomun (periyodik tablodaki türden atomun) çekirdeğini yapmak için yalnızca yukarı ve aşağı quarklar yeter. Leptonlar arasında nukleusun yörüngesinde dönen eski dost elektron ve çoğu tür tepkime için temel olan nötrino olmadan yapamayız. Ama muon ve tau parçacıklarına neden gereksinelim? Ya da büyülü, garip ve daha ağır quarklara? Evet onları hızlandırıcılarımızda yapabilir ya da onları kozmik ışın çarpışmalarında gözlemleyebiliriz. Ama onlar neden buradalar? Bu "ekstra" a-tomlardan daha sonra söz edeceğiz.

KALEİDOSKOPUN İÇİNE BAKMAK

Atomculuğun şansı biz standart modelimize ulaşmadan önce epeyce dalgalanmıştır. O Thales'in her şeyin su olduğunu söylemesiyle başladı (atom sayısı: 1). Empedocles hava – toprak – ateş – su ile ortaya çıktı (sayı: 4). Democritus'un rahatsız edici sayıda biçimi ama yalnızca bir kavramı vardı (sayı: ?). Sonra atomların Lucretius, Newton, Roger Joseph Boskovich ve pek çok başkaları tarafından felsefi bir kavram olarak tartışılmasına karşın uzun bir tarihsel duraklama oldu. Sonunda 1803'de John Dalton tarafından atomlar deneysel gerekliliğe indirgendiler. Sonra kimyacıların sıkı sıkıya yakalamasıyla atomların sayısı arttı – 20, 48 ve bu yüzyılın ilk yıllarında 92. Kısa sürede nükleer kimyacılar yenilerini yaptılar (sayı: 112 ve artıyor). Lord Rutherford (1910 dolaylarında) Dalton'un atomunun bölünemez olmadığını bir çekirdekle elektronlar içerdiğini (sayı: 2) keşfettiğinde basitliğe doğru geriye dev bir adım attı. Ha evet foton da vardı (sayı: 3). 1930'da çekirdeğin protonlar kadar nötronları da barındırdığı bulundu (sayı: 4). Bugün 6 quark, 6 lepton, 12 ayar bozonu ve dürüst

davranmak istiyorsanız karşıparçacıkları ve renkleri de sayabilirsiniz çünkü quarklar üç gölgeyle ortaya çıkarlar (sayı: 60). Ama sayan kim?

Tarih bizim diyelim ki "prequarklar" diyebileceğimiz şeyler bulabileceğimizi böylece temel yapı taşlarının toplam sayısını azaltacağımızı telkin eder. Ama tarih her zaman haklı değildir. Daha yeni kavram bizim bir camdan, karanlık bir camdan baktığımızdır. – yani bizim standart modelimizde "a-tomlar"ın çoğalmasının nasıl baktığımıza bağlı olduğu. Bir çocuk oyuncağı, kaleidoskop, basit bir modele karmaşıklık eklemek için aynalar kullanarak güzel modeller gösterir. Bir yıldız modeli yerçekimsel merceklerin bir paraziti olarak görülür. Şimdi anlaşıldığı üzere Higgs bozonu –Tanrı parçacığı– bizim giderek karmaşıklaşan standart modelimizin gerisinde basit bir eski simetri dünyasını ortaya koyan düzeneği pekala sağlayabilir.

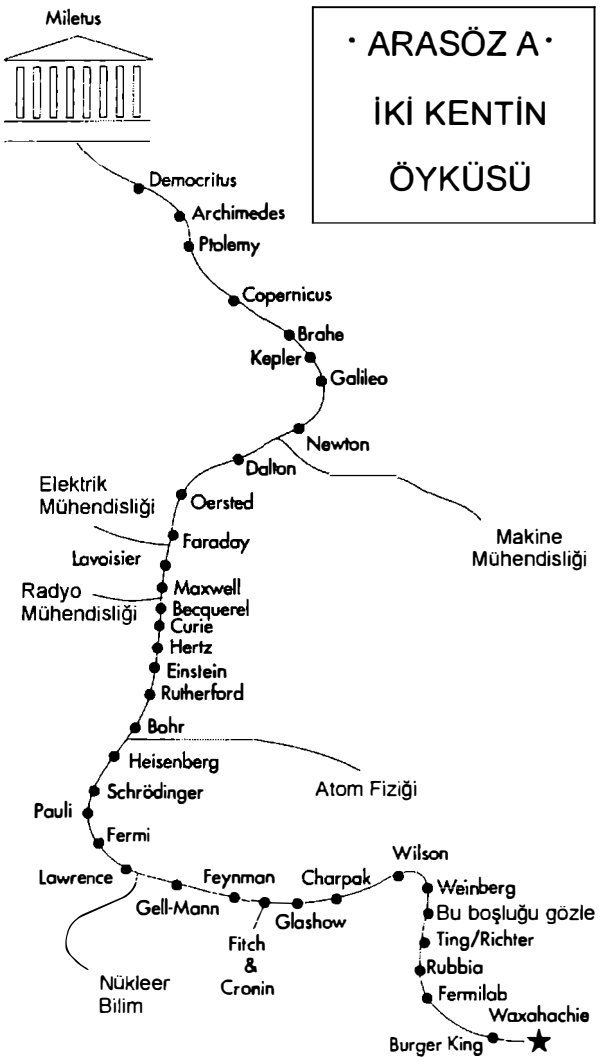
Bu bizi geriye eski bir felsefi çatışmaya götürür. Bu evren gerçek mi? Eğer öyleyse bunu bilebilir miyiz? Kuramcılar bu soruna pek bulaşmazlar. Nesnel gerçekliği Democritus gibi yüzeysel değeriyle benimser ve hesaplarına dönerler. (Eğer her yere bir kalem bir de defterle gidecekseniz zekice bir seçim.) Ama aygıtlarının ve duyularının zayıflığından eziyet çeken bir deneyci, üzerine bir cetvel koyduğunuzda kayganlaşabilen bu gerçekliği ölçme görevi karşısında soğuk terler dökebilir. Bazen bir deneyden çıkan sayılar öyle garip ve beklenmediktir ki bir fizikçinin tüylerini diken diken edebilir.

Şu kütle sorununu alalım. Quarkların ve de W ve Z parçacıklarının kütleleri hakkında topladığımız veriler kesinlikle şaşırtıcıdır. Leptonlar –elektron, muon ve tau– bize kütleleri dışında her bakımdan aynı görünen parçacıklar sunar. Kütle gerçek midir? Literatürde 1980'lerde ve 90'larda türeyen bir görüş bir şeyin bu boş uzaya yayıldığını ve atomlara yanılsatan bir ağırlık sağladığını öne sürer. Bu "bir şey" bir gün kendini aygıtlarımızın içinde bir parçacık olarak ortaya koyacaktır.

Bu arada atomlar ve boş uzaydan başka hiçbir şey yoktur, başka her şey görüştür.

Yaşlı Democritus'un kıkırdadığını duyabiliyorum.

ARASÖZ A


Miletus
· ARASÖZ A ·
İKİ KENTİN
ÖYKÜSÜ
Democritus
Archimedes
Ptolemy
Copernicus
Brahe
Kepler
Galileo
Newton
Dalton
Elektrik
Mühendisliği
Oersted
Faraday
Lavoisier
Makine
Mühendisliği
Radyo
Mühendisliği
Maxwell
Becquerel
Curie
Hertz
Einstein
Rutherford
Bohr
Heisenberg
Atom Fiziği
Schrödinger
Pauli
Fermi
Wilson
Lawrence
Feynman
Charpak
Weinberg
Gell-Mann
Glashow
Bu boşluğu gözle
Ting/Richter
Fitch
&
Cronin
Rubbia
Nükleer
Bilim
Fermilab
Waxahachie
Burger King

• 3 •

ATOMU ARAMAK: MEKANİK

Siz, Galileo Galilei'nin büyük çalışması *Dialoghi sui due massimi sistemi del mondo*'nun yayınlanışının 350'inci yıl dönümünü anmaya hazırlananlara söylemek isterim ki Galileo olayı sırasında ve sonrasında kilisenin deneyimi, onu, kendisine uygun olan, çok daha olgun bir tutuma ve otoritenin çok daha doğru bir kavranışına yöneltmiştir. Sizlerin önünde 10 Kasım 1979'da Papalık Bilimleri Akademisi önünde söylediklerini yineliyorum: "Din adamlarının, bilginlerin ve tarihçilerin, içten bir işbirliği ruhuyla coşarak Galileo olgusunu daha derinlemesine inceleyeceklerini ve hataların içtenlikle farkına vararak, hangi yandan gelirlerse gelsinler, çoğu insanın aklında hâlâ bir engel oluşturan güvensizliği, bilimle inanç arasında verimli bir uygunluk sağlamak üzere gidereceklerini umuyorum."

– Papa cenapları John Paul II, 1986

Vincenzo Galilei matematikçilerden nefret ederdi. Bu garip gibi görünebilir çünkü kendisi de hayli yetenekli bir matematikçiydi. Ancak her şeyden önce bir müzisyendi; on altıncı yüzyıl Floresan'sında büyük ün sahibi bir lavtacı. 1580'lerde yeteneklerini müzik kuramına yöneltti ve böyle bir şey olmadığını gördü. Vincenzo lanetin iki bin yıl önce ölmüş olan bir matematikçiden, Pithagoras'tan geldiğini söyledi.

Pithagoras, bir mistik, Yunan adası Samos'ta Democritus'tan yaklaşık bir yüzyıl önce doğmuştu. Yaşamının büyük kısmını Pithagorasçıları, sayılara dinsel bir saygı gösteren ve yaşamlarına bir dizi takıntılı tabu egemen olan bir tür gizli erkekler topluluğunu, örgütlediği İtalya'da geçirdi. Fasulye yemeyi ya da yere düşürdükleri nesneleri almayı reddederlerdi. Sabah uyandıklarında bedenlerinin izini yok etmek için çarşaflarını düzeltirlerdi. Reenkarnasyona inanırlardı, köpekleri eskiden yitirdikleri dostları olabilecekleri için yemez ya da dövmezlerdi.

Sayılara takıntılıydılar. Şeylerin sayılar olduğuna inanırlardı. Nesnelerin numaralandığına değil onların 1, 2, 7 ya da 32 gibi sayılar *olduğuna.* Pithagoras sayıları biçimler olarak düşünürdü ve sayıların kareleri ve küpleri fikrini bugün bizde de korunan terimleri ortaya attı. ("Dikdörtgen" ve "üçgensel" sayılardan da söz etmişti ama bu terimler üzerinde artık düşünmüyoruz.)

Pithagoras dik üçgenle ilgili büyük bir hakikati ilk sezen kişidir. *Dik kenarların kareleri toplamının hipotenüsün karesine eşit olduğunu* göstermiştir, Des Moines'dan Ulan Bator'a kadar geometri sınıfına yolu düşen her yeni yetmenin beynini didikleyen bir formül. Bu bana öğrencilerimden birinin askere alınıp bir grup acemi erle birlikte çavuşları tarafından kendilerine metrik sistem üzerine konferans verilişini anımsattı.

ÇAVUŞ: Metrik sistemde su doksan derecede kaynar.

ER: Özür dilerim efendim, su yüz derecede kaynar.

ÇAVUŞ: Tabii ya. Ne kadar aptalım. Doksan derecede kaynayan dik açıydı.

Pithagorasçılar oranları, orantıları incelemeyi severlerdi. "Altın dikdörtgen"i[1] ortaya attılar, oranları Partenon'da ve başka bir çok Yunan yapısında ve Rönesans resminde bulunan mükemmel bir biçim.

Pithagoras ilk kozmik adamdı. İnsanoğlundan, dünyaya ve tepemizdeki dönen yıldızlara dek evrenimizdeki her şeyi belirtmek için *kozmos* sözcüğünü ortaya atan oydu (Carl Sagan değil). *Kozmos*

---

[1] *[kısa kenarı "a" uzun kenarı "a√2" olan dikdörtgen – çev.]*

düzen ve güzellik niteliklerini belirten çevirisi yapılamaz Yunanca bir sözcüktür: Evren bir *kozmos*'tur diyordu, düzenli bir bütün ve biz insanların her biri de bir *kozmos*'tur (bazıları başkalarından biraz daha *kozmos*'tur.)

Eğer Pithagoras bugün yaşasaydı Malibu tepelerinde ya da belki de Marin County'de yaşardı. Sağlıklı beslenme lokantalarına takılırdı ve ona Sundance Acacia ya da Prenses Gaia adlı fasulyeden nefret eden genç kadınlardan oluşan hırslı izleyiciler eşlik ederdi. Ya da belki de Santa Cruz'daki California Üniversitesinde matematik yardımcı profesörü olurdu.

Ama ben konudan uzaklaştım. Öykümüzün can alıcı noktası Pithagorasçıların sayılarla ilgili takıntılarını içine getirdikleri müziğin âşıkları olmaları. Pithagoras müzikte ses uyumunun "tınılı sayılar"a bağlı olduğuna inanırdı. Mükemmel ses uyumlarının müziksel skalada 1, 2, 3 ve 4 sayıları arasındaki oranlarla ifade edilebilen aralıklar olduğunu iddia ederdi. Bu sayılar toplanınca Pithagorcu dünya görüşünde mükemmel sayı olan 10 eder. Pithagorcular toplantılarına müzik aletlerini de getirirlerdi ki bu toplantılar sonunda caz seanslarına dönerdi. Ne kadar iyi olduklarını bilmiyoruz, o zaman CD'ler yoktu. Ama daha sonraki bir eleştirmen eğitimli bir tahmin yaptı.

Vincenzo Galilei ses uyumuna ilişkin fikirleri yüzünden Pithagorcuların kulaklarının topluca beş para etmediğini düşündü. Kendi kulakları Pithagorasın ölümüne yanlış olduğunu söylüyordu. On altıncı yüzyılın başka uygulamalı müzisyenleri bu eski Yunanlılara hiç aldırmadılar. Yine de Pithagorcuların fikirleri Vincenzo'nun zamanına bile ulaştı ve pratikte değilse bile müzik kuramında tınılı seslere hâlâ saygı gösteriliyordu. On altıncı yüzyıl İtalya'sında Pithagoras'ın en büyük savunucusu zamanının en önde gelen müzik kuramcısı ve Vincenzo'nun da öğretmeni olan Gioseffo Zarlino'ydu.

Vincenzo ile Zarlino konu üzerine sıkı bir tartışmaya girdiler ve Vincenzo kendi görüşünü kanıtlamak için o zaman için devrimci olan bir yöntem ortaya koydu: *deney yaptı.* Farklı boylarda ya da eşit boylarda ama farklı gerginlikte tellerle deneyler düzenleyerek müzik skalasında yeni, Pithagorcu olmayan matematiksel ilişkileri buldu. Bazıları Vincenzo'nun evrensel olarak kabul edilmiş matematiksel bir

yasayı deneyleme yoluyla yerinden oynatan ilk kişi olduğunu öne sürer. En azından eski çokselliliğin yerine çağdaş armoniyi geçiren bir hareketin en önündeydi.

Bu müziksel deneylerle ilgilenen en azından bir izleyici olduğunu biliyoruz. Vincenzo'nun büyük oğlu o ölçer ve hesaplarken izliyordu. Vincenzo oğluna matematikçilerin aptallıkları üzerine sövüp saydı. Tam olarak ne söylediğini bilmiyoruz ama zihnimde Vincezo'nun şöyle bir şeyler haykırdığını işitebiliyorum. "Şu salak sayılarla ilgili kuramları unut gitsin. Kulaklarının sana söylediklerini dinle. Matematikçi olmaktan söz ettiğini duymayayım!" Oğlanı iyi eğitti, lavta ve başka aletlerin uzman bir icracısı haline getirdi. Oğlunun duyularını eğitti, ona bir müzisyenin temel yeteneği olan zamanlamadaki hataları aramayı öğretti. Ama en büyük oğlunun hem müzikten hem de matematikten vazgeçmesini istiyordu. Tipik bir baba olan Vincenzo onun doktor olmasını istiyordu, düzgün bir geliri olsun istiyordu.

Bu deneyleri izlemenin genç adam üzerinde Vincenzo'nun düşleyebileceğinden daha derin bir etkisi oldu. Oğlan özellikle babasının uçlarına farklı ağırlıklar asarak tellere değişik gerilimler uyguladığı bir deneye hayran kaldı. Mızrapla dokunulunca bu ağırlıklı teller sarkaçlar gibi davranıyorlardı ve bu genç Galilei'nin bu evrende nesnelerin devinimlerinin ayırt ettirici yönleri üzerine düşünmesini başlatmış olabilir.

Oğulun adı kuşkusuz Galileo'ydu. Çağdaş gözler için başarıları o denli parlaktır ki tarihin o döneminde başka birinin görmesi çok zordu. Galileo, Vincenzo'nun salt matematiğin düzmeceliği hakkındaki atıp tutmalarına boş verdi ve bir matematik profesörü oldu. Ama matematiksel akıl yürütmeyi sevdiği ölçüde onu gözlem ve ölçümün hizmetine soktu. Aslında ikisini harmanlamadaki ustalığı sıklıkla "bilimsel yöntem"in gerçek başlangıcı diye anılır.

GALILEO, ZSA ZSA VE BEN

Galileo yeni bir başlangıçtı. Bu ve bundan sonraki bölümde klasik fiziğin yaratılışını göreceğiz. Ürkütücü bir kahramanlar dizisiyle tanışacağız: Galileo, Newton, Lavoisier, Mendeleev, Faraday, Maxwell ve

Hertz onlardan bazıları. Her biri maddenin nihai yapı taşını bulmaya farklı bir açıdan saldırmıştı. Benim için bu ürkütücü bir bölüm. Tüm bu insanlar hakkında pek çok şey yazıldı. Fizik iyi bilinen bir alan. Kendimi Zsa Zsa Gabor'un yedinci kocası gibi hissediyorum. Ne yapmam gerektiğini biliyorum da onu nasıl ilginç hale getirebilirim?

Democritus sonrası düşünürler sayesinde atomcuların zamanından Rönesansın şafağına kadar bilimde pek az hareket olmuştur. Karanlık Çağların o denli karanlık olması da bundan. Parçacık fiziği için iyi olan şey entelektüel düşüncenin yaklaşık iki bin yılını ihmal edebilecek olmamız. Aristocu –yermerkezli, insanmerkezli, dinci– mantık bu dönemde Batı kültürüne egemen olmuş ve fizik için steril bir ortam hazırlanmıştı. Kuşkusuz Galileo tam bir çölden fışkırmış değildi. Archimedes'e, Democritus'a ve Romalı şair-filozof Lucretius'a çok değer vermişti. Şimdi yalnızca bilim tarihi araştırmacılarının bildiği başka öncüllerini de inceleyip onlardan geliştiğinde de kuşku yok. Galileo, Copernicus'un dünya görüşünü (özenle kontrol ettikten sonra) benimsemiş kendi kişisel ve siyasal geleceğini belirlemişti.

Bu dönemde Yunan yönteminden bir ayrılma görüyoruz. Salt Mantık artık yeterli değildir. Bir deney evresine giriyoruz. Vincenzo' nun oğluna dediği gibi gerçek dünya ile salt mantık (yani matematik) arasında duyular ve hepsinden önemlisi ölçüm yer alır. Kuramcılar kadar bir çok ölçücüler kuşağıyla da tanışacağız. Bu kamplar arasındaki etkileşimin nasıl da klasik fizik denen dev yapıyı geliştirdiğini göreceğiz. Onların çalışmaları yalnızca bilim adamları ve filozofların işine yaramadı. Onların keşiflerinden bu gezegende insanların yaşama biçimini değiştiren teknolojiler doğdu.

Kuşkusuz ölçücüler ölçü değnekleri, aygıtları olmaksızın hiçbir şeydiler. O dönem harika bilimcilerin dönemiydi ama aynı zamanda harika aygıtların dönemi.

TOPLAR VE EĞİMLER

Galileo devinimin incelenmesine özel bir önem verdi. Eğri kuleden toplar düşürmüş olabilir de olmayabilir de ama uzaklık, zaman ve hız arasındaki ilişkiyi mantıksal olarak çözümlemesi olasılıkla gerçekleş-

tirdiği deneylerden daha eskiydi. Galileo nesnelerin nasıl devindiğini onları yalnızca serbest düşmeye uğratarak değil ama bir hile, bir yerine – geçen, eğik düzlem kullanarak inceledi. Galileo düz, eğimli bir tahta üzerinde aşağı doğru yuvarlanan bir topun serbestçe düşen bir topla yakın bir ilişkisi olacağını ama düz' .mn devinimi ölçülebilecek kadar yavaşlatmak gibi büyük bir avantajı olduğunu düşündü.

İlk olarak bu akıl yürütmeyi çok hafif eğimlerle –180 cm.lik tahtasının bir ucunu üç beş santim kaldırarak– başlayıp ölçümlerini giderek artan eğimlerle, hız kesin ölçüme izin vermeyecek derecede artana dek yineleyerek sınayabilirdi. Bu ona sonuçlarını nihai eğime, düşey bir serbest düşüşe dek genişletme güveni verecekti.

Şimdi yuvarlanan toplarının zamanını ölçmek için bir şeye gereksiniyordu. Galileo'nun bir kronometre satın almak için çarşıya gitmesi işe yaramadı çünkü kronometrenin keşfine daha üç yüz yıl vardı. İşte burada babasının eğitimi devreye girdi. Vincenzo'nun Galileo'nun kulaklarını müziksel vuruşlar konusunda eğittiğini anımsayın. Örneğin bir marşın her yarım saniyede bir vuruşu olabilir. Bu tempoda Galileo gibi usta bir müzisyen bir saniyenin altmış dörtte biri kadar bir hatayı saptayabilir.

Zaman dilimleri olmayan bir ülkede kaybolmuş olan Galileo eğik düzleminden bir tür müzik âleti yapmaya karar verdi. Düzlem üzerine aralıklı olarak lavta telleri gerdi. Şimdi bir topu aşağı yuvarladığında her telin üzerinden geçerken bir çıtırtı çıkarıyordu. Sonra Galileo her aralığın sesi kulağına tamamen aynı gelene dek telleri aşağı yukarı kaydırdı. Bir marş söyledi, bir vurumda topu bıraktı ve teller sonunda doğru olarak yerleştiğinde top her lavta teline kesinlikle (her biri yarım saniye aralıklı) ardarda vurumlarda çarptı. Galileo tellerin aralıklarını ölçtüğünde – *mirabile dictu*![1] tahtanın sonuna doğru geometrik olarak arttığını buldu. Başka bir deyişle başlangıçtan ikinci tele kadar olan uzaklık başlangıçtan birinci tele kadar olan uzaklığın dört katıydı. Teller arasındaki boşluk her zaman yarım saniye ile temsil edildiği halde başlangıçtan üçüncü tele kadar olan uzaklık ilk aralığın dokuz katıydı; dördüncü tel ilk telden on altı kat daha

[1] *[(lat.) Hayret! – çev.]*

aşağıdaydı v.b. (Aralıkların oranı 1 in 4'e, 9'a, 16'ya oranı. Kareler halinde de ifade edilebilir 1^2, 2^2, 3^2, 4^2 v.b.)

İyi de eğer insan düzlemi biraz kaldırır, eğimi biraz dikleştirirse ne olur? Galileo pek çok açıyla çalıştı ve aynı ilişkiyi, bu kareler dizisini, hafiften daha az hafife ta ki devinim "saat"i için uzaklıkları yeterince doğru olarak kaydetmeye izin vermeyecek kadar hızlı olana dek her eğimde buldu. Galileo'nun ortaya koyduğu temel nokta düşen bir nesnenin yalnızca düşmediği ama zaman içinde daha hızlı, daha hızlı düştüğüydü. O *ivme kazanıyordu* ve ivme sabitti.

Bir matematikçi olarak bu devinimi betimlemek için ortaya bir denklem attı. Düşen bir cismin aldığı s yolu onun o uzaklığı katetmesi için geçen t zamanının karesinin A katına eşittir. eski cebir dilinde bunu $s = At^2$ diye kısaltırız. A sabiti düzlemin her eğiminde değişmektedir. A çok önemli ivme kavramını, yani nesne düşmeye devam ettiği sürece hız artışını temsil eder. Galileo hızın yola göre zamanla daha basit biçimde değiştiğini, basit olarak (zamanın karesinden ziyade) zamanla arttığını düşünebilmişti.

Eğik düzlem, eğitimli kulağın zamanı saniyenin altmışdörtte birine kadar ölçme yeteneği ve uzaklıkları iki buçuk milimetreden daha hassas ölçme yeteneği Galileo'ya ölçümlerini yapmak için gereksindiği kesinliği sağlamıştı. Galileo sonradan sarkacın düzenli salınımına dayalı bir saat keşfetti. Bugün Standartlar Bürosu'nun atomik sezyum saatleri yılda bir saniyenin milyonda birinden daha az hatayla zamanı ölçerler. Bu saatlerin rakibi doğanın kendi zaman ölçerleri, astronomik pulsarlar, kosmosa saatinizi ayarlayabileceğiniz düzenlilikte radyo dalgaları yayan dönen nötron yıldızlarıdır. Aslında onlar sezyum atomunun atomik nabzından daha hassas olabilirler. Galileo bu derin bağlantıyla astronomiyle atomculuğun arasına girmiş olsa gerek.

İyi de $s = At^2$ neden bu denli önemli?

Bildiğimiz kadarıyla devinim ilk kez matematiksel olarak doğru biçimde ifade edilmişti. Önemli ivme ve hız kavramları kesin olarak tanımlanmıştı. Fizik, madde ve devinimin incelenmesidir. mermilerin devinimi, atomların devinimi, gezegenlerin ve kuyruklu yıldızların dönüşü, tümü de niceliksel olarak betimlenmelidir. Galileo'nun matematiği, deneyle desteklenerek başlangıç noktasını sağladı.

Tüm bunlar çok kolaymış gibi görünmesin diye Galileo'nun serbest düşme yasasına takıntısının onyıllar sürdüğünü eklemeliyiz. Hattâ bir yayınında yasayı yanlış olarak verdi. Temelde Aristocu olarak (sevgili okur, temelde Aristocu olduğumuzu biliyor muydunuz?) çoğumuz düşme hızının topun ağırlığına bağlı olacağını tahmin ederdik. Galileo zeki olduğu için başka türlü akıl yürüttü. Ama ağır şeylerin hafif şeylerden daha hızlı düşmesi gerektiğini düşünmek çok mu çılgınca? Böyle yaparız çünkü doğa bizi yanıltır. Galileo kadar zeki olunca insan cismin düşme zamanının ağırlığıyla *görünürdeki* ilişkisinin topun düzleme sürtünmesinden ileri geldiğini göstermek için özenli deneyler yapmak zorundadır. Bu yüzden sürtünmenin etkisini azaltmak için tahtayı cilâladı da cilâladı.

TÜY VE BOZUK PARA

Basit bir fizik yasasını bir dizi ölçümden süzmek o kadar basit değildir. Doğa basitliği karmaşıklaştırıcı koşullardan bir çalılığın içine gizler ve deneycinin işi bu karmaşıklığı kovmaktır. Serbest düşme yasası mükemmel bir örnektir. Kolej fiziğinde uzun cam bir tüpün tepesinde bir tüyle bir bozuk parayı tutar ve aynı zamanda bırakırız. Bozuk para hızla düşüp bir saniyeden kısa sürede dibe vurur. Tüy yavaşça aşağıya süzülür ve beş altı saniyede dibe ulaşır. Böyle gözlemler Aristoteles'i daha ağır nesnelerin daha hafif olanlardan daha hızlı düştüğü yasasını öne sürmeye yöneltmişti. Şimdi tüpün havasını alırız ve deneyi yineleriz. Tüy ve bozuk para aynı zamanda düşer. Hava direnci serbest düşme yasasını bulanıklaştırır. İlerlemek için bu karmaşıklaştırıcı özelliği çıkarmak ve basit yasayı elde etmek zorundayızdır. Eğer önemliyse daha sonra daha karmaşık ama daha uygulanabilir bir yasaya ulaşmak için bu etkinin nasıl yeniden eklenebileceğini öğrenebiliriz.

Aristocular bir nesnenin "doğal" durumunun durmak olduğuna inanırlardı. Bir topu bir düzlemde ittirin ve dursun değil mi? Galileo mükemmel olmayan koşullar hakkında her şeyi biliyordu ve bu anlayış en büyük keşiflerden birine yol açtı. Michelangelo'nun mermer kütüklerinin içinde görkemli bedenler görmesi gibi o da eğik düzlemlerin içindeki fiziği okuyabiliyordu. Ancak sürtünme, hava basıncı ve başka

mükemmel olmayan koşullar yüzünden eğik düzleminin çeşitli nesneler üzerindeki kuvvetleri incelemek için ideal olmadığının ayırdına varmıştı. Eğer ideal bir düzlemin olsa ne olurdu diye düşündü. Democritus'un zihinsel olarak bıçağını bilemesi gibi düzleminizi sonunda sürtünmeden tümüyle arınmış nihai düzgünlüğe ulaşana dek cilâlayın. Sonra hava direncini yok etmek için onu havası boşaltılmış bir odaya yerleştirin. Ve düzlemi sonsuza dek uzatın. Düzlemin mutlak yataylıkta olmasını sağlayın. Şimdi sizin düz, dümdüz düzleminizin üzerindeki mükemmel biçimde cilâlanmış topunuza küçük bir fiske vurun, ne kadar uzağa yuvarlanır? Ne kadar süreyle yuvarlanacaktır? (Tüm bunlar aklın içinde olup bittiği sürece deney olası ve ucuzdur.)

Yanıt sonsuza dek olur. Galileo şöyle akıl yürüttü: bir düzlem, dünyasal olarak mükemmel olmayan bir düzlem bile, yukarı kaldırıldığında aşağı uçtan ittirilen bir top giderek yavaşlayacaktır. Düzlem aşağı indirildiğinde tepeden bırakılan top giderek daha hızlı gidecektir. Bu nedenle eylemin sürekliliğini sezgisel olarak duyumsayarak Galileo yatay bir düzlem üzerindeki topun ne yavaşlayacak ne hızlanacak ama sonsuza dek devam edeceği sonucuna vardı. Galileo bizim şimdi Newton'un ilk devinim yasası dediğimiz şeye sezgisel bir sıçrama yapmıştı: devinim halindeki bir cisim devinim halinde kalma eğilimindedir. Devinim için kuvvetler gerekmez yalnızca devinimi değiştirmek için gereklidir. Aristocu görüşün tersine durma özel sıfır hız durumudur ama yeni görüşte artık bu herhangi bir başka sabit hızdan daha doğal değildir. Bir otomobil ya da at arabası süren herhangi bir kişi için bu sezgi karşıtı bir fikirdir. Ayağınızı pedala koymadıkça ya da atı kırbaçlamadıkça taşıt duracaktır. Galileo, gerçeği bulmak için aygıtınıza ideal koşulları zihinsel olarak uygulamamız gerektiğini gördü. (Ya da arabanızı buz tutmuş bir yolda sürmeniz gerektiğini.) Dünya hakkında köklü bir ilişkiler dizisi oluşturabilmek için sürtünme ve hava direnci gibi doğal şaşırtmacaların nasıl gideri-leceğini görmek Galileo'nun dehasıydı.

Göreceğimiz gibi Tanrı Parçacığının kendisi de basit, güzel bir evrene dayatılmış bir karışıklıktır belki de bu göz kamaştırıcı simetriyi henüz hak etmeyen insanlıktan gizlemek için.

KULENİN GERÇEĞİ

Galileo'nun basitlikten karmaşıklıkları ayıklamasının en ünlü örneği Pisa'nın Eğik Kulesi öyküsüdür. Çoğu uzman bu kulaktan kulağa aktarılmış öykünün gerçek olduğundan kuşku duyar. Bunlardan biri, Stephen Hawking, öykünün "hemen tümüyle gerçekdışı" olduğunu yazar. Hawking, Galileo'nun üzerinde çalışacak eğik düzlemi varken düşüş süresini ölçmenin hiçbir kesin yolu olmaksızın bir kuleden toplar bırakmaya neden zahmet edeceğini sorar. Yunanlıların ruhları! Kuramcı Hawking burada Salt Mantığı kullanıyor. Bu mantık Galileo gibi deneycilerin deneycisi bir adamla işe yaramaz.

Galileo'nun seçkin yaşamöykücüsü Stillman Drake Eğik Kule öyküsüne bir sürü mantıksal tarihsel neden yüzünden inanır. Ama öykü Galileo'nun kişiliğine de uyar. Kule deneyi gerçek bir deney değil bir gösteriydi, bir medya olayı, ilk büyük bilimsel halk gösterisi. Galileo gösteri yapıyordu ve de eleştirmenlerine gösteri yapıyordu.

Galileo huysuz bir adamdı – gerçekten kavgacı değil ama çabuk kızan ve meydan okunduğunda ateşli bir iddiacı. Kızdığında bir baş belası olabilirdi ve her tür budalalığa kızardı. Resmi olmayan bir adam olarak Pisa Üniversitesinde zorunlu kisve olan doktora cüppeleriyle alay etmiş ve cüppeleri sağlamakta zorluk çeken genç ve fakir hocaların pek beğendiği "Harmaniyeye Karşı" diye mizahi bir şiir yazmıştı. (Harmaniyeleri seven Democritus şiirden hiç hoşlanmamıştı.) Yaşlı profesörler pek eğlenmediler. Galileo çeşitli takma adlar kullanarak çeşitli rakiplerine de saldırılar yazmıştı. Biçemi farklıydı ve o yüzden pek az insanı kandırabildi. Düşmanları olmasına şaşmamak gerek.

En kötü entelektüel rakipleri bir cismin ancak kendisine bir kuvvet uygulanırsa devindiğine ve ağır bir cismin hafif bir cisimden daha hızlı düştüğüne çünkü dünyaya doğru daha büyük bir çekimi olduğuna inanan Aristocularıdı. Bu fikirleri sınama düşüncesi akıllarına hiç gelmemişti. Aristocu alimler Pisa Üniversitesine ve bu açıdan İtalya'daki çoğu üniversiteye egemendiler. Düşünebileceğiniz gibi Galileo'yu pek fazla tutmuyorlardı.

Pisa'nın Eğik Kulesindeki gösteri bu gruba yönelikti. Hawking onun ideal bir deney olmayacağı konusunda haklıdır. Ama o bir olaydı. Ve sahneye konulan her olayda olduğu gibi Galileo öncedeı nasıl gerçekleşeceğini biliyordu. Sabahın üçünde zifiri karanlıkta kuleye tırmandığını ve bir çift kurşundan topu aşağıya doktora asistanına attığını görebiliyorum. "İki topun da kafana eşe zamanlı olarak çarptığını hissetmelisin" diye bağırdı asistanına. "Eğer önce büyüğü çarparsa bağır." Ama bunu gerçekten yapması gerekmiyordu çünkü iki topun da yere aynı anda çarpması gerektiğini önceden uslamlamıştı.

Aklını şöyle çalıştırdı: varsayalım ki dedi Aristo haklıydı. Ağır top yere önce varacaktır, yani daha çabuk hızlanacaktır. O zaman ağır topu hafif topa bağlayalım. Hafif top gerçekten yavaşsa ağır topu geri çekecek onu daha yavaş düşürtecektir. Anacak onları birbirine bağlamakla daha da ağır bir nesne yaratmış olduk, o zaman bu nesne bileşimi her bir toptan daha hızlı düşecektir. Bu ikilemi nasıl çözeriz? Yalnızca bir çözüm tüm koşulları karşılar: her iki top da aynı hız oranıyla düşmelidir. Daha yavaş / daha hızlı muammasını çözecek tek çözüm budur.

Öyküye göre Galileo sabahın büyük bir kesimini kuleden toplar düşürerek ilgili gözlemcilere bakış açısını kanıtlayarak ve geri kalan allahın belalarını ürküterek geçirmiş. Bir bozuk para ile bir tüy değil de hava direncini kabaca denkleştirmek için çok benzer biçimde eşit olmayan ağırlıklar (tahta bir topla aynı çapta içi boş kurşun bir küre gibi) kullanacak kadar zekiydi. Gerisi tarihtir ya da öyle olmalıdır. Galileo serbest düşmenin kütleden tümüyle bağımsız olduğunu (gerçi neden olduğunu bilmiyordu ve bunu gerçekten anlamak 1915'te Einstein'a kadar bekleyecekti) kanıtlamıştı. Aristocular unutamayacakları –ya da bağışlayamayacakları– bir ders almışlardı.

Bu bilim mi yoksa gösteri işi mi? Her ikisinden de biraz. Bu eğilimde olanlar yalnızca deneyciler değildir. Büyük kuramcı (ama deneye her zaman tutkulu bir ilgi göstermiş olan bir kuramcı) Richard Feynman, *Challenger* uzay mekiği felaketini araştıran komisyondayken kendini halkın gözünün önüne çıkarmıştı. Anımsayacağınız gibi mekiğin O–halkalarının düşük ısıya dayanma yeteneği üzerinde bir uyuşmazlık vardı. Feynman tek bir eylemle uyuşmazlığı sona erdirdi: TV kameraları onun üzerindeyken bir parça O–halkasını bir

bardak buzlu suya attı ve izleyicilerin onun esnekliğini yitirişini görmelerini sağladı. Şimdi Feynman'ın Galileo gibi ne olup biteceğini önceden bildiğinden kuşkulanmıyor musunuz?

Aslında 1990'larda Galileo'nun Kule deneyi yepyeni bir şiddetle ortaya çıkmıştı. Konu diyelim bir bakır bir de kurşun top düşürüldüğünde son derece küçük bir fark üretecek "beşinci bir kuvvet"in, Newton'un yerçekimine varsayımsal bir eklentinin olasılığıydı. Diyelim otuz metreden düşme sırasındaki zaman farkı Galileo'nun zamanında düşünülemeyecek ama bugünün teknolojisinde yalnızca saygın bir meydan okuma olan milyarda bir saniye olabilirdi. Şimdiye dek 1980'lerin sonunda ortaya çıkan beşinci kuvvetin kanıtı ortadan kalkmıştır ama gazetenizi güncelleştirmeler için uyanık tutmayı sürdürür.

GALİLEO'NUN ATOMLARI

Galileo atomlar hakkında ne düşünmüştü? Archimedes, Democritus ve Lucretius'tan etkilenen Galileo sezgisel olarak atomcuydu. Onlarca yıl boyunca madde ve ışığın doğası hakkında öğretti ve yazdı, özellikle 1622'deki kitabı *Denemeci*'de ve son kitabı *İki Yeni Bilim Hakkında Söyleşi*'sinde. Işığın nokta benzeri cisimciklerden oluştuğuna ve maddenin de benzer yapıda olduğuna inanıyor gibiydi.

Galileo atomlara "en küçük quantumlar" dedi. Daha sonra "sonsuz sayıda boşlukla ayrılmış sonsuz sayıda atomlar" tasarladı. Mekanikçi bakışı sonsuz küçükler matematiğiyle, altmış yıl sonra Newton tarafından icat edilecek diferansiyel hesabıyla sıkıca ilişkiliydi. Burada zengin bir paradoks madenimiz var. Basit bir dairesel koni alın –bir aptal külahı?[1]– ve onu tabana paralel olarak yatay dilimlere böldüğünüzü düşünün. İki ardarda dilimi inceleyelim. Alttaki dilimin tepesi bir dairedir, üsttekinin tabanı da bir dairedir. Önceden doğrudan her noktadan birbirine değdiğinden çapları da eşittir. Ama koni sürekli küçüldüğüne göre daireler nasıl aynı olabilir? Ancak eğer her daire

---

[1] *[Amerika'da eskiden yaramazlık yapan çocuklar sınıfın köşesinde ayakta durma cezasına çarptırılır ve başına üzerinde aptal yazılı bir külah geçirilirdi. – çev.]*

sonsuz sayıda atom ve boşluktan oluşmuşsa insan üstteki dairenin daha az sayıda ama hâlâ sonsuz atom içerdiğini imgeleyebilir. Değil mi? 1630 ya da o civarda olduğumuzu ve son derce soyut fikirlerle – deneysel olarak sınanmasına neredeyse iki yüz yıl olan fikirlerle uğraştığımızı anımsayalım. (Bu paradoks çevresindeki yollardan biri de koniyi dilimleyen bıçağın ne kalınlıkta olduğudur. Sanırım Democritus'un yine kıkırdadığını duyuyorum.)

İki Yeni Bilim Hakkında Söyleşi'de Galileo, atom yapısı üzerine son düşüncelerini sunar. Son zamanlarda tarih bilimcilere göre varsayımda atomlar herhangi bir boyutu olmayan açıkça bölünemez ve kesilemez matematiksel nokta soyutlamalarına indirgenmiş ama Democritus'un hayal ettiği biçimleri korunmuştur.

Burada Galileo, fikri en çağdaş biçimine, noktamsı quarklar ve leptonlara daha yakına doğru devindirir.

HIZLANDIRICILAR VE TELESKOPLAR

Quarklar atomlardan çok daha soyut ve göz önünde canlandırması çok daha zordur. Şimdiye dek hiç kimse onları "görmemiş"tir o halde nasıl var olabilirler? Kanıtımız dolaylıdır. Parçacıklar bir hızlandırıcının içinde çarpışırlar. Karmaşık elektronik aygıtlar parçacıkların tarayıcının içindeki çeşitli algılayıcılarda oluşturdukları elektriksel vurumları alır ve işler. Bir bilgisayar tarayıcıdan gelen elektronik itkileri onları bir dizi sıfırlara ve birlere indirgeyerek yorumlar. Bu sonuçları bizim kontrol odamızdaki bir monitöre gönderir. Biz sıfırların ve birlerin temsillerine bakar ve "Kutsal inek aşkına, bir quark!" deriz. Meslekdışı insanlara bu olanaksız gibi gelir. Nasıl bu kadar emin olabiliriz? Çarpıştırıcı ya da tarayıcı ya da bilgisayar veya bilgisayardan monitöre giden tel quarkı "uydurmuş" olamaz mı? Her şey bir yana biz quarkı kendi Tanrı vergisi gözlerimizle hiçbir zaman görmüyoruz. Ah bilimin daha basit olduğu zamanlar! Yeniden on altıncı yüzyılda olmak ne güzel olurdu? Yoksa olmaz mıydı? Galileo'ya sorun.

Kayıtlarına göre Galileo bir yığın teleskop yapmıştı. Teleskopunu kendi deyişiyle "yüz bin yıldız ve başka nesne üzerinde yüz bin kez"

sınamıştı. O nesneye güveniyordu. Şimdi bunun bende şöyle bir zihinsel resmi var. İşte Galileo ve tüm öğrencileri. O teleskopuyla pencereden bakıyor ve gördüklerini betimliyor ötekiler de bunları çiziktiriyorlar: "İşte bir ağaç. Şu tarafa doğru bir dalı var şu yanda da bir yaprağı." Onlara teleskoptan gördüklerini anlattıktan sonra hepsi atlarına ya da arabalarına –belki de bir otobüse– atlayıp tarlanın öbür ucundaki ağaca yakından bakmaya gidiyorlar. Ağacı Galileo'nun betimlemesiyle kıyaslıyorlar. Bu bir aygıtın ayarlanışıdır. Bunu on bin kez yaparsınız. O zaman Galileo'nun eleştirmenlerinden biri sınamanın titizliğini tanımlar ve şöyle der "Eğer bu deneyleri yersel nesnelere uygularsam teleskop muhteşem. Tanrı vergisi nesneyle Tanrı vergisi göz arasına bir şeyler koyduğu halde ona güveniyorum. Yine de sizi aldatmıyor. Öte yandan göğe bakarsanız orada bir yıldız var. Ve teleskoptan bakarsanız iki yıldız oluyor. Tümüyle çılgınca!"

Tamam onun sözleri tastamam bunlar değildi. Ama eleştirmenlerden biri Galileo'nun Jüpiter'in dört ayı olduğu iddiasını çürütmek için bu anlamda sözcükler kullanmıştı. Teleskop ona çıplak gözle görülebilenden daha fazlasını görme izni verdiği için yalan söylüyor olmalıydı. Bir matematik profesörü de eğer "onları bazı camların içine yerleştirmek" için yeterince zaman verilirse kendisinin de Jüpiter'in dört ayını bulabileceğini söyleyerek Galileo'yu bir kenara attı.

Bir aygıt kullanan herhangi bir kişi bu sorunla karşılaşır. Aygıt sonuçları "uyduruyor" mu? Galileo'nun eleştirmenleri bugün aptal görünebilir ama onlar kaçık mıydılar yoksa yalnızca bilimsel tutucular mu? Hiç kuşkusuz her ikisinden de biraz. 1600'de insanlar gözün görmede etkin bir rolü olduğuna inanırlardı; bize Tanrı tarafından verilen göz küresi dünyayı bizim için yorumlardı. Bugün gözün bir demet algılayıcısıyla görsel bilgiyi bizim gerçekten "gördüğümüz" görsel beyin kabuğumuza geçiren bir mercekten başka bir şey olmadığını biliyoruz. Göz aslında nesneyle beyin arasında bir aracıdır, tıpkı teleskopun olduğu gibi. Gözlük takıyor musunuz? Zaten değiştiriyordunuz. Aslında on altıncı yüzyıl Avrupa'sında inanmış Hıristiyanlar ve filozoflar arasında gözlük takmak neredeyse kutsal kurallara saygısızlık sayılırdı, hatta gözlükler üç yüz yıldır ortalıkta olduğu halde. Kayda değer tek istisna çok dindar olan ama yine de gözlük takan Johannes Kepler'di çünkü gözlükler görmesine yardım

ediyordu; zamanının en büyük astronomu haline geldiği düşünülürse iyi ki öyle yapmıştı.

İyi ayarlanmış bir aygıtın gerçeğin iyi bir yaklaşıklığını sağlayabileceğini kabul edelim. Nihai aygıt kadar iyi olan şey belki beynimizdir. Beynin bile bazen ayarlanması ve çarpıtmayı gidermek için ona nöbetçiler ve saçmalık etmenleri uygulanması gerekir. Örneğin 20/20 görmeniz bile olsa birkaç bardak şarap çevrenizdeki arkadaşlarınızın sayısını iki katına çıkarabilir.

1600' ÜN CARL SAGAN'I

Galileo aygıtların kabulü için öncülük etmişti, bilim ve deney için önemi göz ardı edilmeyecek bir başarı. Nasıl bir kişiydi o? Bugünün kuramsal fizikçilerini kıskandıracak sezgisel içgörülere sahip ince bir aklı olan derin bir düşünür ama mercek parlatma ve aralarında teleskoplar, bileşik mikroskop ve sarkaçlı saat de bulunan bir çok aygıt yapmak için teknik beceri ve enerjisi olan biri izlenimi bırakır. Siyasal olarak uysal tutuculuk ile karşıtlarına sert, kırbaçlayıcı saldırılar arasında salınırdı. Sürekli meşgul bir etkinlik dinamosu olmuş olsa gerek, çünkü arkasında çok büyük bir yazışma, yayınlanmış çalışmaların anıtsal ciltlerini bırakmıştı. Bir toplumsallaştırıcıydı, 1604 supernovasından sonra büyük dinleyici kitlelerine halk konferansları vermiş ve berrak, basitleştirilmiş bir Latinceyle yazılar yazmıştı. Zamanının Carl Sagan'ı olmaya hiç kimse onun kadar yaklaşmamıştı. Çok fazla fakülte ona ayrıcalık tanımazdı en azından suçlu bulunmasından önce söylemi öyle katı ve eleştirileri öyle iğneleyiciydi ki.

Galileo tam bir fizikçi miydi? İnsanın tarihte bulabileceği kadar tam; bunun içinde hem deneycinin hem de kuramcının mükemmel becerilerini birleştirmişti. Hataları varsa onlar kuramsal yana düşer. Bu bileşimin on sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllarda oldukça yaygın olmasına karşın günümüzün uzmanlık çağında nadirdir. On yedinci yüzyılda "kuram" denilenlerin çoğu deneyin öylesine desteğini alır ki ayırım ortadan kalkar. Az sonra büyük bir kuramcının izlediği büyük bir deneyciye sahip olmanın avantajını göreceğiz. Aslında Galileo'nun zamanında böyle bir esaslı ardarda geliş zaten vardı.

BURUNSUZ ADAM

Bir dakika için geriye döneyim çünkü aygıt ve düşünce, deney ve kuram üzerine hiçbir kitap Marx ve Engels, Emerson ve Thoreau ya da Siegfried ve Roy gibi birlikte anılan iki isim olmadan tam değildir. Brahe ve Kepler'den söz ediyorum. Kesinlikle fizikçi değil astronomdular ama konudan kısa bir uzaklaşmayı hak ediyorlar.

Tycho Brahe, bilim tarihinin en garip kişiliklerinden biriydi. Bu 1546'da doğmuş Danimarka'lı soylu ölçücülerin ölçücüsüydü. Aşağıya doğru bakan atomcu fizikçilerin tersine yukarı, göklere baktı ve bunu daha önce yapılmamış bir kesinlikle yaptı. Brahe yıldızların, gezegenlerin, kuyruklu yıldızların ve ayın konumlarını ölçmek için her tür aygıt yaptı. Brahe teleskopun icadını yirmi yılla kaçırdı bu yüzden o ve asistanları çıplak gözle yıldızların ve başka gök cisimlerinin koordinatlarını saptasınlar diye incelikli gözlem aygıtları –azimut yarım daireleri, Ptoleme cetvelleri, pirinç sekstantlar, azimut çeyrek daireleri, paralaks cetvelleri– inşa ettiler. Bugünün sekstantlarının bu çeşitlemelerinin çoğu aralarında daire yayları bulunan çapraz kollardan ibarettir. Astronomlar çeyrek daireleri tüfek gibi kullanırlar, kolların uçlarına iliştirilmiş metal nişangahlardan bakarak yıldızlara nişan alırlar. Çapraz kolları birleştiren daire yayları okulda kullandığınız iletkilerin işini yapar; astronomlara gözlemlenen yıldız, gezegen ya da kuyruklu yıldızın görüş çizgisiyle açısını ölçme olanağı verir.

Brahe'nin aygıtlarının temel kavramında özellikle yeni hiçbir şey yoktu ama sanatın durumunu belirledi. Farklı malzemeyle deney yaptı. Bu hantal aygıtların düşey ya da yatay düzlemde nasıl kolayca dönebileceğini hesapladı ve aynı zamanda göksel cisimleri geceler boyunca aynı noktadan izlesin diye onları yere sabitledi. Brahe'nin ölçme aygıtları çoğunlukla *büyük*tü. Çağdaş döneme geldiğimizde göreceğimiz gibi büyük her zaman değil ama genellikle daha iyidir. Tycho'nun en ünlü aygıtı altı metre çapı olan duvar çeyrek dairesiydi. Onu yerine yerleştirmek için kırk güçlü kuvvetli adam gerekmişti – zamanının gerçek bir Super Çarpıştırıcısı. Yayının üzerine işaretlenen dereceler birbirinden o denli uzaktı ki Brahe her derecenin altmış dakikalık yaylarının her birini her biri on saniyelik altı alt bölüme ayırabilmişti. Daha basit bir deyişle Brahe'nin hatâ sınırı kol uzak-

lığında tutulan bir dikiş iğnesinin kalınlığı kadardı. Bunların tümü çıplak gözle yapıldı! Adamın egosu hakkında size bir fikir vermek için söyleyeyim çeyrek dairenin yayının içinde Brahe'nin gerçek boyutta bir portresi vardı.

Böylesi bir titizliğin saloz bir adama işaret olduğunu düşüneceksiniz. Tycho Brahe her şey olabilir ama saloz değil. En olağan dışı yanı burnuydu ya da burnunun yokluğu. Brahe yirmi yaşında öğrenciyken Manderup Parsbjerg adlı bir öğrenciyle bir matematik konusunda hararetli bir tartışmaya girmişti. Tartışma bir profesörün evindeki kutlamada olmuştu ve öylesine büyüdü ki arkadaşları ikisini ayırmak zorunda kaldılar. (Tamam birazcık salozdu kızlar için dövüşeceğine formüller için dövüşüyordu.) Bir hafta sonra Brahe ve rakibi bir Yılbaşı partisinde yeniden karşılaştılar, biraz içtiler ve yeniden matematik tartışmasına başladılar. Bu kez sakinleştirilemediler. Bir mezarlığın karanlık bir noktasına gidip kılıçlarıyla birbirlerine saldırdılar. Parsbjerg Brahe'nin burnundan koca bir parça keserek düelloyu çabucak bitirdi.

Bu burun sahnesi Brahe'yi yaşamı boyunca rahat bırakmadı. Estetik cerrahi yolunda ne yaptığına ilişkin iki öykü vardır. Büyük olasılıkla uydurma olan birincisi farklı olaylar için farklı malzemelerden yapılmış bir dizi yapay burun yaptırdığı biçiminde. Ama çoğu tarihçinin benimsediği öykü de hemen hemen aynı derecede iyi. Bu versiyona göre Brahe altın ve gümüşten gerçek bir buruna benzesin diye özenle boyayıp biçimlendirilmiş kalıcı bir burun ısmarladı. Bildirildiğine göre yanında burun gevşediğinde sürdüğü küçük bir kutu zamk taşıyordu. Burun, esprilerin merkeziydi. Bilimsel bir rakibi Brahe'nin astronomik gözlemlerini onu nişangâh olarak kullanıp burnuyla yaptığını öne sürdü.

Bu zorluklara karşın Brahe'nin bugünün bilimcilerinden bir üstünlüğü vardı – soylu olması. Kral II. Frederick'in arkadaşıydı ve Casiopeia takımyıldızında bir süpernova üzerine gözlemleri yüzünden ünlü olduktan sonra kral ona Sound'daki Hven adasını gözlemevi olarak kullansın diye bağışladı. Brahe'ye ayrıca adanın tüm sakinlerinin yönetimi, oradan elde edilen gelir ve kraldan fazladan fonlar verildi. Bu durumda Brahe dünyanın ilk laboratuar yöneticisi oluyordu. Ama ne yönetici! Kiraları. kraldan bir burs ve kendi

servetiyle krallara layık bir varlığı oldu. Tek kaçırdığı yirminci yüzyıl Amerika'sındaki borsa ajanlarının kârlarıydı.

Sekiz bin dönümlük ada aygıtları yapan zanaatkârları için işliklerle dolu, bir yel değirmeni, bir kâğıt fabrikası ve yaklaşık altmış dalyanla bir astronomi cenneti haline geldi. Brahe kendisi için adanın en yüksek noktasında görkemli bir ev ve gözlemevi inşa etti. Ona "Uraniborg" ya da "cennet kalesi" adını verdi ve onu bir basım ofisi, hizmetçi odaları ve Brahe'nin bekçi köpeklerinin kulübelerinin bulunduğu duvarlarla çevrili bir meydan, çiçek bahçeleri, seralar ve üç yüz kadar ağaçla çevreledi.

Brahe sonunda, koruyucusu Kral Frederick aşırı Carlsberg'den (ya da 1600'de Danimarka'da hangi içki popülerse ondan) öldükten sonra adayı pek de hoş olmayan koşullarda terketti. Hven'ın mülkiyeti krala geri döndü ve yeni kral sonradan adayı Karen Andersdotten diye birine, bir düğünde tavladığı metresine verdi. Bu, tüm laboratuar yöneticilerine dünyadaki yerleri ve iktidarın gözünde yerlerinin doldurulabilirliği açısından ders olsun. Neyse ki Brahe verilerini ve aygıtlarını çalışmalarını sürdürmek üzere iyi karşılandığı Prag yakınlarında bir kaleye taşıyarak ayaklarının üstüne bastı.

Brahe'nin ilgisini doğaya çeken evrenin düzenliliğiydi. On dört yaşında bir çocukken 21 Ağustos 1560'da olacağı tahmin edilen tam güneş tutulmasına hayran kalmıştı. İnsanlar yıldızların ve gezegenlerin devinimlerini yıllar önceden konumlarını söyleyebilecek kadar kesinlikle nasıl biliyorlardı? Brahe muazzam bir miras bırakmıştır: tam olarak bin sabit yıldızın konumlarının katalogu. Ptoleme'nin klasik katalogunu geçmiş ve çoğu eski kuramları yıkmıştı.

Brahe'nin deneysel tekniğinin en büyük üstünlüğü ölçümlerindeki olası hatalara dikkat etmesiydi. O, ölçümlerin yinelenmesinde ve her ölçümün doğruluğu konusunda bir hesapla birlikte verilmesi gerektiğinde ısrar ediyordu ve bunun 1580'e dek bir örneği yoktu. Verileri güvenilirlik sınırları ile birlikte vermeye kendini adaması bakımından çağının çok ilerisindeydi.

Bir ölçücü ve gözlemci olarak Brahe'nin eşi yoktur. Bir kuramcı olarak arzu edilecek bir sürü şey bırakmıştır. Copernicus'un ölümünden sadece üç yıl sonra doğmuştu ama Ptolemenin yüzyıllarca önce

dediği gibi güneşin dünyanın çevresinde değil bunun tersini savunan Copernic'çi sistemi hiçbir zaman tümüyle benimsemedi. Brahe'nin gözlemleri ona Ptolemeci sistemin işlemediğini gösterdi ama bir Aristocu olarak eğitildiği için dünyanın döndüğüne inanmaya kendini bırakamadı ya da dünyanın evrenin merkezi olduğuna inanmaktan vazgeçmedi. Her şey bir yana diye akıl yürüttü, eğer dünya gerçekten dönüyorsa ve eğer bir topu dünyanın dönüş yönünde ateşlersen zıt yöne ateşlediğinden daha uzağa gider ama durum böyle değildir. Bu yüzden Brahe ortaya bir uzlaşma attı: dünya evrenin merkezinde hareketsiz durur ama Ptolemeci sistemin tersine gezegenler dünyanın çevresinde dönen güneşin çevresinde dönerler.

MİSTİK SERBEST BIRAKIYOR

Kariyeri boyunca Brahe'nin bir çok muhteşem asistanı olmuştu. Tümünün en parlağı Johannes Kepler adlı garip, mistik bir matematikçi astronomdu. Dindar bir Alman asıllı Luter'ci olan Kepler bir rahip olmayı yeğlemişti çünkü matematik ona yaşamını kazanmayı sunamazdı. Aslında kilisenin giriş sınavını kazanamadı ve astrolojiyi güçlü bir ikinci meslek olarak alırken astronomiye rastladı. O zaman bile Brahe'nin gözlem verileri dağı içinde basit ve derin gerçeği sezecek kuramcı olmaya yazgılıydı.

Talihsiz bir zamanda (Reform karşıtlığının Avrupayı kasıp kavurduğu sırada) bir Protestan olan Kepler, ne Brahe'nin ne de Galileo'nun kendine güvenini taşımayan kırılgan, nevrotik, dar görüşlü bir adamdı. Tüm Kepler ailesi önemsiz olağandışılardı. Kepler'in babası bir paralı askerdi annesi bir cadı olmaya çalışmıştı ve Johannes'in kendisi de zamanının çoğunu astrolojiye ayırırdı. Neyse ki bunda iyiydi de faturaların bazılarını ödeyebiliyorlardı. 1595'de Graz kenti için dondurucu soğukları, köylü ayaklanmalarını ve Türklerin istilasını tahmin ettiği bir takvim yaptı; tüm olaylar da gerçekleşti. Kepler'e haksızlık etmemek için ek iş olarak astrologluk yapan tek kişi olmadığını söyleyelim. Galileo Mediciler için horoskoplar hazırlamıştı, Brahe de o kadar iyi olmasa da bu sanata biraz bulaşmıştı: 28 Ekim 1566'daki ay tutulmasında Kanuni Sultan Süleyman'ın öleceğini tahmin etti. Ne yazık ki sultan o tarihte zaten ölmüştü.

Brahe asistanına oldukça haksız davrandı –kesinlikle hak ettiği halde akran gibi değil– daha çok doktora öğrencisi gibi ki Kepler öyleydi. Bu aşağılama duyarlı Kepler'in tüylerini dikeltti ve ikisi bir çok kez ayrılıp bir o kadar da barıştılar çünkü Brahe Kepler'in zekasını takdir ediyordu.

Ekim 1601'de Brahe bir akşam yemeğine katıldı ve her zamanki gibi çok fazla içti. O zamanın katı görgü kuralları gereği yemek sırasında masadan kalkmak doğru değildi ve sonunda kendini deli gibi tuvalete attığında çok geç kalmıştı. İçinde "önemli bir şeyler" patlamıştı. On bir gün sonra öldü. Kepler'i daha önce başasistanı olarak atadığı için ölüm döşeğinde Brahe şanlı, zengin kariyeri boyunca edindiği verilerin tümünü ona miras bıraktı ve Kepler'den çözümleyici aklını göklerin daha ileri kavranışı için büyük bir sentez yaratmada kullanmasını diledi. Kuşkusuz Brahe Kepler'den Tychocu yermerkezli bir evren varsayımını izlemesini istedi.

Kepler ölmekte olan adamın son isteğini kabul etti ama bir ayağını kaldırmayı da ihmal etmedi çünkü Brahe'nin sisteminin saçma olduğunu düşünüyordu. Ama veriler! Veriler eşsizdi. Kepler gezegenlerin devinimlerinden bir örnek çıkartmaya çalışarak bilgiler üzerinde düşündü. Kepler Tychocu ve Ptolemeci sistemleri hantallıkları nedeniyle reddetti. Ama bir yerden başlamalıydı. Bu yüzden bir model olarak Copernicçi sistemle başladı çünkü küresel yörüngeleriyle o sistem çevredeki en zarif modeldi.

Kepler'in içindeki mistik de merkezde yerleşmiş ve tüm gezegenleri aydınlatmakla kalmayıp aynı zamanda gezegenlerin devinimleri için bir kuvvet, o zamanki deyişle bir güdü sağlayan güneş fikrini benimsedi. Güneşin bunu nasıl yaptığını tam olarak bilmiyordu –mıknatıslık gibi bir şey olduğunu tahmin etti– ama Newton için hazırlık yaptı. Güneş sistemine anlam kazandırmak için bir kuvvet gerektiği fikrini ilk öne sürenler arasındaydı.

Aynı derecede önemli olan, Copernicçi sistemin Brahe'nin verilerine hiç de uymadığını bulmasıydı. Yaşlı huysuz Danimarkalı tümevarımcı yöntemi Kepler'e yavaş yavaş aşılayarak onu iyi eğitmişti: bir gözlemler dayanağını ortaya koy ve ancak ondan sonra bir şeylerin nedenine doğru tırman. Mistisizmine ve geometrik biçimlere düşkün-

lüğüne, takıntısına karşın Kepler verilere inançla sarıldı. Brahe'nin gözlemleri –özellikle Mars'la ilgili veriler– üzerine çalışmasından neredeyse dört yüz yıl sonra hâlâ çağdaş olan gezegensel devinimin üç yasasıyla ortaya çıktı. Burada ben yasaların ayrıntılarına girmeyeceğim yalnızca ilk yasasının Plato döneminden beri sorgulanmadan kalmış Copernicçi güzel dairesel yörüngeler kavramını yok ettiğini söyleyeceğim. Kepler gezegenlerin yörüngesel yollarında güneş bir odakta olmak üzere elipsler çizdiğini ortaya koydu. Sıradışı Luterci Copernicçiliği korumuş ve onu Yunanlıların sıkıcı iç içe dairelerinden kurtarmıştı; bunu yaparken kuramlarının Brahe'nin bir dakikalık daire yayı kesinliğindeki gözlemlerini izlediğinden emin oldu.

Elipsler! Salt matematik! Yoksa salt doğa mı? Eğer Kepler'in keşfettiği gibi gezegenler güneş bir odağında olmak üzere mükemmel elipsler çizerek dönüyorsa doğa matematiği seviyor olsa gerekti. Bir şey –belki Tanrı– aşağıya dünyaya bakıyor ve "Matematiksel biçimleri seviyorum" diyordu. Doğanın matematiksel biçimleri sevdiğini göstermek kolaydı. Bir taş alın ve fırlatın. Çok iyi bir parabol çizer. Hava olmasaydı o mükemmel bir parabol olabilirdi! Bir matematikçi olmasının yanında Tanrı kibardır da. Akıl ona hazır olmadıkça karmaşıklığı gizler. Şimdi yörüngelerin kusursuz elipsler olmadığını biliyoruz (gezegenlerin birbirini çekmesi yüzünden) ama sapmalar Brahe'nin aygıtlarıyla görülemeyecek kadar küçüktür.

Kepler'in dehası kitaplarında çoğu kez ruhsal laf kalabalığı arasında karanlıklaşır. Kuyruklu yıldızların kötü haberciler olduğuna, evrenin kutsal Üçlü'ye uygun olarak üç bölgeye ayrıldığına ve gelgitlerin devasa canlı organizmalara benzettiği dünyanın soluması olduğuna inanırdı. (Bir organizma olarak dünya düşüncesi bugün Gaia varsayımı halinde yeniden doğmuştur.)

Öyle de olsa Kepler'in büyük bir aklı vardı. Zamanının en önde gelen fizikçilerinden biri olan asık suratlı Sir Arthur Eddington 1931'de Kepler'i "çağdaş kuramsal fizikçinin öncüsü" ilan etti. Eddington Kepler'i quantum çağının kuramcılarınınkine benzer bir görünümü tanıtmak için böyle övmüştü. Eddington'a göre Kepler güneş sistemini açıklamak için somut bir düzeneği aramadı ama "bir matematiksel biçim duygusu, bir şeylerin uygunluğuna yönelik estetik bir içgüdü tarafından yönetiliyordu."

PAPA GALİLEO'YA KARŞI: GEBER

1657'de zahmetli ayrıntılar üzerinde çalışmadan çok önce Kepler onu Copernicçi sistemi desteklemeye zorlamak için Galileo'ya yazmıştı. Tipik dinsel şevkle Galileo'ya "inan ve ilerle" demişti. Galileo Ptolemeci yoldan ayrılmayı reddetti. Kanıta gereksiniyordu. Bu kanıt bir aygıtla, teleskopla, geldi.

1610 Ocağının 4 ünden 15'ine kadarki geceler astronomi tarihinin en önemli geceleri olarak kaydedilmelidir. Bu tarihlerde Galileo kendi yaptığı yeni ve gelişmiş bir teleskopla Jupiter gezegeninin yanında hareket eden dört küçük "yıldız" gördü, ölçtü ve izledi. Bu cisimlerin dairesel yörüngelerde Jupiter'in çevresinde döndüğü sonucuna varmak zorunda kaldı. Bu sonuç Galileo'yu Copernicçi görüşe döndürdü. Eğer cisimler Jupiter çevresinde dönebiliyorsa tüm gezegen ve yıldızların dünyanın çevresinde döndüğü görüşü yanlıştı. İster bir bilimsel görüşe isterse bir dinsel ya da siyasal inanca çoğu sonradan dönenler gibi o da Copernicçi astronominin ateşli ve sarsılmaz bir savunucusu oldu. Tarih Galileo'yu alkışladı ama biz burada onun yetenekli ellerinde gökleri açan teleskopu da onurlandırmalıyız.

İktidardaki yönetimle çatışmasının uzun ve karmaşık öyküsü sıkça anlatılmıştır. Kilise onu astronomik inançları yüzünden ömür boyu hapse mahkum etti. (Sonradan ceza kalıcı ev hapsine dönüştürüldü.) güneşin güneş sisteminin merkezinde olabileceğinin hüküm süren bir Papa tarafından resmen bildirilmesi 1822'ye dek gerçekleşmedi. Vatican'ın Galileo'nun büyük bir bilimci olduğunu ve kilise tarafından haksızlığa uğradığını kabul etmesi 1985'i buldu.

GÜNEŞ SÜNGERİ

Galileo daha az bilinen bizim gizemimizin özüne Mars ve Jupiter'in yörüngelerinden çok daha yakın bir yoldan çıkma yüzünden de suçluydu. Fiziksel optik üzerine çalışmalarını bildirmek üzere Roma'ya ilk bilmsel gezisini yaptığında yanında içinde Bologna'da bir simyacının keşfettiği kaya parçaları bulunan küçük bir kutu vardı.

Kayalar karanlıkta parlıyordu. Bugün bu ışıldayan mineral baryum sülfid olarak bilinir. Ama 1611'de simyacılar ona çok daha şiirsel bir ad veriyorlardı: "*güneş süngeri*."

Galileo güneş süngeri parçalarını Roma'ya en sevdiği eğlencelik için getirmişti: Aristocu meslektaşlarını kızdırmak için. Aristocular karanlıkta oturup baryum sülfidin parıltısını seyrederken serseri meslektaşlarının bakış açısı onları rahat bırakmıyordu. Işık bir *şeydi*. Galileo kayayı güneşte tutmuş sonra onu karanlığa getirmişti ve ışık da onunla birlikte içeriye taşınmıştı. Bu, ışığın sadece aydınlatılmış bir ortamın bir özelliği yani cisimsiz olduğu yolundaki Aristocu görüşü yalanlıyordu. Galileo ışığı ortamından ayırmış ve onu istediği gibi taşımıştı. Aristocu bir katolik için bu Meryem Ana'nın tatlılığını alıp bir katıra ya da taşa yerleştirebileceğini söylemek gibiydi. İyi de ışık tam olarak neyden ibaretti? Galileo görünmeyen parçacıklar diye akıl yürüttü. Parçacıklar! Işığın mekanik bir etkisi vardı. Taşınabiliyordu, nesnelere çarpıyor, onlardan yansıyor, içlerinden geçebiliyordu. Galileo'nun ışığın parçacıksal olduğunu kavraması *bölünmez* atomlar fikrini benimsemesine yol açtı. Güneş süngerinin nasıl çalıştığını bilmiyordu ama her ne kadar bu kuramın altına imzasını atmadıysa da belki de özel bir kaya ışıklı parçacıkları bir mıknatısın demir tozlarını çekmesi gibi çekiyordu. Ne olursa olsun böylesi fikirler Galileo'nun katolik ortodoksluğu ile zaten çatışmalı olan konumunu daha da belirginleştirdi.

Galileo'nun tarihsel mirası kilise ve dine girift bir biçimde bağlı gibidir ama o kendisini profesyonel bir inanç karşıtı ya da bu nedenle haksız yere suçlanmış bir aziz olarak görmüyordu. Bugün amaçlarımız açısından o bir fizikçiydi hem de Copernicçiliği savunmasının da ötesinde büyük bir fizikçi. Pek çok alanın temelini attı. Deneyleri matematiksel düşünceyle harmanladı. Bir nesne devindiği zaman onun devinimi bir matematiksel denklemle nicelleştirmek önemlidir diyordu. Her zaman "Nesneler nasıl deviniyor?" diye sorardı "Nasıl? Nasıl?" "Neden? Neden bu küre düşüyor?" diye sormazdı. Devinimi yalnızca tanımladığının ayırdındaydı, onun zamanı için yeterince güç bir iş. Democritus Galileo'nun Newton'a yapacak bir şeyler bırakmak istediğini söylerken şaka yapmış olsa gerek.

DARPHANE MÜDÜRÜ

Çok merhametli efendim,

Ben katledileceğim, her ne kadar siz böyle olmadığını düşünebilirseniz de bu böyle. Cinayetlerin en kötüsüyle katledileceğim. Eğer sizin merhametli elleriniz beni kurtarmazsa bu Adaletin önünde olacak.

Kalpazanlığı sabit görülmüş William Chaloner –zamanının en renkli yasadışı kişisi– 1698'de sonunda kendisini yakalamayı, suçlamayı ve suçu kanıtlamayı başaran memura böyle yazmıştı. Chaloner o zamanlar büyük ölçüde altın ve gümüş paralardan oluşan İngiliz parasının ayarını tehdit etmişti.

Bu umutsuz çağrının hedefi Darphane bekçisi (sonradan müdür oldu) olan Isaac Newton diye biriydi. Newton Darphaneyi denetlemek olan işini yapıyordu, büyük miktarda yeniden para basımını gözden geçiriyor ve parayı kalpazanlara ve paralardan bir miktar değerli metali törpüledikten sonra onu tammış gibi süren kırpıcılara karşı koruyordu. Hazine sekreterliği gibi bir şey olan bu konum eşkiyalar, dolandırıcılar, hırsızlar, kara para aklayıcıları ve kraliyetin parasını rahatsız eden diğer serserilere savaş açan parlementonun yüksek politikasını karıştırdı. Kral zamanının önde gelen bilimcisi Newton'u daha önemli şeyler üzerinde çalışırken bu hafif işle ödüllendirmişti. Ama Newton işi ciddiye aldı. Kırpıcılarla savaşmak için paraların kenarlarındaki yivleri icat etti. Kalpazanların asılmasında bizzat bulundu. Bu konum Newton'un daha önceki yaşamının, bilim ve matematik takıntısının doğa felsefesi tarihinin en derin gelişmesini, belki de 1900'lerin görecelik kuramına kadar açıkça aşamadığı gelişmesini doğurduğu zamanın yüce majesteleri zamanındaki konumundan çok farklıydı.

Kronolojinin garipliklerinden biri Isaac Newton'un İngiltere'de Galileo'nun öldüğü yılı (1642) doğmasıydı. Newton'dan söz etmeden fizikten söz edemezsiniz. Aşkın bir önemi olan bir bilimciydi. Başarılarının insan toplumundaki etkisi İsa, Muhammet, Musa ve Gandi ve de Büyük İskender, Napolyon ve benzerleriyle kıyaslanabilir. Newton'un evrensel çekim yasası ve yarattığı yöntembilim her fizik kitabının

ilk yarım düzine bölümünü kapsar; onları kavramak bilimsel ya da mühendislik kariyeri yapan herhangi bir kişi için temeldir. Newton çoğu kişinin Copernicus, Brahe, Kepler ve Galileo gibi adamları kast ettiğini varsaydığı ünlü "Eğer başkalarından daha ileriyi gördüysem bu devlerin omuzunda oturduğum içindir" cümlesi yüzünden alçakgönüllü sayılmıştır. Bu sözün bir başka yorumu ise onun basitçe birincil bilimsel rakibi ve ürkütücü düşmanı, çok da haksız olmadan yerçekimini ilk keşfedenin kendisi olduğunu öne süren çok kısa boylu Robert Hooke'u ığnelediğidir.

Newton'un yirmiden fazla ciddi yaşamöyküsünü saymıştım. Newton'un yaşamı ve bilimini çözümleyen, yorumlayan, yaygınlaştıran ve bu konuda fikrini söyleyen literatür çok büyüktür. Richard Westfall'ün 1980 yaşamöyküsü on yoğun kaynak sayfası içerir. Westfall'ün öznesine hayranlığı sınırsızdır:

> Çeşitli zamanlarda duraksamaksızın benden zekaca üstün olduklarını teslim ettiğim insanlarla tanışmak benim ayrıcalığım olmuştur. Ancak karşısında kendimi ölçmeye isteksiz olduğum kimseye rastlamamıştım çünkü benim onun yarısı, üçte biri, dörtte biri ama ne olursa olsun küçük bir kesri kadar yetenekli olduğumu söylemek akla yakın gelirdi. Benim Newton üzerine çalışmamın sonucu onunla hiçbir ölçüm olamayacağına beni inandırmıştır. Benim için tümüyle öteki, insan zekasının kategorilerini biçimlendiren bir avuç en üst düzey dahiden biridir.

Atomculuğun tarihi indirgemeciliğin –doğanın tüm işlemlerini az sayıda ilksel nesneyi yöneten az sayıda yasaya indirgeme çabasının– tarihidir. Tümümüzün en başarılı indirgemecisi Isaac Newton'dur. Almanya'da Ulm kasabasında 1879'da *Homo sapiens* yığınları arasından olası eşiti ortaya çıkana dek 250 yıl geçecektir.

KUVVET BİZİMLE OLSUN

İnsan bilimin nasıl işlediğini duyumsamak için Newton'u incelemelidir. Fizik I.sınıf öğrencileri için yapılan tüm Newtoncu yinelemeler çoğunlukla onun sentezinin gücünü ve kapsamını belirsizleştirir. Newton fiziksel dünyanın nicel ve kapsamlı tanımlamasını nesnelerin

nasıl davrandıklarının gerçek tanımlarıyla uyum içinde geliştirmişti. Onun düşen elmayla ayın evrelerini ilişkilendirmesine ilişkin söylencesel öykü matematiksel akıl yürütmenin garip gücünü ele geçirir. Elmanın nasıl yere düştüğüyle ayın nasıl kesinlikle dünyanın çevresinde döndüğü tek bir her–şeyi–kapsayan–fikre dahil edilir. Newton şöyle yazmıştır: "Doğanın öteki görüngülerini de aynı akıl yürütme düzeyiyle mekanik ilkelerden türetmemizi diliyorum çünkü pek çok nedenden ötürü onların tümünün belli kuvvetlere bağlı olabileceklerinden kuşkulanma eğilimindeyim."

Newton'un zamanında nesnelerin nasıl devindiği biliniyordu: atılan taşın çizdiği yol, sarkacın düzenli salınımı, eğik düzlemden aşağı doğru devinim, eşit olmayan nesnelerin serbest düşmesi, yapıların kararlılığı, bir su damlasının biçimi. Newton'un yaptığı bunları ve başka bir çok görüngüyü tek bir sistem içinde örgütlemektir. Devinimde herhangi bir değişimin kuvvet tarafından yaratıldığı ve bir nesnenin kuvvete yanıtının nesnenin "kütle" dediği bir özelliğiyle ilişkili olduğu sonucuna vardı. Her okul çocuğu Newton'un üç devinim yasasını ortaya attığını bilir. İlk yasası Galileo'nun sabit, değişmeyen devinim için hiçbir kuvvet gerekmediği keşfinin yeniden ifadesiydi. Bizim burada ilgilendiğimiz ikinci yasadır. O kuvveti merkez alır ama öykümüzün gizemlerinden biriyle, kütleyle, ayrılmaz bir biçimde içiçe geçmiştir. Ve kuvvetin devinimi *nasıl* değiştirdiğini özetler.

Ders kitabı kuşakları Newton'un ikinci yasasının tanımlamaları ve mantıksal tutarlıklarıyla boğuşmuşlardır. Yasa şöyle yazılır: $F = m\ a$ Fe eşittir me a ya da *kuvvet* eşittir *kütle* çarpı *ivme*. Bu eşitlikte Newton ne kuvveti ne de kütleyi tanımlar o yüzden bunun bir tanımı mı yoksa bir fizik yasasını mı temsil ettiği asla açık değildir. Yine de insan onun içinden bir biçimde şimdiye dek ortaya atılmış en yararlı fizik yasasına ulaşmak için çabalayabilir. Bu basit eşitlik gücü açısından ürkütücüdür ve çözümesi korkutucu bir şey olabilir. Eyvah! Ma–te–ma–tik! Korkmayın sadece ondan söz edeceğiz yapmayacağız. Ayrıca bu kullanışlı reçete mekanik evrenin anahtarıdır, bu nedenle üzerinde durmaya değer. (İki Newtoncu formülle uğraşacağız. Onun için buna I. Formül diyelim.)

a nedir? Bu Galileo'nun Pisa ve Padua'da tanımlayıp ölçtüğü niceliğin, ivmenin, aynısıdır. Herhangi bir nesnenin ivmesi olabilir, bir

taşın, bir sarkacın, süzülen güzellik ve tehdidin mermisinin ya da *Apollo* uzay aracının. Bizim küçük eşitliğimizin sahasına hiçbir sınır koymazsak *a* gezegenlerin, yıldızların ya da elektronların devinimini temsil eder. İvme bir hızın değişme oranıdır. Arabanızın gaz pedalının adı doğru konmuştur.[1] Eğer 5 dakikada 15 km.den 60 kın. ye çıkarsanız *a* için bir değer elde edersiniz. Eğer 10 saniyede 0 dan 90 kın.ye çıkarsanız çok daha büyük bir ivme elde etmişsinizdir.

m nedir? Kestirmeden o maddenin bir özelliğidir. Bir nesnenin bir kuvvete yanıtıyla ölçülür. *m* ne kadar büyükse uygulanan kuvvete yanıt (*a*) o denli küçüktür. Bu özellik sıklıkla atalet diye adlandırılır ve *m*'nin tam adı "âtıl kütle"dir. Galileo devinim halindeki bir nesnenin neden "o devinimi koruma eğiliminde" olduğunu açıklamak için atalete başvurmuştur. Eşitliği kütleler arasında ayırım yapmak için kesinlikle kullanabiliriz. Bir dizi nesneye aynı kuvveti –kuvvetin ne olduğunu daha sonra öğreneceğiz– uygulayın ve sonuçtaki devinimi, *a* niceliğini, ölçmek için bir kronometre ve bir cetvel kullanın. Farklı *m*'leri olan nesnelerin farklı *a*'ları olacaktır. Böyle deneylerden uzun diziler yapıp çok sayıda nesnenin *m*'lerini karşılaştırın. Bunu bir kez başarıyla gerçekleştirince keyfi olarak aşınmayan bir metalden standart bir nesne yapabiliriz. Bu nesnenin üzerine "1.0 kilogram" yazın (bu bizim kütle birimimiz) ve onu dünyanın büyük başkentlerindeki Standartlar Bürosunda bir kasaya yerleştirin (dünya barışı yardımcınız olsun). Şimdi herhangi bir nesneye bir değer, bir *m* sayısı, atayabiliriz. O basitçe bizim bir kilogramlık standardımızın katı veya kesri olacaktır.

Tamam kütle için bu kadar yeter, *F* nedir? Kuvvet. O ne? Newton ona "bir cismin diğerini itmesidir" diyor – devinimi değiştiren nedensel ajan. Akıl yürütmemiz biraz dairesel değil mi? Belki ama endişe etmeyin; standart bir cismi etkileyen kuvvetleri kıyaslamak için yasayı kullanabiliriz. Şimdi ilginç kısım geliyor. Kuvvetleri bize cömert bir doğa sağlar. Newton eşitliği sağlar. Doğa kuvveti. Eşitliğin herhangi bir kuvvet için işleyeceğini aklınızda tutun. Şu an için biz doğada dört kuvvet biliyoruz. Newton'un zamanında bilimciler onlardan yalnızca birini, yerçekimini, öğrenmeye başlamışlardı. Yerçekimi nesnelerin

---

[1] *[İngilizce'de Accelerator pedal – çev.]*

düşmesini, nesnelerin süzülmesini sağlar. Tüm dünya tüm nesneleri yüzeyine ya da yüzeyinin yakınına çekerek olası devinimlerin büyük değişkenliğinden ve hattâ devinim olmamasından sorumludur.

Başka şeyler arasında $F = ma$'yı sandalyesinde oturan ya da daha öğretici bir örnek olarak banyodaki baskülün üzerinde duran okur gibi durağan nesnelerin yapısına da uygulayabiliriz. Dünya okuru bir kuvvetle aşağı doğru çeker. İskemle ya da baskül okuru eşit ve zıt bir kuvvetle yukarı iter. Okur üzerindeki iki kuvvetin toplamı sıfırdır ve hiçbir devinim yoktur. (Tüm bunlar okur dışarı çıkıp bu kitabı satın aldıktan sonra olur.) Banyodaki baskül yerçekimini iptal etmenin kaça mal olduğunu söyler – 60 kilogram ya da metrik sisteme geçmemiş düşük kültürlü ülkelerde 132 pound. "Aman allahım yarın diyete başlıyorum." Bu yerçekiminin okur üzerine etki eden kuvvetidir. Newton ağırlığımızın derin bir vadide ya da yüksek bir dağda iseniz hafifçe, ayda iseniz fazlaca değişeceğini biliyordu. Ama kütle, bir kuvvete direnen içinizdeki dolgu değişmez.

Newton tabanların, iskemlelerin, tellerin, yayların, rüzgarın ve suyun çekmelerinin ve itmelerinin temelde elektriksel olduğunu bilmiyordu. Önemli değildi. Kuvvetin kökeni onun ünlü eşitliğinin geçerliliği açısından önemsizdi. Yayları, kriket sopalarını, mekanik yapıları, bir su damlasının biçimini ya da dünya gezegeninin kendisini çözümleyebilirdi. Kuvveti bilince devinimi hesaplayabiliriz. Eğer kuvvet sıfırsa hızın *değişimi* sıfırdır; yani cisim devinime sabit hızla devam eder. Eğer bir topu yukarı doğru atarsanız hızı yolunun tepesine varana dek azalır, durur sonra da artan hızla düşer. Yere doğru olan yerçekimi kuvveti bunu yapar. Bir topu dış sahaya doğru atın. Narin yayı nasıl anlarız? Devinimi ikiye böleriz, bir çıkan ve inen kesim bir de yatay kesim. (topun topraktaki gölgesinin gösterdiği üzere). Yatay kesimin hiçbir kuvveti yoktur (Galileo'nun yaptığı gibi küçük bir karmaşıklaştırıcı etkisi olan hava direncini görmezden gelebiliriz). Böylece yatay devinim sabit hızdadır. Düşey olarak yükselme ve savunucunun eldivenine doğru iniş bulunmaktadır. Bileşik devinim? Bir parabol! Yaşşaa! Tanrı yine kendini gösterdi, geometri emrini veriyor.

Varsayalım ki topun kütlesini biliyoruz ve ivmesini ölçebiliyoruz; kesin devinimi $F = ma$'dan hesaplanabilir. Yolu belirlidir: bir parabol

çizecektir. Ama pek çok parabol vardır. Topa zayıfça vurulmuşsa yalnızca atıcıya kadar gider; kuvvetli bir vuruş orta saha oyuncusunu geriye doğru koşturtur. Fark nedir? Newton bu değişkenlere başlangıç ya da ilk koşullar adını verdi. İlk hız nedir? İlk yön nedir? O dümdüz yukarıya doğrudan (ki bu durumda top sopayı tutanın kafasına düşer) topun çabucak yere düştüğü neredeyse yataya dek değişir. Her durumda yörünge devinimin başlangıcındaki hız ve yön tarafından – yani, başlangıç koşulları tarafından– belirlenir.

BEKLE !!!

Şimdi derinlemesine felsefi bir görüş geliyor. Belirli sayıda nesnenin bir dizi başlangıç koşulu ve bu nesnelere etki eden kuvvetlerin bilgisi varsa onların devinimi tahmin edilebilir sonsuza dek. Newton'un dünya görüşü tahmin edilebilir ve belirlenmiştir. Örneğin varsayın ki dünyadaki her şey atomlardan yapılmış olsun – bu kitabın 117'inci sayfasında garip bir düşünce. Milyarlarca ve milyarlarca atomun her birinin başlangıç devinimini bildiğimizi varsayın ve de her atomun üzerindeki kuvveti bildiğinizi varsayın. Varsayın ki kozmik, tüm bilgisayarların anası bir bilgisayar tüm bu atomların gelecekteki yerlerini hafızlayabilsin. Gelecekte bir zamanda, örneğin Taç giyme günü, nerede olacaklar? Sonuç tahmin edilebilirdi. Bu milyarlarca atom arasından "okur" ya da "Leon Lederman" veya "papa" diye bir alt küme olurdu. Tahmin edilmiş, belirlenmiş... özgür seçim yalnızca kendinden menkul bir aklın yarattığı bir yanılsama. Newtoncu bilim açıkça nedenseldi. Newtoncu sonrası filozoflarca Yaratıcının rolü dünyanın zembereğini kurup çalışmaya hazırlamaya indirgenmiştir. O zamandan bu yana evren Tanrı olmaksızın pekala çalışabildi. (1990' larda bu sorunlarla uğraşan örümcek kafalılar itiraz edeceklerdir.)

Newton'un felsefe ve din üzerindeki etkisi fizikteki kadar derindi. Tümü anahtar eşitlik $\vec{F} = m\vec{a}$ 'dan gelir. Oklar öğrenciye kuvvetlerin ve onların sonucu ivmelerin bir yönü olduğunu hatırlatır. Niceliklerin çoğu –örneğin kütle, ısı, hacim– uzayda herhangi bir yön göstermez. Ama "vektörler", kuvvet, hız ve ivme gibi nicelikler, tümü de küçük oklar alırlar.

"Fe eşittir me a"yı terketmeden önce biraz onun gücü üzerinde oyalanalım. O bizim makine, inşaat, su, ses ve diğer tüm mühendisliklerimizin temelidir; yüzey gerilimini, sıvıların borularda akışını, kılcallık etkisini, kıtaların kaymasını, sesin havada ve çelikte yayılımını, Sears kulesi ya da tüm köprülerin en görkemlisi, Pelham koyunun suları üzerinde narince eğim yapan Bronx-Whitestone köprüsünün yapılarının sabitliğini anlamada kullanılır. Çocukken Manor Avenue' deki evimden Pelham koyu kıyılarına bisikletle gider orada bu güzel yapının iskeletini seyrederdim. Bu köprüyü tasarlayan mühendisler Newton'un eşitliğini derinlemesine kavramışlardı; şimdi bizim bilgisayarımız giderek daha hızlı hale geldikçe $F = m\ a$'yı kullanarak problemleri çözebilme yeteneğimiz de artıyor. Yaşa be Isaac Newton!

Üç yasa sözü verdim ve yalnızca ikisini getirdim. Üçüncü yasa "etki tepkiye eşittir" diye ifade edilir. Daha kesin olarak bir A nesnesi bir B nesnesine kuvvet uygularsa B'de A'ya eşit ve zıt bir kuvvet uygular. Bu yasanın gücü, nasıl ortaya çıkarsa çıksın –yerçekimsel, elektriksel, manyetik v.b.– tüm kuvvetlerin gerekliliği olmasıdır.

ISAAC'IN GÖZDE *F* Sİ

Isaac N.'un bir sonraki en derin keşfi doğada bulduğu özel bir kuvvetle, yerçekimi $\vec{F}$'siyle ilgiliydi. Newton'un ikinci yasasında F'nin yalnızca kuvvet, herhangi bir kuvvet anlamına geldiğini anımsayın. İnsan eşitliğe yerleştirmek için bir kuvvet seçtiğinde bu kuvveti tanımlamalı, sayısallaştırmalıdır ki eşitlik işlesin. Bu da Tanrı yardımcımız olsun başka bir eşitlik demek.

Newton F (yerçekimi) için –yani geçerli kuvvet yerçekimi olduğunda– evrensel yerçekimi yasası denen bir ifade yazdı. Fikir tüm nesnelerin birbirine yerçekimsel kuvvet uyguladıklarıydı. Bu kuvvetler nesnelerin birbirinden ne kadar uzak olduğuna ve her nesnenin ne kadar dolgusu olduğuna bağlıdır. Dolgu? Durun bir dakika. Burada Newton'un maddenin atomsal doğası yanlısı oluşu ortaya çıkıyor. Yerçekimi kuvvetinin nesnenin örneğin yalnızca yüzeyindekileri değil tüm atomlarını etkilediğini uslamladı. Dünya elmanın tümüne kuvvet

uyguluyordu. Dünyanın her atomu elmanın her atomunu çekiyordu. Ve de elmanın da dünyaya kuvvet uyguladığını eklemeliyiz; burada ürkütücü bir simetri var çünkü düşen elmayla buluşmak için dünya da sonsuz küçük bir miktar yukarıya devinir. Yasaya yakıştırılan "evrensel" bu kuvvetin her yerde olduğudur. O dünyanın aya, güneşin Mars'a, güneşin 40 000 000 000 000 kilometre uzaklıktaki en yakın komşu yıldız Proxima Centauri üzerine uyguladığı kuvvettir de. Kısaca Newton'un yerçekimi yasası her yerdeki her nesneye uyar. Kuvvet nesneler arasındaki uzaklıkla azalarak uzaklara ulaşır. Öğrenciler onun bir tür "ters kare yasası" olduğunu öğrenirler; bu, kuvvetin uzaklığın karesi kadar azaldığı anlamına gelir. Eğer iki nesne arasındaki uzaklık iki katına çıkarsa kuvvet başlangıçtakinin dörtte birine düşer, üç katına çıkarsa dokuzda birine v.b.

YUKARI İTEN NE ?

Söz ettiğim gibi kuvvet aynı zamanda yön gösterir – örneğin yerçekiminde dünyanın yüzeyine, aşağı doğru. Karşı kuvvetin, "yukarı" kuvvetin, iskemlenin oturanın sırtına, tahta sopanın beyzbol topuna ya da çekicin çiviye etkisinin, balonu şişiren helyum gazının itmesinin, eğer arka yüzüne uygulanırsa bir tahta parçasını yukarı iten su "basıncının", yatağın üzerine yattığınızda sizi yukarıda tutan "yay"ın, çoğumuzu üzen duvardan geçme yeteneksizliğimizin doğası ne? Şaşırtıcı, neredeyse şok edici yanıt tüm bu "yukarı" kuvvetlerin elektriksel kuvvetin farklı görünümleri olduğudur.

Bu fikir ilk bakışta garip gelebilir. Her şey bir yana baskülün üstünde dikilirken ya da divanda otururken bizi yukarı iten elektrik yükleri hissetmeyiz. Kuvvet dolaylıdır. Democritus'tan (ve yirminci yüzyıldaki deneylerden) öğrendiğimize göre maddenin çoğu boş uzaydır ve her şey atomlardan yapılmıştır. Atomları bir arada tutan ve maddenin sertliğinden sorumlu olan elektriksel kuvvettir. (Katıların, içinden geçilmesine gösterdiği direnç de kuantum kuramıyla ilgilidir.) Bu kuvvet çok güçlüdür. Küçük metal bir banyo baskülünde tüm dünyanın yerçekimini yenmeye yetecek kadar ondan vardır. Öte yandan bir gölün ortasında ayakta durmak ya da onuncu kattaki balkonunuzdan dışarı yürümek istemezdiniz. Suda ve özellikle de havada atomlar

sizin ağırlığınızı çekecek bir katılık gösteremeyecek kadar birbirinden uzaktırlar.

Maddeyi bir arada tutan ve ona katılığı veren elektriksel kuvvetle kıyaslayınca yerçekimsel kuvvet son derece zayıftır. Ne kadar zayıftır? Öğretmenlik yaptığım bir fizik sınıfında aşağıdaki deneyi yaptım. Bir tahta parçası aldım, diyelim beşe onluk otuz santim boyunda bir tahta. Beşe on yüzünü düşey olarak tuttum ve üst yarısına "tepe" alt yarısına da "alt" yazdım. Tepeyi tutarak sordum "Tüm dünya aşağı doğru çektiği halde alt neden yukarıda kalıyor?" Yanıt: "O tahtanın içindeki atomların yapıştırıcı elektriksel kuvvetiyle tepeye sıkıca yapışmış. Lederman tepeyi yakalamış." Doğru.

Tepenin altı çeken elektriksel gücünün yerçekimsel güçten (altı aşağı çeken dünya) ne kadar daha güçlü olduğunu göstermek için bölme çizgisinden tahtayı ikiye ayıran bir elektrikli testere kullandım (Her zaman atölye öğretmeni olmak istemişimdir) Bu noktada tepenin alt üzerindeki elektriksel kuvvetlerini testeremle temelde sıfıra indirgemiş oldum. Şimdi yere düşmek üzere olan beşe on alt çatışmaya düştü. Elektriksel gücü testereyle doğranmış beşe on tepe yerçekimi kuvvetiyle altı hâlâ yukarı çekiyordu. Dünya da altı aşağı doğru çekiyordu. Bilin bakalım hangisi kazandı. Beşe on tahtanın alt yarısı yere düştü.

Yerçekimi yasası eşitliğini kullanarak iki yerçekimsel kuvvet arasındaki farkı hesaplayabiliriz. Dünyanın alt üzerindeki çekiminin tepenin alt üzerindeki çekimden bir milyar kez daha fazla olduğu için kazandığını buluruz. (Bu konuda bana güvenin.) Sonuç: Testere kesmeden önce tepenin alt üzerindeki elektriksel çekimi tepenin alt üzerindeki yerçekimsel kuvvetinden *en az* bir milyar kez daha fazladır. Bir konferans salonunda elimizden gelen bu kadar. Gerçek sayı 10^{41} ya da birden sonra kırkbir tane sıfır!! Onu yazalım:

100 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

10^{41} sayısı hiçbir biçimde takdir edilemez ama belki bu işe yarar. Birbirinden bir milimetrenin dörtte biri milimetre uzaklıkta bir elektronla bir positron düşünün. Onların yerçekimsel çekimini

hesaplayın. Şimdi elektriksel kuvvetlerini yerçekimsel çekimlerine indirgemek için birbirlerinden ne kadar uzaklaşmaları gerektiğini hesaplayın. Yanıt birkaç bin trilyon mil (elli ışık yılı) olacaktır. Bu elektriksel kuvvetin uzaklığın karesi olarak azaldığını varsayar – tıpkı yerçekimsel kuvvet gibi. Bu işe yarar mı? Yerçekimi Galileo'nun ilk kez incelediği bir çok devinime egemendir çünkü dünya gezegeninin her parçası nesneleri yüzeyinin yakınına çeker. Atomların ve daha küçük nesnelerin incelenmesinde yerçekimsel etki hesaba katılmayacak kadar küçüktür. Başka çoğu görüngüde yerçekimi geçersiz hale gelir. Örneğin, iki bilardo topunun çarpışmasında (fizikçiler anlama aracı olarak çarpışmaları severler) deneyi bir masa üzerinde yapınca dünyanın etkisi ortadan kaldırılır. Yerçekiminin düşey aşağı doğru çekimi masanın yukarı doğru itimi ile karşılanır. O zaman geriye kalan bir topun ötekine çarptığında rol oynayan yatay kuvvettir.

İKİ KUVVETİN GİZEMİ

Newton'un evrensel yerçekimi yasası yerçekiminin geçerli olduğu her durumda *F*'yi sağlar. Onun *F*'sini herhangi bir nesnenin, diyelim ki dünyanın bir başka nesne diyelim ki ay üzerindeki kuvvetinin dünyanın içindeki "Yerçekimsel dolgu" çarpı aydaki yerçekimsel dolguya bağlı olsun diye yazdığından söz etmiştim. Bu derin gerçeği nicelleştirmek için Newton çevresinde dans ettiğimiz başka bir formül önerdi. Sözcüklerle, herhangi iki nesne, diyelim A ile B, arasındaki yerçekimsel kuvvet (Genellikle G simgesiyle gösterilen) sayısal bir sabit çarpı A'nın dolgusu (ona M_A diyelim) çarpı B'nin dolgusunun (M_B) tümünün A nesnesi ile B nesnesi arasındaki uzaklığın karesine bölümüne eşittir. Simgelerle:

$$F = G \frac{M_A \times M_B}{R^2}$$

Buna II. formül diyeceğiz. İnatçı kalabalıklar bile formülümüzün ekonomisini fark edecektir. Newton'un güçlü sentezinde formül her

cisme uyduğu halde somutluk olsun diye A'nın dünya, B'nin de ay olduğunu düşünün. Bu iki cisimli sistem için özgül formül şöyle bir şey olacaktır:

$$F = G \frac{M_{Dünya} \times M_{Ay}}{R^2}$$

Dünya – Ay uzaklığı R yaklaşık 400 000 km. dir. Eğer bilmek istiyorsanız M'lerin kilogram, R'nin metre cinsinden olduğu durumda G sabiti 6.67×10^{-11}dir. Bu kesinlikle bilinen sabit yerçekimsel kuvvetin gücünü ölçer. Bu sayıyı ezberlemeniz hattâ ona aldırış etmeniz gerekmez. Sadece 10^{-11} 'in onun çok küçük olduğu anlamına geldiğine dikkat edin. F yalnızca en azından M'lerden biri dünyanın tüm "dolgu"su gibi çok büyük olduğunda gerçekten anlamlı olur. Öç alıcı bir Yaratıcı G'yi sıfır yapabilseydi yaşam çabucak sona ererdi. Dünya eliptik yörüngesine teğet bir doğrultuda başını alır gider ve küresel ısınma dramatik bir biçimde tersine dönerdi.

Şaşırtıcı şey yerçekimsel kütle dediğimiz M'dir. Onun dünyanın ve ayın içindeki dolgu miktarını ölçtüğünü söylemiştim, bizim formülümüzde yerçekimi kuvvetini yaratan dolgu. Arka sıralardan birinin "Durun bir dakika" diye homurdandığını işitiyorum "Şimdi iki kütle ortaya attınız. $F = m\ a$ 'daki (I. formül) (m) ve yeni II. Formülümüzdeki kütle (M). Neler oluyor?" Çok uyanık. Bu bir felaketten ziyade bir meydan okuma.

Bu iki tür kütleye büyük M ve küçük m diyelim. Büyük M bir nesnenin içinde *bir başka nesneyi çeken* yerçekimsel dolgudur. Küçük m âtıl kütledir, bir nesnenin içinde *bir kuvvete direnen* ve sonuçtaki devinimi belirleyen dolgu. Bunlar maddeye çok farklı iki yaklaşımdır. Newton'un içgörüsü Galileo (Pisa'yı anımsayın!) ve pek çok başkasının gerçekleştirdiği deneylerin $M = m$'i güçlü bir biçimde telkin ettiği doğrultusundaydı. Newton'un ikinci yasasında göründüğü üzere yerçekimsel kütle kesinlikle âtıl kütleye eşittir.

İKİ ÇİFT NOKTALI ADAM

Newton iki niceliğin neden aynı olduğunu anlamadı yalnızca kabul etti. Onların eşitliğini incelemek için bazı zekice deneyler bile yaptı. Deneyler eşitliği yaklaşık yüzde bir kesinlikte gösterdi. Yani *M/m* = 1.00; M'nin m'ye bölümü virgülden sonra iki basamağa dek 1 sonucunu veriyordu. İki yüz yıldan fazla süre sonra bu sayı dramatik biçimde gelişti. 1888 ile 1922 yılları arasında bir Macar soylusu, Baron Roland Eötvös aluminyum, bakır, tahta ve başka maddelerden sarkaç topları kullandığı inanılmaz derecede zekice bir deneyler dizisinde maddenin bu iki çok farklı niteliğinin eşitliğini milyarda beşten daha hassas bir biçimde kanıtladı. Matematikte bu şu demektir: *M* (yerçekimsel) / *m* (âtıl) = 1.000 000 000 artı ya da eksi 0.000 000 005. Yani 1.000 000 005 ile 0.999 999 995 arasında değişir.

Bugün bu oranı virgülden sonra on iki sıfıra dek doğrulamış bulunuyoruz. Galileo Pisa'da iki eşit olmayan kürenin aynı hızda düştüğünü kanıtlamıştı. Newton nedenini gösterdi. Büyük *M* küçük *m*'ye eşit olduğundan yerçekimi kuvveti nesnenin kütlesiyle orantılıdır. Bir top mermisinin yerçekimsel kütlesi *(M)* top yatağınınkinin bin kat fazlası olabilirdi. Bu onun üzerine uygulanacak yerçekimsel kuvvetin bin kat fazla olacağı anlamına gelir. Ama aynı zamanda âtıl kütlesinin *(m)* kuvvete top yatağının âtıl kütlesinden bin kat fazla direnç gösterdiği anlamına gelir. Eğer iki nesne kuleden düşürülürse iki etki iptal olur. Top mermisi ve top yatağı yere aynı zamanda düşer.

M ile *m*'nin eşitliği inanılmaz bir rastlaşmadır ve bu, bilimcilere yüzyıllar boyunca eziyet etmiştir. 137'nin klasik eşdeğeridir. 1915'de Einstein bu "rastlaşma"yı genel görelilik kuramı diye bilinen derin bir kurama yerleştirmiştir.

Baron Eötvös'ün *M* ve *m* üzerine araştırması onun en kayda değer bilimsel çalışmasıdır ama bilime en büyük katkısı değildir. Başka şeyler arasında noktalamanın öncüsüdür. İki çift nokta! Daha da önemlisi Eötvös bilim eğitimi ve lise öğretmenlerinin eğitimiyle ilgilenmiştir, bana yakın ve değerli gelen bir konu. Tarihçiler Baron Eötvös'ün eğitimsel çabasının nasıl da bir dahi patlamasına yol

açtığını yazarlar – fizikçi Edward Teller, Eugene Wigner, Leo Szilard ve matematikçi John von Neumann gibi ışık saçanların tümü Eötvös döneminde Budapeşte'den çıkmışlardır. Yirminci yüzyılın başında Macar bilimci ve matematikçi üretimi o kadar fazladır ki başka zamanlarda soğukkanlı olan çoğu gözlemci Budapeşte'nin dünyaya yayılıp ele geçirmek için Marslılar tarafından işgal edildiğine inanmışlardır.

Newton ve Eötvös'ün çalışması uzay uçuşuyla dramatik biçimde görüntülenmiştir. Uzay kapsülü videosunu tümümüz gördük: astronot kalemini bırakır o da onun yanında asılı durarak "ağırlıksızlığın" zarif bir görüntüsünü ortaya koyar. Kuşkusuz adam da kalemi de gerçekten ağırlıksız değildir. Yerçekimi kuvveti hâlâ çalışıyordur. Dünya, kapsülün, astronotun ve kalemin yerçekimsel kütlesini çeker. Bu sırada yörüngedeki devinim I.formülde verilen âtıl kütleler tarafından belirlenmiştir. İki kütle eşit olduğu için devinim tüm nesneler için aynıdır. Astronot, kalem ve kapsül bir ağırlıksızlık dansı içinde birlikte devinirler.

Bir başka yaklaşım astronotla kalemin serbest düşmede olduğunu düşünmektir. Kapsül dünyanın çevresinde dönerken aslında dünyaya doğru düşüyordur. Yörüngede dönmek budur. Ay bir anlamda dünyaya doğru düşüyordur; hiçbir zaman oraya ulaşamaz çünkü küresel dünyanın yüzeyi de aynı hızla düşüyordur. Böylece eğer astronot serbestçe düşüyorsa kalemi de serbestçe düşüyorsa Eğik kuleden düşürülen iki ağırlık gibi ikisi de aynı konumdadır. Kapsülde ya da serbest düşmede astronot bir baskülün üzerine çıksaydı baskül sıfırı gösterirdi. İşte "ağırlıksızlık" terimi buradan geliyor. Aslında NASA serbest düşme tekniğini astronotları eğitmek için kullanır. Ağırlıksızlık simülasyonlarında astronotlar bir jetle yükseklere çıkarılır ve jet orada kırktan fazla parabol (yine o biçim) çizer. Parabolün inen kesiminde astronot serbest düşmeyi yaşar... ağırlıksızlığı. (Ancak hiç rahatsızlık duymadan değil. Uçak gayrı resmi olarak "kusma kuyrukluyıldızı" diye adlandırılır.)

Uzay çağı zımbırtıları. Ama Newton astronot ve kalemi hakkında her şeyi biliyordu. Ta on yedinci yüzyılda uzay mekiğinde neler olup biteceğini size söyleyebilirdi.

BÜYÜK SENTEZCİ

Newton, İngilterenin öteki büyük bilimsel zihinlerinin çoğunun Londra'da takıldığı sırada Lincolnshire'daki aile mülküne sık ziyaretler yaparak Cambridge'de yarı münzevi bir hayat sürdü. 1684'ten 1687'ye kadar kendisinin en büyük çalışması olan *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* üzerinde uğraştı. Bu çalışma Newton'un matematik ve mekanik üzerine çoğu yarım, deneme kabilinden, ikircikli kalmış olan daha önceki çalışmalarının tümünü birleştirir. *Principia* onun son yirmi yıllık çabalarını kapsayan tam bir senfonidir.

Principia'yı yazmak için Newton yeniden hesaplamak, yeniden düşünmek, gözden geçirmek ve –kuyruklu yıldızların geçişi, Jüpiter ve Satürn'ün ayları, Thames nehrinin ağzındaki gelgitler ve daha bir çok şey üzerine– yeni veriler toplamak zorundaydı. Mutlak boşluk ve zaman üzerinde diretmeye orada başladı, devinimin üç yasasını katı bir biçimde orada ortaya koydu. Kütle kavramını bir cismin içindeki dolgu miktarı olarak orada geliştirdi: "Madde miktarı onun yoğunluğu ve büyüklüğüyle orantılı olarak artar."

Bu yaratıcı üretim çılgınlığının yan etkileri vardı. Onunla yaşayan bir asistanın anılarına göre:

> Çalışmaları üzerinde o kadar kararlı, o kadar ciddiydi ki arasıra yemek yerdi; hattâ çoğu kez hiç yemezdi... Yemekhanede yemeye karar verdiği nadir anlarda... yolda yürürken durur, yanlışını fark eder alelacele geri döner ve yemekhaneye gideceğine odasına kapanırdı... Bazen masasında ayakta durarak yazmaya başlar ve kendisine bir iskemle çekecek zamanı ayırmazdı.

Yaratıcı bilimcinin takıntısı böyleydi işte.

Principia İngiltere'ye daha doğrusu Avrupa'ya bomba gibi düştü. Yayınla ilgili dedikodular daha matbaadan çıkmadan hızla yayıldı. Fizikçiler ve Matematikçiler arasında Newton'un saygınlığı zaten büyüktü. *Principia* onu mancınıkla efsane konumuna fırlattı ve John Locke ve Voltaire gibi filozofların dikkatini üzerine çekti. Tam bir sınaçtı. Öğrenciler, kilise memurları hattâ Huygens ve Gottfried

Leibniz gibi ünlü eleştirmenler çalışmanın dehşet verici kapsamı ve derinliğine hayranlıkta birleştiler. Ezeli rakibi Robert "Kısa" Hooke, Newton'un *Principia*'sına onun kendisinden çalındığını iddia ederek en büyük iltifatı yaptı.

Cambridge Üniversitesini son ziyaretimde *Principia*'nın bir kopyasını görmek istedim; onu camdan bir kasada helyum gazı içinde bulacağımı umuyordum. Yoo, oradaydı, ilk baskı, fizik kütüphanesindeki rafta! Bu bilimi değiştiren bir kitaptır.

Newton esinini nereden almıştı? Bir kez daha, Hooke'un bazı çok düşündürücü çalışmaları da aralarında olmak üzere gezegenlerin devinimine ilişkin geniş bir literatür vardı. Bu kaynaklar şu bayat elma öyküsünün telkin ettiği sezgisel güç kadar etkili olmuş olsa gerek. Öyküye göre bir akşam geç saatte gökte erken doğmuş bir ay varken bir elmanın düştüğünü görmüştü. Onun bağlantısı şuydu. Dünya yerçekimsel çekimini elmaya, yersel bir nesneye uygular ama kuvvet sürer ve aya, göksel bir nesneye ulaşabilir. Kuvvet elmanın yere düşmesine neden olur. Ayın ise dünyanın çevresinde dönmesine neden olur. Newton eşitliklerini uyguladı ve her şey yerli yerine oturdu. 1680'lerin ortalarında Newton göksel mekanikle yersel mekaniği birleştirmişti. Evrensel çekim yasası güneş sisteminin çapraşık dansından, gelgitlerden, yıldızların gökadaları, gökadaların kümeler halinde toplanmasından, Halley kuyrukluyıldızının seyrek ama tahmin edilebilir ziyaretlerinden ve dahasından sorumluydu. 1969'da NASA aya iki roket içinde üç adam gönderdi. Donanım için uzay çağı teknolojisine gereksinmeleri vardı ama aya kadar gidiş ve gelişin rotasını çizmek için NASA'nın bilgisayarlarına yüklenen anahtar eşitlikler üç yüzyıllıktı. Tümü de Newton'undu.

YERÇEKİMİ SORUNU

Atom düzeyinde diyelim bir elektronun proton üzerindeki çekim gücünün 1'in arkasında kırk bir sıfırla gösterilecek kadar küçük olduğunu görmüştük. Bu biraz *zayıf*! Makroskopik düzeyde ters kare yasası güneş sistemimizin dinamiklerince doğrulanır. Laboratuarda duyarlı bir bükülme terazisi kullanarak büyük güçlükle sınanabilir. 1990'larda yerçekimi sorunu dört kuvvetten kuantum kuramına

uyınayan bir kuvvet olmasıdır. Daha önce söz edildiği gibi zayıf, güçlü ve elektromanyetik kuvvetlerle ilişkili parçacıklar ayırt ettik. Ama yerçekimiyle ilişkili bir parçacık hâlâ bizden kaçıyor. Yerçekimi kuvvetinin varsayımsal taşıyıcısına bir ad verdik –ona graviton deniyor– ama onu henüz saptayamadık. Bazı astronomik kıyametlerden –örneğin bir supernova ya da talihsiz bir yıldızı yutan bir kara delik ya da iki nötron yıldızının beklenmeyen çarpışması– doğabilecek yerçekimi dalgalarını saptamak için büyük, duyarlı aygıtlar inşa edildi. Böyle bir olay henüz saptanmadı. Ancak araştırma sürüyor.

Parçacık fiziğiyle evrenbilimi birleştirmeye kalkıştığımızda yerçekimi bizim bir numaralı sorunumuzdur. Burada biz eski Yunanlılar gibiyiz; deneyemediğimiz bir şeylerin olmasını bekliyor ve izliyoruz. İki proton yerine iki yıldız çarpıştırabilseydik o zaman bazı gerçek etkileri görürdük. Eğer evrenbilimciler haklıysa ve Büyük Patlama "*Big Bang*" gerçekten iyi bir kuramsa –geçenlerde bir toplantıda onun hâlâ iyi bir kuram olduğu konusunda bana güvence verdiler– o zaman erken bir evrede evrenin tüm parçacıkları çok küçük bir yerdeydi. Parçacık başına enerji *kocaman* bir hal aldı. Kütleyle eşdeğer olan tüm bu enerjiyle güçlenmiş yerçekimsel kuvvet atom evreninde saygın bir kuvvet halini aldı. Atomu kuantum kuramı yönetir. Kuantum kuvvetleri ailesine yerçekimsel kuvveti dahil etmeden Büyük Patlama'nın ayrıntılarını ya da aslında öğesel parçacıkların derin, en derin yapısını asla anlayamayacağız.

ISAAC VE ATOMLARI

Çoğu Newton'cu bilgin maddenin parçacık benzeri yapısına inandığı konusunda fikir birliği içindedir. Cisimler arasındaki gücün, onlar ister dünyayla ay isterse dünyayla elma olsun oluşturucu parçacıklar arasındaki kuvvetin bir sonucu olması gerektiğini uslamladı. Newton'un integral hesabı icat etmesinin atomlara inancıyla ilişkisiz olmadığını tahmin ediyorum. Örneğin dünya ay gücünü anlamak için insanın bizim II. formülümüzü uygulaması gerekir. İyi de R, dünya–ay uzaklığı için ne kullanacağız? Dünya ve ay çok küçük olsaydı R'yi atamada hiçbir sorun olmazdı. Nesnelerin merkezleri arasındaki uzaklık olurdu. Ancak dünyanın çok küçük bir parçacığının kuvveti-

nin ayı nasıl etkilediğini bilmek ve tüm parçacıkların tüm kuvvetlerini toplamak için sonsuz sayıda küçük sayıyı toplamanın bir yolu olan integral hesabın icat edilmesi gerekir. Aslında Newton integral hesabı fizikçilerin onun aklının "belirgin derecede icatlara uygun olduğunu" iddia ettikleri ünlü 1666 yılında icat etti.

Onyedinci yüzyılda atomizm için çok az kanıt vardı. *Principia*'da Newton akla uygun deneyimlerden cisimleri oluşturan mikroskopik parçacıkların işleyişlerini çıkarsamamız gerektiğini yazar: "Çünkü bütünün sertliği parçaların sertliğinden ileri gelir, biz... yalnızca duyumsadığımız cisimlerin değil tüm ötekilerin de bölünmez parçacıklarının sertliğini haklı olarak uslamlarız."

Optikteki araştırması Galileo gibi onu da ışığı bir parçacıklar nehri olarak yorumlamaya yöneltti. Kitabı *Opticks*'in sonunda ışık üzerine zamanının fikirlerini gözden geçirir ve şu nefes kesici atılımı yapar:

> Cisimlerin Parçacıklarının yalnızca uzaktan Işık ışınlarına yansımaları, kurulmaları ve çekilmeleri için değil birbirlerine de doğanın pek çok görüngüsünü üretmek için etki eden Güçleri, Özellikleri ya da Kuvvetleri olmasın? Çünkü cisimlerin birbirlerini Yerçekiminin, Mıknatıslığın ve Elektriğin Çekimleriyle etkilediği biliniyor ve bu özellikler doğanın yönünü ve gidişini gösterir *ve de* bunlardan *başka çekici kuvvetlerin bulunabilmesini de olası kılar... bugüne dek gözlemden kurtulmuş küçük uzaklıklara ulaşan kuvvetler ve belki de elektriksel çekimler Sürtme ile uyarılmadan da kısa uzaklılara ulaşabilir. [vurgulamalar benim.]*

İşte bilim öncesi, içgörü ve hattâ fizikçilerin 1990'lardaki Kutsal Kupa'sı[1] olan büyük tekleştirmenin ipuçları da diyebiliriz. Newton bugün güçlü ve zayıf kuvvetler olarak bilinen atom içindeki kuvvetleri araştırmaya davet etmiyor mu? Yazısı şöyle devam ediyor:

> Bütün bunlardan söz edince bana Tanrının başlangıçta maddeyi katı, biçimsiz, sert, içine *girilmez*, devingen parçacıklardan yapmış

[İsa'nın Son Akşam Yemeği'nde kullandığı Kupa. Hâlâ bulunamamıştır. – çev.]

olması olası geliyor... ve bu ilkel parçacıklar katı *olduğundan*... öyle sert'tirler ki asla aşınmaz ya da parçalara ayrılmazlar sıradan hiçbir kuvvet bizzat Tanrının ilk yaratışta tek kıldığını bölemez.

Kanıt zayıf ama Newton, fizikçiler için durmadan quarkların ve leptonların mikro dünyasına doğru giden bir rota çizmiştir. "Bizzat Tanrının tek olarak yaptığını" bölmek için olağanüstü bir kuvvet aramak bugünün parçacık fiziğinin etkin cephesidir.

HAYALET DOLGU

Opticks'in ikinci baskısında Newton sonuçlarını bir dizi soru işaretiyle çevreledi. Bu sorular öylesine kapsamlıdır ki –ve öylesine açık uçlu– insan istediği her şeyi onlarda bulabilir. Ama Newton'un kuantum kuramının dalga – parçacık ikiliğini derinlemesine sezgisel bir biçimde önceden haber vermiş olabileceğine inanmak abartı olmaz. Newton'un kuramının en akıl karıştırıcı dallanmalarından biri bir uzaklıktan etki problemidir. Dünya bir elmayı çeker. O da yere düşer. Güneş gezegenleri çeker onlar da elips bir yörünge çizer. Nasıl? Aralarında boşluktan başka bir şey olmayan iki cisim kuvveti birbirine nasıl iletir? Zamanının popüler modellerinden biri varsayımsal bir eter, tüm uzaya yayılan ve içinde A cisminin B cismiyle değinme sağlayabildiği görünmez ve maddesiz bir ortamdı.

Göreceğiniz gibi eter fikri James Clerk Maxwell tarafından elektromanyetik dalgalarını taşıması için sıkıca tutunulmuştur. Bu fikir 1905'de Einstein tarafından yıkıldı. Ama Pauline'inki gibi eterin tehlikeye giriş çıkışları sürdü ve bugün biz eterin yeni bir türünün (aslında Democritus ve Anaksimandros'un boşluğunun) Tanrı Parçacığının gözlenme yeri olduğuna inanıyoruz.

Newton sonunda bir eter kavramını reddetti. Onun atomcu görüşü karşı çıkılabilir bulduğu parçacıklı bir eter gerektiriyordu. Ayrıca eter, kuvvetleri örneğin değişmez yörüngelerinde gezegenlerin devinimini engellemeden iletmeliydi.

Newton'un tutumu *Principia*'daki şu paragrafta sergilenir:

> Onsuz bu güdücü kuvvetlerin çevredeki uzayın içinde yayılamayacağı bir neden vardır; bu neden ister merkezi bir cisim olsun (manyetik kuvvetin merkezindeki mıknatıs gibi) isterse henüz ortaya çıkmamış başka herhangi bir şey olsun. Çünkü ben yalnızca bu kuvvetlerin matematiksel bir kuramını vermek için fizikçi nedenlerini ve marifetlerini göz önüne almaksızın onları zihnimde kurdum.

Burada eğer onlar çağdaş bir seminerdeki fizikçilerse dinleyiciler ayağa kalkıp alkışlarlar çünkü Newton bir kuramın sınanmasının deney ve gözlemle uzlaşması olduğu biçimindeki çok çağdaş bir konuya parmak basmıştır. O halde Newton (ve onun bugünkü hayranları) *Neden Yerçekimi*'ni bilmiyorsa ne olmuş? Yerçekimini ne yaratmıştır? Bu, birileri yerçekiminin daha derin bir kavramın, belki de çok boyutlu uzay–zamanda bir simetrinin bir sonucu olduğunu gösterinceye dek felsefi bir sorundur.

Felsefe yeter. Newton geniş bir fiziksel problemler dizisine uygulanabilecek sert bir bireşim şeması, bir tahmin şeması kurarak a-tom için soru işaretimizi çok büyük ölçüde geliştirmiştir. Bu ilkeler anlaşıldığında gördüğümüz gibi mühendislik ve teknoloji gibi uygulamalı sanatlar üzerinde derinlemesine bir etkileri olmuştur. Newtoncu mekanik ve onun yeni matematiği, üzerinde tüm fiziksel bilimler ve teknoloji katmanlarının inşa edildiği bir piramidin gerçek temelidir. Onun devrimi insan düşüncesinde bir perspektif değişimiyle temsil edilmiştir. Bu değişiklik olmaksızın hiçbir endüstri devrimi ve yeni bilgi ve yeni teknoloji için hiçbir sürekli sistematik araştırma olmazdı. Bu, bir şeyler olmasını bekleyen durağan bir toplumdan anlamanın kontrol demek olduğunu bilerek anlamanın peşinde koşan devingen bir topluma geçişi belirler. Ve Newton'cu damga indirgemeciliğe güçlü bir destek sağlamıştır.

Newton'un fizik ve matematiğe katkıları atomcu bir evren girişini açık olarak belgelemiştir. Sisli kalan onun "diğer yaşamı"nın, yoğun simya araştırmasının ve gizemci dinsel felsefeye, özellikle de eski Mısırın rahipçe büyülerine dek uzanan Hermetik fikirleri benimsemesinin bilimsel çalışmasına etkisidir. Bu etkinlikler çok büyük ölçüde gizliydi. Cambridge'de Lucas'çı profesör olarak (Stephan Hawking

günümüzdeki görevlidir) ve daha sonra Londra siyasal kurul'şunun bir üyesi olarak Newton bu sapkın dinsel uygulamaları benimsedi;ğinin bilinmesine izin vermezdi çünkü bu ona tam anlamıyla aşağılanma getirmese bile onu son derece utandırırdı.

Newton'un çalışması üzerine son sözü Einstein'a bırakabiliriz:

> Newton, beni bağışla; sen kendi çağında en üst düzeyde düşünsel ve yaratıcı gücü olan bir insan için olanaklı olan tek yolu buldun. Yaratmış olduğun kavramlar her ne kadar şimdi biz (eğer ilişkilerin daha derinlemesine bir kavranışını hedefliyorsak) onların anlık deneyim evreninin çok ötesinde kavramlarla yer değiştirmesi gerektiğini biliyorsak da bugün bile bizim fizik üzerine düşüncemize rehberlik ediyor.

DALMAÇYALI KAHİN

Bu birinci perde, matematikçiler çağı, klasik fiziğin büyük dönemi üzerine son bir not. "Çağının ötesinde" sözü çok kullanılmıştır. Yine de onu kullanacağım. Galileo ya da Newton'u kast etmiyorum. Onlar kesinlikle tam çağlarındaydılar, ne erken ne de geç. Yerçekimi, deney, ölçüm, matematiksel kanıtlar... bunların tümü ortadaydı. Galileo, Kepler, Brahe ve Newton kendi zamanlarında benimsendi –bildirildi!– çünkü bilimsel topluluğun kabul etmeye hazır olduğu fikirlerle ortaya çıktılar. Herkes bu kadar şanslı değildir.

Dubrovnik doğumlu, kariyerinin çoğunu Roma'da geçirmiş olan Roger Joseph Boscovich 1711'de, Newton'un ölümünden on altı yıl önce doğdu. Boscovich Newton'un kuramlarının büyük bir destekçisiydi ama yerçekimi yasasıyla ilgili bazı problemleri vardı. Onu "klasik limit" diye adlandırdı, uzaklıklar büyük olduğu zaman uygun bir yaklaşıklık diye. Onun "çok yakın olarak doğru olduğunu ama çok küçük de olsa ters kareler yasasından farklılıklar bulunacağını" söyledi. Bu klasik yasanın çekim kuvvetlerinin çekici ve itici kuvvetler arasında bir salınımla yer değiştirdiği atom ölçeğinde hemen tümüyle bozulacağını öne sürdü. On sekizinci yüzyılda bir bilimci için hayran edici bir düşünce.

Boscovich eski uzaktan etki problemiyle de uğraştı. Her şeyden önce bir geometrici olarak kuvvetlerin nesneler üzerinde nasıl da uzaktan etkili olduğunu açıklamak için *kuvvet alanları* fikriyle ortaya çıktı. Ama bekleyin, dahası var!

Boscovich bu diğer fikri, onsekizinci yüzyıl için (ya da belki her yüzyıl için) gerçek bir çılgınlık olan fikri benimsedi. Madde, görünmez, bölünmez a-tomlardan oluşmuştur dedi. Bunda yeni bir şey yok. Leucippus, Democritus, Galileo, Newton ve diğerleri onunla fikir birliği içinde olurdu. İşte işin güzel kısmı: Boscovich bu parçacıkların hiç büyüklüğü olmadığını söyledi, yani onlar geometrik noktalardı. Açıkça bilimdeki pek çok fikirde olduğu gibi bunun da öngörüleri vardı – Galileo'nun çalışmalarındaki ipuçlarını bir yana bırakırsak eski Yunanistan'da. Ve de lise geometrisinden anımsayabileceğiniz gibi bir nokta yalnızca bir yerdir; hiçbir boyutu yoktur. Ve işte Boscovich maddenin hiçbir boyutu olmayan parçacıklardan oluştuğu öngörüsünü öne sürdü. Yalnızca yirmi yıl önce böyle bir tanıma uyan bir parçacık bulduk. Onun adı quark.

Bay Boscovich'e döneceğiz.

•4•

HÂLÂ ATOMU ARAMAK: KİMYACILAR VE ELEKTRİKÇİLER

> Bilimci evrene meydan okumaz. Onu kabul eder. O onun tadacağı yemektir, araştıracağı ülke; onun macerası ve bitmez tükenmez hazzı. Hoşgörülü ve anlaşılmazdır ama hiçbir zaman sıkıcı değil. Hem küçükte hem büyükte harikadır. Kısacası onu araştırmak bir beyefendinin en yüce uğraşıdır.
>
> – I.I.Rabi

BİR HAK TESLİMİ: Fizikçiler Democritus'un atomunu araştıran tek grup değildir. Kimyacılar özellikle de klasik fiziğin gelişimini gören uzun dönem sırasında (1600–1900 dolaylarında) kesinlikle damgalarını basmışlardır. Kimyacılarla fizikçiler arasındaki fark aslında hiç de aşılmaz değildir. Ben bir kimyacı olarak başladım ve biraz da kolay olduğu için fiziğe geçtim. O zamandan beri sık sık en yakın arkadaşlarımın kimyacılarla konuştuğunu gördüm.

Kimyacılar fizikçilerin onlardan önce yapmamış olduğu bir şeyler yaparlar. Atomlara uygun deneyler yaparlar. Galileo, Newton ve arkadaşları kayda değer deneysel başarılarına karşın atomlarla salt kuramsal temelde uğraşmışlardır. Tembel değildiler sadece donanımları yoktu. Bu, kimyacıların atomların varlıklarını ortaya koyduğu ilk deneyleri düzenlemesine dek sürdü. Bu bölümde Democritus'un atomunun varlığını destekleyen zengin deneysel kanıtlarla ilgilenece-

ğiz. Pek çok hatâlı çıkışlar, konu dışına kaçmalar ve yanlış yorumlanmış sonuçlar göreceğiz, deneycinin her zamanki dertlerini.

YİRMİDÖRT SANTİMLİK HİÇİ KEŞFEDEN ADAM

Çetin ceviz kimyacılara geçmeden önce mekanikçilerle kimyacılar arasındaki uçuruma atomculuğu geçerli bir kavram halinde onarma girişimiyle köprü kuran bir bilimciden, Evangelista Torricelli'den (1608 – 1647) söz etmemiz gerekir. Democritus'un dediklerini yineleyelim "Atomlar ve boş uzay dışında hiçbir şey yoktur; başka her şey görüştür." O halde atomculuğun geçerliğini kanıtlamak için atomlara gereksiniminiz vardır ama aynı zamanda onların arasında boş uzaya da gereksinirsiniz. Aristo bir boşluk fikrine karşı çıkmıştı ve Rönesans sırasında bile kilise "doğa boşluğu sevmez" diye diretmiştir.

Bu tam da Torricelli'nin ortaya çıkardığı şey. Galileo'nun son günlerindeki izleyicilerinden biriydi ve 1642'de Galileo onun bir problem üzerinde çalışmasını istedi. Floransa'lı kuyu kazıcıları emme tulumbalarda suyun 10 metreden fazlasına ulaşamadığını gözlemlemişlerdi. Bu neden böyle olmak zorundaydı? Galileo ve diğerleri tarafından geliştirilen başlangıç savı boşluğun bir "kuvvet" olduğu ve tulumbaların oluşturduğu kısmi boşluğun suyu yukarı doğru yönelttiğiydi. Galileo'nun kuyu kazıcılarının problemiyle kişisel olarak uğraşmak istemediği apaçıktı; bu yüzden Torricelli'yi görevlendirdi.

Torricelli suyun boşluk tarafından yukarı çekilmediğini normal hava basıncı tarafından *yukarı itildiğini* saptadı. Tulumba su sütununun üstündeki basıncı azaltınca tulumbanın dışındaki normal hava zemindeki suyu daha fazla itiyor ve onu boruda yükselmeye zorluyordu. Torricelli, kuramını Galileo öldükten bir yıl sonra sınadı. Cıva sudan 13.5 kez daha yoğun olduğu için havanın cıvayı suyun 1/13.5'u kadar –ya da yaklaşık 76 cm– kaldırması gerektiğini düşündü. Torricelli yaklaşık 1 metre boyunda bir ucu açık bir ucu kapalı kalın bir cam tüp buldu ve basit bir deney yaptı. Tübü ağzına kadar cıvayla doldurdu tepesini bir tıpayla kapadı sonra tübü başaşağı çevirdi onu bir kase dolusu cıvanın içine soktu ve tıpayı çıkardı. Cıvanın bir kısmı borudan kabın içine döküldü. Ama Torricelli'nin tahmin ettiği gibi tübün içinde 76 cm sıvı metal kaldı.

Fizikteki bu öncü olay sıklıkla ilk barometrenin icadı diye anılır, kuşkusuz öyledir de. Torricelli cıva yüksekliğinin günden güne değiştiğini ve atmosfer basıncını ölçtüğünü belirledi. Ancak bizim amaçlarımız bakımından çok daha büyük bir anlamı var. Tübün çoğunu dolduran 76 cm.lik cıvayı unutalım. Bizim için önemli olan tepede artan 24 cm. Tübün tepesindeki –kapalı uçtaki– birkaç cm.de hiçbir şey yoktur. Gerçekten hiçbir şey. Ne cıva, ne hava, hiçbir şey. Tamam pek az bir şey. Ilımlı bir boşluktur ve havanın ısısına göre biraz cıva buharı içerir. Boşluk yaklaşık 10^{-6} torr'dur. (Evangelista'dan sonra bir torr bir basınç ölçüsüdür; 10^{-6} torr atmosferin normal basıncının bir milyonda biridir.) Çağdaş tulumbalar 10^{-11} torr ve daha iyisini sağlayabiliyor. Ne olursa olsun Torricelli yapay olarak yaratılmış ilk yüksek kaliteli boşluğu elde etmiştir. Bu sonuçtan geri dönüş yoktu. Doğa boşluğu sevebilir ya da sevmeyebilirdi ama ona katlanmak zorundaydı. Şimdi boş uzayın varlığını kanıtladığımıza göre onun içine yerleştirmek için biraz atoma gereksinimimiz var.

GAZI SIKIŞTIRMA

Robert Boyle sahnede. Bu Irlanda'lı (1627 – 1691) kimyacı akranları tarafından düşünce biçimi açısından çok fazla fizikçi ve çok az kimyacı olmakla eleştirilir ama başarılarının birincil olarak kimya alanına ilişkin olduğu açık. O bir deneyciydi, deneyleri sıklıkla boşa çıkardı yine de atomculuk düşüncesini İngiltere'de ve Avrupa'da ilerletti. Bazen Kimyanın Babası ve Cork Lordunun Amcası diye bilinir.

Torricelli'nin çalışmasından etkilenen Boyle boşlukların çekimine kapıldı. Robert Hooke'u, hani şu Newton'u çok seven Hooke'u kendisi için geliştirilmiş bir hava tulumbası yapsın diye işe aldı. Hava tulumbası Boyle'un atomculuğa bir anahtar olduğunu ayrımsadığı gazlara bir ilgiyi esinledi. Burada bir gaza uygulanan basıncın gazın içinde bulunduğu kabın duvarlarını etkilemesinin –havanın bir balonun çeperlerini germesi gibi– atomların hızla akışının sonucu olabileceğine değinen Hooke'dan biraz yardım alınış olabilir. Bir balonun içindeki tek tek atomların yarattığı pütürleri görmüyoruz çünkü onlardan düzgün bir dış itmeyi taklit eden milyarlarca vardır.

Torricelli'ninki gibi Boyle'un deneyi de cıva içeriyordu. Beş metre boyunda J – biçimi bir tüp aldı, kısa ucu mühürledi sonra açık uzun uçtan J'nin dipteki eğimini kapatmak için cıva döktü. Ne kadar çok dökerse kısa uçta hapsolmuş havaya o kadar az yer kaldı. Buna uygun olarak tübün açık ucundaki cıvanın yükseklik farkından kolayca ölçebildiği üzere hava basıncı da arttı. Boyle, gazın hacminin, üzerindeki basınçla ters orantılı olduğunu keşfetti. Kapalı uçta hapsolmuş gazın üzerindeki basınç açık uçtaki cıvanın ekstra ağırlığıyla açık uç üzerinde aşağı doğru ittiren atmosfer basıncının toplamı kadardır. Basıncı cıva ekleyerek iki katına çıkarınca havanın hacmi yarı yarıya azaldı. Basınç üç kata çıkınca hacim üçte bire düştü v.b. Bu etki Boyle'un yasası diye tanındı, kimyanın bugüne kadar süren temellerinden biri.

Daha da önemlisi bu deneyin şaşırtıcı bir çıkarımıydı: hava ya da herhangi bir gaz sıkıştırılabilir. Bunu kavramanın bir yolu gazı birbirinden boş uzayla ayrılmış parçacıklar olarak düşünmektir. Basınç altında parçacıklar birbirine yaklaşmaya itilirler. Bu atomların varlığını kanıtlar mı? Ne yazık ki başka açıklamalar düşlenebilir ve Boyle'un deneyi yalnızca atomculuk fikriyle uyumlu kanıt sağlar. Ancak kanıt diğerlerinin yanında Isaac Newton'u da maddenin atomsal kuramının izlenmesi gereken yol olduğu düşüncelerinde desteklemeye yetecek kadar güçlüdür. Boyle'un sıkıştırma deneyi en azından maddenin sürekli olduğunu iddia eden Aristocu varsayıma meydan okumuştur. Geriye gazlar kadar kolaylıkla sıkıştırılamayan sıvılar ve katılar sorunu kalır. Bu onların atomlardan yapılmış olmadığı anlamına gelmez sadece daha az boş uzaya sahiptirler.

Boyle bir deney şampiyonuydu oysa deney Galileo ve diğerlerinin başarılarına karşın on yedinci yüzyılda hâlâ kuşkuyla izlenmekteydi. Boyle Hollandalı filozof (ve mercek parlatıcısı) Benedict Spinoza ile deneyin kanıt sağlayıp sağlayamayacağı konusunda uzun bir tartışmaya girdi. Spinoza'ya göre yalnızca mantıksal düşünce kanıttı; deney yalnızca bir fikri destekleme ya da çürütme aracıydı. Huygens ve Leibniz gibi büyük bilimciler de deneyin değerinden kuşkuluydular. Deneyciler hep rüzgara karşı oynamışlardı.

Boyle'un, atomların (o "cisimcikler" deneyi yeğlerdi) varlığını kanıtlama çabaları o sırada biraz karışık olan kimya bilimini ilerletti.

Zamanın önde gelen inancı ta Empedocles'in hava, toprak, ateş ve suyuna dek giden eski, öğeler fikriydi yalnız yıllar içinde gelişmiş, tuz, kükürt, cıva, balgam (balgam ımı?), yağ, alkol, asit ve alkali eklenmişti. On yedinci yüzyılda bunlar yalnızca egemen kurama göre maddeyi oluşturan en basit cevherler değildi; *her şeyin temel bileşimi* olduklarına inanılırdı. Bir örnek vermek gerekirse asidin her bileşikte bulunması beklenirdi. Kimyacıların aklı nasıl da karışmıştı kim bilir? Bu ölçütlerle en basit kimyasal reaksiyon bile çözümlenmesi olanaksız hale gelmiş olsa gerek. Boyle'un cisimcikleri bileşiklerin daha indirgemeci ve daha basit bir çözümlenmesi yöntemine yol açmıştı.

AD OYUNU

On yedinci ve on sekizinci yüzyılda kimyacıların karşılaştığı problemlerden biri değişik kimyasal maddelere verilen adların hiçbir anlamının olmamasıydı. Antonie-Laurent Lavoisier (1743-1794) 1787'de klasik çalışması *Méthode de Nomenclature Chimique* ile tüm bunları değiştirdi. Lavoisier'ye Kimyanın Isaac Newton'u denebilir. (Belki de kimyacılar Newton'a fiziğin Lavoisier'si diyorlardır.)

Şaşırtıcı bir kişilikti. Başarılı bir jeolog olan Lavoisier bilimsel tarımda da öncüydü, yetenekli bir maliyeci ve Fransız Devrimini kışkırtan bir sosyal reformcuydu. Bugün uygar ülkelerde kullanılan metrik sistemi oluşturan yeni bir ağırlık ve uzunluk sistemi geliştirdi. (1990'larda Birleşik Devletler çok geride kalmamak için metrik sisteme doğru birkaç inç yaklaştı.)

Bir önceki yüzyıl bir veriler dağı üretmişti ama onlar umutsuzca dağınıktı. Maddelerin adları –pomholyx, colcothar, arsenik yağı, çinko çiçekleri, sarı zırnık, savaş tozu– renkliydi ama altta yatan düzene ilişkin hiçbir ipucu sağlamıyordu. Lavoisier'nin öğretmenlerinden biri bir kez ona "Akıl yürütme sanatı iyi düzenlenmiş bir dilden başka bir şey değildir" demişti ve Lavoisier bunu yürekten benimsemişti. Fransız, sonunda tüm kimyayı yeniden düzenleme ve yeniden adlandırma görevini omuzladı. Savaş tozunu demir okside dönüştürdü; sarı zırnık arsenik sülfür oldu. "Ox"ve "Sulf" gibi çeşitli önekler ve "id" ve "oz" gibi sonekler sayısız bileşiği düzenleyip sınıflandırmaya yardım etti. Bir adda ne var ki? Bazen adlandırma yazgıdır. Archibald

Leach, adını Cary Grant olarak değiştirmeseydi tüm o filmlerdeki rolleri kapabilir miydi?

Lavoisier için işler hiç de bu kadar basit değildi. Adlandırmayı düzeltmeden önce kimyasal kuramın kendisini düzeltmesi gerekiyordu. Lavoisier'nin kimyaya en önemli katkısı gazların ve yanmanın doğasıyla ilgiliydi. On sekizinci yüzyıl kimyacıları eğer suyu ısıtırsanız onu tek gerçek gaz olduğuna inandıkları havaya dönüştürdüğünüze inanırlardı. Lavoisier'nin çalışmaları herhangi bir elementin üç durumda olabileceğini ilk kez ortaya koydu: Katı, sıvı ve "buhar". Ayrıca yanma olayının karbon, kükürt, fosfor gibi maddelerin oksijenle birleştiği kimyasal bir tepkime olduğunu belirledi. Kimyasal tepkimeleri gerçekten anlamanın önünde Aristovari bir engel olarak duran flojiston kuramını değiştirdi. Bundan da ötede Lavoisier'nin araştırma tarzı –kesinliğe, incelikli deneysel tekniğe ve toplanan verilerin eleştirel çözümlemesine dayalı bir tarz– kimyayı çağdaş akışına yerleştirdi. Lavoisier'nin atomculuğa doğrudan katkısı çok az olmakla birlikte onun attığı temel olmasa bir sonraki yüzyılın bilimcileri atomların varlığının ilk doğrudan kanıtlarını keşfedemezlerdi.

PELİKAN VE BALON

Lavoisier suya hayrandı. O zamanlar çoğu bilimci hâlâ suyun daha küçük bileşenlere ayrılmayacak temel bir element olduğuna inanıyorlardı. Bazıları ayrıca dönüşüme inanıyordu, suyun başka şeyler yanında toprağa da dönüşebileceğini düşünüyorlardı. Bunu sağlayan deneyler vardı. Eğer bir kap suyu yeterince uzun kaynatırsanız sonunda yüzeyde katı bir artık kalır. Bu bilimciler bunun suyun başka bir elemente dönüşmesi olduğunu söylerler. Büyük Robert Boyle bile dönüşüme inanırdı. Bitkilerin suyu emerek büyüdüğünü gösteren deneyler yapmıştı. O halde su gövdelere, yapraklara, çiçeklere v.b. dönüşmüştür. Neden pek çok insanın deneylere inanmadığını anlayabilirsiniz. Böyle sonuçlar sizin Spinoza'yla uzlaşmaya başlamanıza yeter.

Lavoisier bu deneylerdeki sakatlığın ölçüm sakatlığı olduğunu gördü. Kendi deneyini arı suyu pelikan denen özel bir kapta

kaynatarak yaptı. Pelikan öyle inşa edilmiş ti ki kaynamayla oluşan su buharı küresel bir kapta yakalanıyor ve yoğunlaşıyor ve iki kulp benzeri tüp aracılığıyla yeniden kaynama kabına dönüyordu. Bu yolla hiç su kaybolmadı. Lavoisier pelikanı ve arı suyu dikkatle tarttı, sonra suyu 101 gün kaynattı. Uzun deney kayda değer miktarda katı artık üretti. Lavoisier sonra her elemanı tarttı: pelikanı, suyu ve artığı. Su 101 gün kaynama sonunda *kesinlikle aynıydı* ki bu bize Lavoisier'nin duyarlı tekniği hakkında fikir verir. Ancak pelikan hafifçe daha hafif geldi. Artığın ağırlığı kabın ağırlık yitimine eşitti. O halde kaynayan sudaki artık dönüşmüş su değil, pelikandan erimiş cam, silikaydı. Lavoisier kesin ölçüm olmaksızın deneyin değersiz hattâ yanıltıcı olduğunu göstermişti. Lavoisier'nin kimyasal terazisi kemanıydı, kimyada devrim yaratmak için çaldı onu.

Dönüşüm için bu kadar yeter. Ama çoğu insan, Lavoisier de, hâlâ suyun temel bir element olduğuna inanıyordu. Lavoisier çift ibiği olan bir aygıt icat ettiğinde bu yanılsamayı yıktı. Her bir ibikten farklı bir göz gönderir onların birleşip üçüncü bir madde oluşturmasını umardı. Bir gün karışıp bir tür asit oluşturmalarını bekleyerek oksijen ve hidrojenle çalışmaya karar verdi. Elde ettiği şey suydu. Onu "arı su kadar saf" diye tanımladı. Neden olmasın? İlk kez elde ediyorlardı. Açıkçası su bir element değil iki kısım hidrojen bir kısım oksijenle üretilebilecek bir maddeydi.

1783'de kimyayı dolaylı olarak ilerletecek tarihsel bir olay oldu. Montgolfier kardeşler sıcak hava balonlarıyla ilk insanlı hava uçuşunu sergilediler. Hemen sonra J.A.C. Charles, bir fizik öğretmeni, hidrojenle dolu bir balonla 3000 m. yüksekliğe ulaştı. Lavoisier etkilenmişti; bu balonlarda bulutların üstüne ulaşıp meteorları inceleme olasılığını görmüştü. Hemen bunun arkasından balonlar için ucuz gaz üretme yöntemlerini araştıran bir komiteye seçildi. Suyu sıcak demir halkaların bulunduğu bir top namlusundan süzerek bileşenlerine ayırıp hidrojen üretmek için geniş çapta bir operasyon düzenledi.

Bu noktada hiç kimse hiçbir biçimde suyun bir element olduğuna inanmıyordu. Ama Lavoisier için daha büyük bir sürpriz vardı. Suyu büyük miktarlarda ayrıştırıyordu ve sayılar hep aynı geliyordu. Su her defasında sekize bir ağırlık oranında oksijen ve hidrojen sağlıyordu.

Açık olarak burada bir tür ince düzenek işliyordu, atomlar temelinde bir tartışmayla açıklanabilecek bir düzenek.

Lavoisier atomculuk hakkında kimyada basit bölünmez parçacıkların işlediğini ve onlar hakkında pek fazla bir şey bilmediğimizi söylemek dışında pek spekülasyon yapmadı. Kuşkusuz emekli olup oturmak ve atomları biraz daha derinlemesine değerlendireceği anılarını yazmak fırsatı hiç olmadı. Devrimin ilk destekçilerinden biri olan Lavoisier, Teror Döneminde gözden düştü ve 1794'de elli yaşındayken giyotine gönderildi.

Lavoisier'nin idamından bir gün sonra geometrici Joseph Louis Lagrange trajediyi özetledi: "Bu başı kesmeleri için yalnızca bir an gerekti ama bir benzerini üretmek belki yüz yıl sürecek."

GERİYE, ATOMA

Lavoisier'nin çalışmalarının yansımaları bir kuşak sonra John Dalton (1766-1844) adında alçakgönüllü orta sınıftan bir İngiliz okul öğretmeni tarafından araştırıldı. Dalton'da nihayet TV filmi için yapılmış bir bilimci imajını buluyoruz. Tümüyle olaysız bir özel yaşamı olmuş gibiydi ve "benim kafam evlenmeyi düşünemeyecek kadar üçgenler, kimyasal süreçler ve elektrik deneyleri filanla doludur" diyerek hiç evlenmemişti. Onun için büyük bir gün, bir yürüyüş turu ve belki bir Quaker toplantısında hazır bulunmaktı.

Dalton boş zamanlarında Newton ve Boyle'un çalışmalarını okuduğu bir yatılı okulda alçakgönüllü bir öğretmen olarak yola koyuldu. Manchester'da bir kolejde matematik profesörü olarak işe başlayana dek on yıldan fazla geçti. Oraya vardığında aynı zamanda kimya da öğretmek zorunda olduğu kendisine bildirildi. Haftada yirmi bir saat ders anlatmaktan şikayetçiydi. 1800'de kendisine kimyasal araştırmalarını izleyecek zamanı verecek kendi öğretim akademisini açmak için istifa etti. Maddenin atomsal kuramını yüzyılın başlarında (1803'le 1808 arasında) açıklayana dek Dalton bilimsel toplulukta amatör sayılıyordu. Bildiğimiz kadarıyla Dalton maddeyi oluşturan bölünmez minik parçacıklar için Democritus'un *atom* terimini resmen yeniden canlandıran ilk kişidir. Ancak bir fark vardı. Democritus'un

farklı maddelerin atomlarının farklı biçimleri olduğunu söylediğini anımsayın: Dalton'un şemasında ağırlık, merkezi bir rol alıyordu.

Dalton'un atom kuramı onun en önemli katkısıydı. İster "belirsiz" olsun (öyleydi) ister tarih Dalton'a (bazı tarihçilerin dediği gibi) aşırı değer vermiş olsun atom kuramının, kısa sürede en yaygın biçimde etkili bilimlerden biri haline gelen bir disiplindeki, kimyadaki önemini hiç kimse sorgulamaz. Atomların gerçekliğinin ilk deneysel "kanıt" ının kimyadan gelmiş olması da çok uygundu. Eski Yunan tutkusunu anımsayın: değişimin her yerde olduğu dünyada değişmez bir "öz" görmek. A-tom sorunu çözmüştü. A-tomları yeniden düzenleyerek insan istediği tüm değişiklikleri yaratabilir ama varoluşumuzun kayası, a-tom dönüşmez. Kimyada oldukça az sayıda atom olası kombinasyonlar nedeniyle büyük sayıda seçenek sağlar: bir ya da iki oksijen atomuyla karbon atomu, hidrojen ve oksijen ya da klor veya kükürt v.b. Yine de hidrojen atomları her zaman hidrojendir – birbirinin aynı, dönüşmez. Ama işte kahramanımız Dalton'u unutup gidiyoruz.

Dalton, gazların özelliklerinin en iyi atomları varsayarak açıklanabileceğini belirterek bu fikri kimyasal tepkimelere uyguladı. Kimyasal bir bileşiğin bileşeni olan elementleri her zaman aynı ağırlıklarda içerdiğini saptadı. Örneğin karbon ve oksijen karbon-monoksit (CO) oluşturmak üzere birleşirler. CO yapmak için insan her zaman 12 gram karbon ve 16 gram oksijene gereksinir ya da 12 pound karbon ve 16 pound oksijen. Hangi birimi kullanırsanız kullanın oran her zaman 12 ye 16'dır. Açıklama ne olabilir? Eğer bir atom karbon 12 birim ve bir atom oksijen 16 birimse o zaman CO'te karbon ve oksijenin makroskopik ağırlıkları aynı oranda olacaktır. Tek başına bu atomlar için zayıf bir kanıt olurdu. Ancak hidrojen–oksijen ve hidrojen–karbon bileşikleri yaptığınızda hidrojen, karbon ve oksijenin göreceli ağırlıkları her zaman 1'e 12'ye 16'dır. İnsan başka açıklamalar yapmaya başlar. Aynı mantık bir çok düzine bileşiğe uygulanınca atomlar tek anlamlı sonuç haline gelir.

Dalton atomun kimyasal elementin temel birimi olduğunu ve her kimyasal atomun kendi ağırlığı olduğunu bildirdiğinde bilimde devrim yaptı. İşte 1808'de yazdıkları:

Cisim türlerinde felsefi kimyacıların dikkatini özel olarak talep eden üç farklılık ya da üç durum vardır; yani elastik akışkanlar, sıvılar ve katılar diye işaretlenen durumlar. Belli koşullarda varsayılan her üç durumda da olabilen bir cismin çok ünlü bir örneği bize su olarak sunulur. Buharda mükemmel bir elastik akışkan ayırt ederiz, suda mükemmel bir sıvı ve buzda tam bir katı. Bu gözlemler evrensel olarak benimsenmiş gibi görünen, anlamlı büyüklükte her cismin, ister sıvı isterse katı olsun, çok sayıda son derece küçük parçacıklardan ya da koşullara göre az ya da çok güçlü olan bir çekim kuvvetiyle birbirine bağlanmış madde atomlarından oluştuğunu ima eder...

Kimyasal çözümleme ve bireşim, parçacıkların birbirinden ayrılmasını ve yeniden birleşmelerini örgütlemekten öteye geçmez. Maddenin hiçbir yeniden üretimi ya da yıkımına kimyasal ajan ulaşamaz. Bir hidrojen parçacığını yaratmak ya da parçalamakla güneş sistemine yeni bir gezegen yerleştirmek veya var olan birini yok etmeye kalkışmak aynı şeydir. Yapabileceğimiz tüm değişiklikler bir yapışma ya da bileşim halindeki parçacıkları ayırmak ve önceden uzak olanları birleştirmekten başka bir şey değildir.

Lavoisier ile Dalton'un bilimsel tarzları arasındaki zıtlık ilginçti. Lavoisier titiz bir ölçücüydü. Kesinlikle konusunda diretirdi ve bunun bedeli kimyasal yöntembilimin büyük ölçüde yeniden yapılanması oldu. Dalton çoğu şeyi yanlış yaptı. Oksijenin hidrojene göreceli ağırlığı için 8'i değil 7'yi kullandı. Suyun ve amonyağın bileşimini yanlış buldu. Yine de çağın derin bilimsel keşiflerinden birini yaptı: 2200 yıl süren spekülasyon ve belirsiz hipotezden sonra Dalton atomlar gerçekliğini kurdu. Yeni bir görüş sundu; öyle ki "eğer gelişirse (ki zaman içinde olacağından hiç kuşkum yok) kimya sisteminde en önemli değişiklikleri üretecek ve tümünü büyük bir basitliği olan bir bilime indirgeyecektir." Aygıtı güçlü bir mikroskop değildi, bir parçacık hızlandırıcısı değildi ama bazı test tüpleri, bir kimyasal terazi, zamanının kimya literatürü ve yaratıcı bir esinlenmeydi.

Dalton'un atom dediği Democritus'un kafasında canlandırdığı atom değildi. Şimdi örneğin bir oksijen atomunun bölünmez olmadığını biliyoruz. Karmaşık bir yapısı vardır. Ama ad yerleşmiştir: bugün atom dediğimiz şey Dalton'un atomudur. O *kimyasal* bir atomdur, bir

kimyasal elementin tek bir birimidir, hidrojen, oksijen, karbon ya da uranyum gibi.

1815'de Royal Enquirer'dan başlık:

KİMYACI NİHAİ PARÇACIĞI BULDU,
BOA YILANLARINI, İDRARI BIRAKTI

Kırk yılda bir çok basit ve zarif bu yüzden de doğru olması gereken bir gözlem, tek darbede bilime binlerce yıldır eziyet etmiş bir problemi çözecek gibi görünen bir gözlem yapan bir bilimci çıkar. Yüz kere kırk yılda bir de bilimci gerçekten haklıdır.

William Prout için söyleyebileceğimiz tek şey onun çok yaklaşmış olduğudur. Prout yüzyılının en büyük "neredeyse doğru" tahminini öne sürmüştü. Tahmini yanlış nedenlerle ve kaderin cilvesiyle reddedildi. 1815 dolaylarında İngiliz kimyacı tüm maddelerin yapıldığı parçacığı bulduğunu düşündü. O, hidrojen atomuydu.

Haksızlık etmemek gerekirse "hafifçe" yanlış olmasına karşın derin, ince bir fikirdi. Prout iyi bir bilimcinin yapması gerekeni yapmıştı. Yunan geleneğine uygun olarak basitliği aramıştı. O sıralarda bilinen yirmi beş kimyasal element arasında ortak bir payda arıyordu. Açıkçası Prout biraz alanının dışına çıkmıştı. Çağdaşlarına göre asıl başarısı idrar hakkında eksiksiz bir kitap yazmış olmasıydı. Ayrıca boa yılanlarının dışkılarıyla kapsamlı deneyler yapıyordu. Bu onu nasıl atomculuğa götürdü, tahmin yürütmeye niyetim yok.

Prout atom ağırlığı 1 olan hidrojenin bilinen tüm elementlerin en hafifi olduğunu biliyordu. Belki, dedi Prout, hidrojen "birincil madde"dir ve tüm diğer elementler basitçe hidrojen bileşimleridir. Antik çağın esiniyle bu öze "protyle" adını verdi. Fikir epeyce anlamlıydı çünkü elementlerin çoğunun atom ağırlıkları tam sayılara yakındı, hidrojenin ağırlığının katlarıydı. Bunun nedeni o zaman göreceli ağırlıkların tipik biçimde kesin olmamasıydı. Atom ağırlıklarının kesinliği gelişince Prout varsayımı (yanlış nedenle) çöktü. Örneğin klorun göreceli ağırlığının 35.5 olduğu bulundu. Bu Prout'un kavramını silip süpürdü çünkü yarım atomunuz olamaz. Şimdi biz doğal klorun iki türün, iki izotopun, karışımı olduğunu biliyoruz. Birinde 35

"hidrojen" vardır diğerinde de 37 "hidrojen" Bu "hidrojenler" aslında hemen hemen kütleleri aynı olan nötronlar ve protonlardır.

Prout'un aslında varsaydığı şey atomların yapı taşları olarak nukleonun (çekirdeği yapan parçacıklardan biri ya da öteki, proton veya nötron) varlığıydı. Prout çok esaslı bir iş yapmıştı. Yirmi beş ya da daha çok element kümesinden daha basit bir sisteme ulaşmak başarıya yazgılıydı.

Ama ondokuzuncu yüzyılda değil.

ELEMENTLERLE KÂĞIT OYNAMAK

İki yüzyılı aşkın kafa göz yaran kimya gezimizi Dimitri Mendeleev'le (1834-1907), elementlerin periyodik tablosundan sorumlu Sibirya doğumlu kimyacıyla bitiriyoruz. Tablo sınıflandırmada ileriye doğru kocaman bir adımdı ve aynı zamanda Democritus'un atomunu araştırmada gelişme sağladı.

Böyle olduğu halde Mendeleev'e yaşamı boyunca çok laf edildi. Bu garip adam –ekşi süt diyetiyle yaşamıştı (bazı tıbbi modaları sınıyordu)– tablosu yüzünden meslektaşları tarafından epeyce aşağılamaya uğradı. St. Petersburg Üniversitesindeki öğrencilerinin büyük bir destekçisiydi ve kariyerinin sonlarında bir protesto sırasında onların arkasında durduğu için yönetim onu kovdu.

Öğrencileri olmaksızın periyodik tabloyu asla oluşturamazdı. 1867'de kimya kürsüsüne ilk atandığında Mendeleev sınıflar için benimsenebilir bir kitap bulamadı bu yüzden kendi kitabını yazmaya başladı. Mendeleev kimyayı "kütle bilimi" olarak gördü –işte yine o kütle konusu– ve ders kitabında bilinen elementleri atom ağırlıklarına göre sıralamak gibi basit bir fikir ortaya attı.

Bunu kâğıt oynayarak yaptı. Elementlerin her birinin simgesini atom ağırlığı ve değişik özellikleriyle (örneğin; sodyum: etkin metal; argon: asal gaz) bir kartın üzerine yazdı. Mendeleev bir tür soliter olan pasyans oynamaktan hoşlanırdı. Bu nedenle elementlerle onlar giderek artan atom ağırlığına göre sıralanacak biçimde pasyans oynadı. O zaman belirli bir düzenlilik keşfetti. Benzer kimyasal özellikler sekiz

kart aralıkla yeniden ortaya çıkıyordu; örneğin lityum, sodyum ve potasyumun tümü de kimyasal olarak etkin metallerdi ve konumları 3, 11 ve 19'du. Benzer biçimde hidrojen (1) fluor (9) ve klor (17) etkin gazlardı. Kartları sekiz düşey sütun halinde her sütunda benzer özellikleri olan elementler bulunacak biçimde yeniden düzenledi.

Mendeleev ortodoks olmayan bir şey daha yaptı. Kutulardan oluşan tablosunun tümünü doldurmak için bir takıntı duyumsamadı. Soliterde olduğu gibi kartların bazısının destenin altında gizli olduğunu biliyordu. Tablonun yalnız satırları boyunca değil yukarıdan aşağıya okunduğunda da anlamlı olmasını istedi. Belli bir özelliği olan bir element için ayrılmış bir boşluk bulunmuş ama böyle bir element olmazsa var olan bir elementi bu boşluğa zorlamak yerine orayı boş bıraktı. Mendeleev Sanskritçe "bir" anlamına "eka" ön ekini kullanarak boşlukları da adlandırdı. Örneğin eka-aluminyum ve eka-silikon düşey sütunda sırasıyla aluminyum ve silikonun altındaki boşluklardı.

Tablodaki boşluklar Mendeleev'in bu denli yaygın olarak alay edilmesinin nedenlerinden biriydi. Yine de beş yıl sonra, 1875'de galyum keşfedildi ve periodlar tablosunda öngörülen tüm özellikleriyle eka-aluminyum olduğu ortaya çıktı. 1886'da eko-silikon olduğu anlaşılan germanyum keşfedildi. Kimyasal soliter oyununun o kadar aptalca olmadığı ortaya çıkıyordu.

Mendeleev'in tablosunu olası kılan etmenlerden biri kimyacıların elementlerin atom ağırlıklarını daha kesin olarak ölçer hale gelmeleriydi. Mendeleev'in kendisi de çeşitli elementlerin atom ağırlıklarını düzeltti ama bu ona sayıları gözden geçirilen önemli bilimciler arasında pek de dost kazandırmadı.

Periyodik tabloda düzenliliklerin neden ortaya çıktığını bir sonraki yüzyılda çekirdek ve kuantum atomu keşfedilinceye kadar hiç kimse anlamadı. Aslında periyodik tablonun ilk darbesi bilimcilerin cesaretini kırdı. "Element" denen, evrenin olasılıkla fazla bölünemeyen temel taşları olan elli ya da daha fazla madde vardı – bu elliden fazla farklı "atom" demekti ve sayı kısa sürede doksanın üzerine şişecekti. Bu nihai bir yapı taşından epey uzaktır. 1800'lerin sonlarında periyodik tabloya bakmak bilimcilerin saçlarını yoldururdu. İki binyıldır aradığımız basit teklik nerede? Yine de Mendeleev'in bu kaosta bulduğu

düzen daha derin bir basitliği işaret ediyordu. Geriye bakınca periyodik tablonun örgütlenmesi ve düzenlilikleri kendini periyodik olarak yineleyen bazı yapılarla bir atom için çığlık atıyordu. Ancak kimyacılar kimyasal atomlarının –hidrojen, oksijen filan– bölünmez olduğu kavramını terk etmeye hazır değildiler. Daha verimli bir hamle farklı bir açıdan gelecekti.

Yine de Mendeleev'i periyodik tablonun karmaşıklığı yüzünden suçlamamak gerekir. Kargaşayı iyi bilimcilerin yaptığı gibi –karmaşıklığın ortasında düzen arayarak– elinden geldiğince basitçe örgütlemişti. Akranları tarafından yaşamı boyunca hiçbir zaman tam olarak takdir edilmedi; hiçbir zaman, hattâ ödül konduktan yıllarca sonra da hayatta olduğu halde, Nobel ödülü almadı. Ancak 1907'de öldüğünde bir öğretmen için en büyük ödülü aldı. Bir grup öğrenci başlarının üzerinde periyodik tabloyu taşıyarak cenaze geçidini izlediler. Mirası dünyanın her laboratuarında, her lise kimya sınıfında asılı duran ünlü elementler tablosuydu.

Klasik fiziğin dalgalanan gelişiminde son perde için madde ve parçacıkların incelenmesinden bir kuvvetin incelenmesine geri dönüyoruz. Bu kez elektrik. On dokuzuncu yüzyılda elektrik neredeyse kendi başına bir bilim sayılıyordu.

Gizemli bir kuvvetti. Ve ilk ortaya çıktığında yıldırım gibi ürkütücü biçim dışında doğal olarak ortaya çıkmaz gibi görünüyordu. Bu yüzden araştırmacılar elektriği incelemek için "doğal olmayan" bir şey yapmak zorundaydılar. Elektriğin her yerde olduğunu kabul etme noktasına gelmiş bulunuyoruz; tüm madde doğal olarak elektrikseldir. Çağdaş döneme ulaştığımızda hızlandırıcılarda üretilen "ekzotik" parçacıkları tartışırken bunu aklınızda tutun. On dokuzuncu yüzyılda elektrik bugün quarkların olduğu kadar ekzotikti. Bugün elektrik bizi çevreliyor; insanların kendi ortamlarını nasıl da değiştirdiklerinin bir başka örneği.

Bu erken dönemde elektriğin ve mıknatıslığın pek çok kahramanı vardı, çoğu adlarını çeşitli elektriksel birime vermiştir. Aralarında Charles Augustin de Coulomb (yük birimi), André Ampère (akım), Georg Ohm (direnç), James Watt (elektriksel güç) ve James Joule (enerji) bulunur. Luigi Galvani bize galvanometreyi, akımları ölçen

bir aygıtı verdi ve Alessandro Volta da voltu (bir potansiyel ya da elektriksel devinim kuvveti birimi). Aynı biçimde C.F.Gauss, Hans Christian Oersted ve W.E.Weber, tümü de gelecekteki elektrik mühendisliği öğrencilerinde korku ve nefret doğuracağı hesaplanan elektriksel niceliklere damgalarını bastılar ve adlarını verdiler. Yalnızca Benjamin Franklin önemli katkılarına karşın herhangi bir elektriksel biçime adını veremedi. Zavallı Ben! Eh, onun da sobası ve şu yüz dolarlıkların üzerinde portresi var. Franklin iki tür elektrik olduğunu saptadı. Birine Joe, ötekine Moe diyebilirdi ama onu yerine artı (+) ve eksiyi (-) seçti. Franklin bir nesne üzerindeki diyelim eksi elektriğe "elektrik yükü" adını verdi. Ayrıca yükün korunması kavramını, elektrik bir cisimden diğerine aktarıldığında toplam yükün sıfır olması gerektiğini de getirdi. Ama, tüm bu bilimciler arasındaki devler iki İngilizdi, Michael Faraday ve James Clerk Maxwell.

ELEKTRİK KURBAĞALAR

Öykümüz 1700'lerin sonlarında Galvani'nin daha sonra başka bir İtalyan, Volta tarafından geliştirilen pili icat etmesiyle başlıyor. Galvani'nin kurbağa refleksleri çalışması –kurbağa kaslarını penceresinin dışındaki kafese astı ve şimşekli havalarda onların bükülmelerini izledi– "hayvansal elektrik"i ortaya koydu. Bu Volta'nın 1790 dolaylarındaki çalışmasını uyardı ve iyi de oldu. Henry Ford'un arabalarından her birine bir kutu kurbağa koyduğunu ve motorculara şu komutu verdiğini düşünün: "Kurbağalar her on beş milde bir beslenmelidir." Volta'nın bulduğu şey kurbağa elektriğinin bir tür kurbağa zamkıyla ayrılmış birbirine benzemeyen iki metalle ilgili olduğuydu çünkü Galvani'nin kurbağaları demir bir kafese pirinç kancalarla asılmışlardı. Volta tuzlu suya batırılmış (kurbağaların yerine geçen) deri parçalarıyla ayrılmış farklı metal çiftlerini deneyerek elektrik akımını kurbağasız üretmeyi başardı. Sonunda pil ne kadar büyük olursa bir dış devreye o kadar fazla akım verebildiğini ayrımsadığı, çinko ve bakır plaklarından bir "pil" yarattı. Bu çalışma için can alıcı olan Volta'nın akımı ölçmek için bir elektrometre icat etmesiydi. Bu araştırma iki sonuç sağladı: akım üretmek için bir laboratuar aracı ve elektriğin kimyasal tepkimelerle üretilebildiğinin anlaşılması.

Bir başka önemli gelişme Coulomb'un iki yüklü top arasındaki elektriksel kuvvetin gücünü ve davranışını ölçmesiydi. Bu ölçümü yapmak için burulma terazisini, küçük kuvvetlere duyarlı bir aleti geliştirdi. Peşinde olduğu kuvvet kuşkusuz elektrikti. Burulma terazisini kullanarak Coulomb elektriksel yükler arasındaki kuvvetin aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak değiştiğini belirledi. Ayrıca aynı işaretli yüklerin (++ ya da --) birbirini ittiğini farklı yüklerin (+ -) ise çektiğini keşfetti. Coulomb yasası F'ye elektrik yükleri verilirse bizim atomu anlamamızda önemli bir rol oynadı.

Gerçek bir etkinlik çılgınlığı içinde bilimcilerin başlangıçta ayrı görüngüler olduğuna inandığı elektrik ve mıknatıslık üzerine bir deneyler dizisi başladı. Yaklaşık elli yıllık kısa bir dönemde (1820-1870) bu deneyler yalnızca elektrik ve mıknatıslığı değil ışığı da içeren bir birleştirilmiş kuramla sonuçlanan büyük bir senteze yol açtı.

KİMYASAL BAĞIN GİZİ: YİNE PARÇACIKLAR

Elektrik üzerine erken bilgimizin çoğu kimyadaki, özellikle de şimdi elektrokimya diye bildiğimiz şeydeki, keşiflerden doğar. Volta'nın pili bilimcilere bir elektriksel akımın bir deneydeki tel çevresinde pilin bir kutbundan ötekine ulaşmak üzere akabileceğini öğretti. Devre telleri bir sıvıya batırılmış metal parçalarına bağlayarak kesilirse akım sıvının içinde akar. Sıvının içindeki akımın bir kimyasal süreç yarattığını buldular: ayrışma. Eğer sıvı suysa bir metalin yakınında hidrojen gazı diğerinde oksijen ortaya çıkıyordu. 2 kısım hidrojene 1 kısım oksijen oranı suyun bileşenlerine ayrıştığını gösteriyordu. Sodyum klorür çözeltisi bir "uç"ta sodyum toplanmasına diğerinde de yeşilimtırak klor gazı görünmesine yol açacaktı. Elektrolizle kaplama sanayii kısa sürede gelişecekti.

Elektriksel bir akımla kimyasal bileşiklerin ayrışması derin bir şeylere işaret ediyordu: atom bağlarıyla elektriksel kuvvetler arasında bir bağlantıya. Güncellik kazanan atomlar arasında çekimler kavramı –yani bir kimyasal maddenin diğeri üzerindeki "çekim"i– elektriksel doğadaydı.

Michael Faraday elektrokimyadaki çalışmasına adlandırmayı sistemleştirerek başladı. Lavoisier'nin kimyasalları adlandırmasında olduğu gibi bu epeyce işe yaradı. Faraday sıvıya daldırılmış metallere "elektrodlar" dedi. Eksi elektrod bir "katod"du; artı elektrodsa "anod" Elektrik suyun içinden vızıldadığı zaman yüklü atomları katoddan anoda doğru bir göçe zorluyordu. Normal olarak kimyasal atomlar nötrdür ne artı ne de eksi yükleri yoktur. Ama elektrik akımı bir biçimde atomları yükler. Faraday bu yüklü atomlara "iyonlar" dedi. Bugün bir iyonun bir ya da daha çok elektron kazandığı ya da yitirdiği için yüklü hale gelmiş bir atom olduğunu biliyoruz. Faraday'ın zamanında elektronlar hakkında bir şey bilmiyorlardı. İyi de Faraday elektronların varlığından kuşkulandı mı? 1830'larda, Faraday'ın elektroliz yasaları diye bilinen iki basit özet cümlesine yol açan bir dizi harika deney yaptı:

1. Bir elektroddan serbest bırakılan kimyasal kütlesi akımla akımın geçtiği sürenin çarpımıyla orantılıdır. Yani serbest kalan kütle sıvıdan geçen akımla orantılıdır.

2. Sabit bir elektrik niceliğiyle serbest kalan kütle bileşikteki atom sayısıyla maddenin atom ağırlığı çarpımıyla orantılıdır.

Bu yasaların anlamı elektriğin düz ve sürekli olmadığı ama "topaklar"a bölünebildiğidir. Dalton'un atomlar fikriyle Faraday'ın yasaları bize sıvıdaki atomlar (iyonlar) her iyonun onu serbest bir hidrojen, oksijen, gümüş ya da her neyse atomuna dönüştüren bir elektrik niceliği birimiyle karşılandığı elektroda göç ettiğini söyler. Faraday yasaları böylece kaçınılmaz bir sonuca işaret eder: *elektrik parçacıkları* vardır. Ancak bu sonuç yüzyılın sonunda elektronun keşfiyle dramatik biçimde desteklenene dek yaklaşık altmış yıl beklemek zorundaydı.

KOPENHAG'DA ŞOK

Elektriğin –sizin elektrik prizlerinizde iki ya da üç delikte para karşılığı ortaya çıkan zımbırtının– tarihine devam etmek için Danimarka'ya gitmemiz gerekir. 1820'de Hans Christian Oersted bir anahtar keşif yaptı –bazı tarihçiler bunun *anahtarın* keşfi olduğunu öne

sürerler. Bir Volta aygıtının (pil) bir ucunu ötekine birleştiren tellerle anlatıldığı biçimde bir elektrik akımı yarattı. Elektrik hâlâ bir gizdi ama bir elektrik akımı, elektrik yükü denen, bir telin içinde hareket eden bir şeyler içeriyordu.

Oersted devrenin yanına bir pusula iğnesi (bir mıknatıs) yerleştirinceye kadar bunda hiçbir sürpriz yoktu. Akım geçtiğinde pusula iğnesi coğrafik kuzey kutbunu göstermekten (kadrolu işi buydu) vira etti ve tele dik yönde gülünç bir konum aldı. Oersted bir pusulanın manyetik alanları araştırmak üzere düzenlendiğini akıl edene kadar bu konuda endişe etti. O zaman teldeki akım bir manyetik alan oluşturuyor öyle mi? Oersted elektrikle mıknatıslık arasında bir bağlantı keşfetmişti: *akımlar manyetik alanlar üretir.* Mıknatıslar da manyetik alanlar oluşturur ve onların demir parçalarını çekme (ya da buzdolabı kapılarında resimleri tutma) yetenekleri iyi incelenmişti. Haberler Avrupa'yı bir uçtan bir uca geçti ve büyük bir hareket yarattı.

Bu bilgiyi işleterek Paris'li André Marie Ampère akımla manyetik alan arasında matematiksel bir ilişki buldu. Bu alanın ayrıntılı gücü ve yönü, akan akıma ve akımı taşıyan telin biçimine (düz, dairesel ya da her neyse) bağlıydı. Matematiksel uslamlama ve telaşla yapılan bir çok deneyin bileşimiyle Ampère, zamanı gelince, herhangi bir biçimdeki –düz, eğri, dairesel bir halkaya dönüştürülmüş ya da silindirik bir biçimin üzerine sıkıca sarılmış– bir telden geçen bir elektrik akımının ürettiği manyetik alanı hesaplamak için bir reçetenin çıkarıldığı tek kişilik bir tartışma fırtınası yarattı. İki düz telden geçen akım iki manyetik alan ürettiği için bu alanlar birbirini itebilir, teller birbiri üzerine kuvvet uygular. Bu keşif Faraday'ın elektrik motorunu icat etmesine olanak verdi. Dairesel akım halkasının bir manyetik alan üretmesi olgusu da derin bir konuydu. Eskilerin mıknatıs taşları, doğal mıknatıslar, dediği şeyler aslında atom ölçeğinde dairesel akımlardan oluşmuş olabilir miydi? Atomların elektriksel doğasına bir başka ipucu.

Oersted çoğu başka bilimci gibi tekleştirme, basitleştirme, indirgemeye yöneltildiğini duyumsamıştı. Yerçekimi, elektrik ve mıknatıslık, tümü tek bir kuvvetin farklı görünümleriydi ve bu kuvvetlerin ikisi arasında doğrudan bir bağlantı olduğuna ilişkin onun keşfinin bu kadar heyecan verici (şok edici) olmasının nedeni de buydu. Ampère

de basitliği aramıştı; temelde mıknatıslığı devinim halindeki elektriğin bir görünümü (elektrodinamik) sayarak elemeye çalışmıştı.

YİNE DE HER YERDE DÉJÀ VU

Michael Faraday (1791-1867) geliyor. (Tamam zaten sahnedeydi ama bu resmi girişi. Borular çalsın.) Eğer Faraday zamanının en büyük deneycisi olmasaydı kesinlikle bu unvana aday olurdu. Newton'dan, Einstein'dan ya da Marilyn Monroe'dan daha fazla yaşamöyküsü yazıldığı söylenir. Neden? Kısmen onun kariyerinin Cinderella yanından. Fakir doğmuştu, bazen aç kaldı (bir keresinde bir hafta boyunca sadece bir somun ekmek yemişti), Faraday güçlü bir dinsel eğitim almıştı ama pratik olarak eğitim görmemişti. On dört yaşında bir ciltçinin yanına çırak girdi, aslında ciltlediği kitapların bazılarını okuyarak zaman geçirirdi. Böylece kendisinin iyi bir deneyci olmasına yardım eden bir el becerisi kazanırken kendini eğitti. Bir gün bir müşteri *Encyclopaedia Britannica*'nın üçüncü baskısını yeniden ciltlenmek üzere getirdi. Elektrik üzerine bir makale vardı. Faraday onu okudu, kapıldı ve dünya değişti.

Şunun üzerinde düşünün. AP haber bürosunun şebekesinden iki haber geliyor:

FARADAY ELEKTRİĞİ KEŞFETTİ
KRALİYET DERNEĞİ BAŞARIYI ÖVÜYOR

ve

NAPOLEON ST. HELENA'DAN KAÇTI
KITA ORDULARI HAREKETE GEÇİYOR.

Hangi başlık altı haberlerine girerdi? Doğru! Napoleon. Ama sonraki elli yıl boyunca Faraday'ın keşfi sözcüğün tam anlamıyla İngiltere'yi elektrikledi ve bu gezegende yaşayan insanların yaşamında bir insanın keşiflerinden hiçbirinin yapmadığı köklü bir değişikliği harekete geçirdi. Keşke TV haberciliğinin kapıcıları lisede gerçek bir bilimin hakkını vermeye zorlansalardı...

MUMLAR, MOTORLAR, DİNAMOLAR

İşte Faraday'ın başardığı. Mesleki yaşamına yirmi bir yaşında bir kimyacı olarak başlayıp aralarında benzen de olmak üzere bir çok organik bileşiği keşfetti. Elektrokimyayı temizleyerek fiziğe geçiş yaptı. (Utah Üniversitesinin 1989'da soğuk füzyonu keşfettiklerini düşünen şu kimyacıları Faraday'ın elektroliz yasalarını anlamış olsalardı ne kendilerini ne bizi utandırmazlardı.) Faraday sonra elektrik ve mıknatıslık alanında büyük keşifler yapmaya devam etti. O:

• sayesinde değişen bir manyetik alanın bir elektriksel alan yarattığı endüksiyonun yasasını (kendi adıyla anılan) keşfetti.

• bir manyetik alandan ilk kez bir elektrik akımı üreten kişiydi.

• elektrik motoru ve dinamoyu icat etti.

• elektrikle kimyasal bağ arasındaki ilişkiyi ortaya koydu.

• mıknatıslığın ışık üzerindeki etkisini keşfetti.

• ve daha bir çok şeyi.

Tüm bunlar bir Ph.D., M.A., B.A. ya da lise dengi bir diploma olmaksızın! Matematik olarak da cahildi. Keşiflerini eşitlikler halinde değil sıklıkla verileri açıklamak için resimlerin eşlik ettiği düz betimleyici dille yazdı.

1990'da Chicago Üniversitesi *Yılbaşı Konferansları* diye bir TV dizisi başlattı ve ben ilk konferansı vermekle onurlandırıldım. Fikri özgün Yılbaşı Konferanslarını 1826'da çocuklar için başlatan Faraday'dan ödünç alarak konferansa "Mum ve Evren" adını verdim. İlk konuşmasında bilinen tüm bilimsel süreçlerin yanan mumla görüntülendiğini tartıştı. Bu 1826'da doğruydu ama 1990'da ısı çok düşük olduğu için mumda yer *almayan* bir çok süreç öğrenmiştik. Yine de Faraday'ın mum üzerine konferansları berrak ve eğlenceliydi ve de eğer gümüş sesli bazı aktörler CD'ler yapsaydı çocuklarımız için harika Yılbaşı armağanları olurdu. O halde bu kayda değer adama bir başka cephe ekleyelim – popüler bilimci Faraday.

Onun kimyasal atomların elektriksel yapısının ve aslında elektronun varlığının keşfinin yolunu hazırlayan elektroliz araştırmasını tartışmıştık. Şimdi Faraday'ın en kayda değer iki katkısını betimlemek istiyorum: elektromanyetik endüksiyon ve onun neredeyse mistik "alan" kavramı.

Elektriğin (daha doğru olarak elektromanyetizmin ya da elektromanyetik alanın) çağdaş anlayışına giden yol ünlü Tinker'a karşı Evers ona karşı Chance çift oyun beyzbol kombinasyonuna benzer. Bu defa Oersted'e karşı Ampère ona karşı Faraday vardır. Oersted ve Ampère elektrik akımlarını ve manyetik alanları anlamada ilk adımları attılar. Evinizdekiler gibi tellerden akan elektrik akımları manyetik alanlar yaparlar. Böylece akımları örgütleyerek küçük vantilatörleri döndüren pille çalışan minik mıknatıslardan, parçacık hızlandırıcılarında kullanılan dev mıknatıslara kadar istediğiniz kadar güçlü bir mıknatıs yapabilirsiniz. Bu elektromıknatıs anlayışı doğal mıknatısların atom düzeyinde bir mıknatıs oluşturmak üzere işbirliği yapan akım öğeleri içerdiği biçimindeki anlayışımızı aydınlatır. Mıknatıs olmayan malzemelerin de bu Ampère'ci atom akımları vardır ama rastgele örgütlenmeleri hiçbir net mıknatıslık üretmez.

Faraday, elektrikle mıknatıslığı birleştirmek için uzun süre savaşmıştır. Eğer elektrik manyetik alanlar yapabiliyorsa mıknatıslar da elektrik yapabilir mi diye merak ediyordu. Neden olmasın? Doğa simetriyi sever. Ama bunu kanıtlaması on yıldan fazla (1820-1831) sürdü. Bu belki de onun en büyük başarısıydı.

Faraday'ın deneysel keşfi elektromanyetik endüksiyon adını alır ve aradığı simetri şaşırtıcı biçimde ortaya çıkmıştır. Faraday önce bir mıknatısın akım taşıyan bir teli hareket ettirip ettirmeyeceğini merak etti. Kuvvetleri gözünde canlandırarak bir ucu bir pile bağlı öteki ucu bir kap cıvanın içinde asılı duran bir telden ibaret bir aygıt yaptı. Elektrik teli kabın içindeki bir mıknatısın çevresinde dönebilsin diye serbestçe sallanıyordu. Akım açılınca tel, mıknatısın çevresinde bir çember çizmeye başladı. Bugün bu garip icada elektrik motoru diyoruz. Faraday elektriği işleyebilecek devinime çevirmişti.

Başka bir icat için 1831'e sıçrayalım. Faraday yumuşak demirden bir simidin bir tarafına bakır bir teli pek çok kez doladı, sonra bobinin

iki ucunu galvanometre denen duyarlı bir akım ölçme aygıtına bağladı. Aynı uzunlukta bir teli simidin diğer yanına doladı ve onların uçlarını bobinden akım geçebilsin diye bir pile bağladı. Bu aygıta şimdi transformatör diyoruz. Bir daha bakalım. Bir simitin iki yanına sarılmış iki bobinimiz var. Biri (ona A diyelim) bir pile bağlanmış; öteki (B) bir galvanometreye bağlanmış. Cereyanı açınca ne olur?

Yanıt bilim tarihi için önemlidir. Akım A bobininde akınca elektrik mıknatıslık üretir. Faraday bu mıknatıslığın B bobininde bir akım üreteceğini düşündü. Ama bunun yerine garip bir etki elde etti. Akımı açınca B bobinine bağlı galvanometrenin iğnesi oynadı –yaşasın! Elektrik!– ama yalnızca bir an için. Ani zıplamadan sonra iğne çıldırtıcı biçimde sıfırı gösterdi. Pilin bağlantısını kesince iğne yine kısa süre ters yöne saptı. Galvanometrenin duyarlığını arttırmak hiçbir etki yapmadı. Her bobindeki sarım sayısını arttırmak hiçbir etki yapmadı. Çok daha güçlü bir pil kullanmak hiçbir etki yapmadı. Ve sonra Eureka anı geldi (İngiltere'de buna By Jove anı denir): Faraday ilk bobindeki akımın ikincide bir akım yarattığını anladı; ama yalnızca ilk akım değiştiğinde. O halde sonraki otuz yıl ya da daha fazla yıllık araştırmanın gösterdiği gibi *değişen* bir manyetik alan bir elektrik alanı doğurur.

Zamanı gelince ortaya çıkan teknoloji elektrik üreteciydi. Bir mıknatısı mekanik olarak döndürerek insan bir elektrik alanı doğuracak sürekli değişen bir manyetik alan ve bir devreyle bağlantı kurarsa bir elektrik akımı üretebilir. İnsan bir mıknatısı bir kolu çevirerek, bir şelalenin gücünü kullanarak ya da bir buhar türbinini çalıştırarak döndürebilir. Şimdi elimizde geceyi gündüze çevirmek ve evde ve fabrikadaki şu elektrik fişlerine enerji vermek için elektrik üretmenin bir yol vardır.

Ama biz salt bilimciler... biz a-tomun ve Tanrı Parçacığının izindeyiz; teknolojinin üzerinde duruyoruz çünkü Faraday'ın elektriği olmasa parçacık hızlandırıcıları yapmak son derece zor olurdu. Faraday için geceleri de çalışabilecek olması dışında dünyanın elektriğe kavuşması önem taşımazdı.

Faraday ilk elle döndürülen elektrik üretecini kendi inşa etti; o zamanlar ona dinamo deniyordu. Ama ne işe yaradığını anlamak için

"...ikincilerin [pratik uygulamaların] şimdiden sonra tam olarak gelişeceğine güvenerek yeni olgular keşfetmek" le de çok ilgiliydi. İngiliz başbakanının 1832'de Faraday'ın laboratuarına ziyaret edişinin ve gülünç makineyi göstererek ne işe yaradığını soruşunun öyküsü sıkça anlatılır. Faraday "Bilmiyorum" dedi. "ama bir gün hükümetinizin ondan vergi alacağına bahse girerim." Elektrik üretim vergisi İngiltere'de 1880'de zorunlu oldu.

ALAN YARDIMCIN OLSUN

Faraday'ın bizim indirgemecilik tarihimizde dönüm noktası olan en önemli *kavramsal* katkısı *alan*dı. Buna hazırlanmak için geriye Faraday'ın zamanından yetmiş yıl kadar önce a-tomu önemli bir adım ilerleten köktenci bir sav yayınlamış olan Roger Boscovich'e dönmemiz gerekir. A-tomlar nasıl çarpışır? diye sordu. Bilardo topları çarpışınca biçim değiştirir; elastik düzelmeleri topları ittirir. İnsan biçim değiştirmiş bir a-tom düşünebilir mi? Ne biçim değiştirecektir? Ne düzelecek? Boscovich böyle düşünerek a-tomları boyutsuz, yapısız matematiksel noktaya indirgemeye yöneldi. Bu nokta hem çekici hem itici kuvvetlerin kaynağıdır. Atom çarpışmalarını çok anlaşılır kılan ayrıntılı bir geometrik model oluşturdu. Nokta a-tom, Newton'un "katı, kütleli atom"unun yaptığı her şeyi yapıyordu ama avantajlar sunuyordu. Hiçbir genişlemesi olmadığı halde ataleti (kütle) vardı. Bosovich'in a-tomu kendisinden yayılan kuvvetler aracılığıyla uzaya ulaşır. Bu son derece uzak görüşlü bir kavramdır. Faraday da a-tomların noktalar olduğuna inandı ama kanıt sunamadığı için desteği sessiz kaldı. Boscovich /Faraday görüşü şöyleydi: madde *kuvvetlerle çevrilmiş* nokta a-tomlardan ibarettir. Newton kuvvetin kütleye etki ettiğini söylemişti bu yüzden bu onun fikrinin bir uzantısıydı. Bu kuvvet kendini nasıl ortaya koyar?

Geniş bir konferans salonunda öğrencilere "Bir oyun oynayalım" dedim. "Solunuzdaki öğrenci elini indirince elinizi kaldırıp indirin" Sıranın sonunda sinyali bir sıra üste çıkardık ve "sağınızdaki öğrenci"ye değiştirdik. En ön sıranın en solundaki, elini kaldıran öğrenciden başladık. Hemen "el yukarı" dalgası odayı boydan boya geçti, yukarı, geriye ve böylece salonun en üstünde duruncaya kadar sürdü.

Elimizdeki bir öğrenci ortamında bir hızla yayılan bir bozukluktu. Futbol stadyumlarında görülen dalgayla aynı ilke. Bir su dalgasının da özellikleri aynıdır. Dalga ilerlediği halde su parçacıkları yukarı aşağı oynayarak ama bozukluğun yatay hızına aldırış etmeksizin olduğu yerde kalır. "Bozukluk" dalganın yüksekliğidir. Ortam sudur. Hız, suyun özelliklerine bağlıdır. Ses havada aynı biçimde yayılır. Ama bir kuvvet aradaki boş uzaydan geçerek atomdan atoma nasıl ulaşır? Newton topu taca attı. "Hiçbir hipotez belirlemedim" dedi. Belirli veya değil bir kuvvetin nasıl yayıldığına ilişkin yaygın hipotez gizemli *uzaktan etki*ydi; yerçekiminin nasıl işlediğine ilişkin gelecekteki bir anlayış için bir tür yer tutma.

Faraday *alan* kavramını, uzayın bir yerlerdeki bir *kaynak* yüzünden bozulabilme yeteneğini, getirdi. En uygun örnek bir mıknatısın demir çivilere ulaşmasıdır. Faraday mıknatısın ya da bobinin çevresindeki boşluğu kaynak yüzünden "gerilmiş" olarak resimledi. Alan kavramı acı verici biçimde yıllar boyunca pek çok yazıda ortaya çıktı ve tarihçiler neyin, nasıl, ne zaman ortaya çıktığında anlaşamamaktan hoşlanırlar. İşte Faraday'ın 1832'deki bir notu: "Bir mıknatıs uzak bir mıknatıs ya da demiri etkilediğinde etki eden neden... aşamalı olarak manyetik cisimlerden ilerler ve *iletimi için zaman gerekir* [vurgulamalar benim]" Böylece kavram bir "bozukluğun –örneğin 0,1 tesla'lık bir manyetik alan gücünün– uzayda yolculuk yapabilmesi, bir gram demir tozunu saptaması ve yalnızca orada olduğunu saptamakla kalmayıp bir kuvvet uygulayabilmesidir. Güçlü bir dalganın tedbirsiz bir yüzücüye yaptığı budur. Su dalgasının –diyelim bir metre yüksekliğinde– içinde yayılacağı suya gereksinimi vardır. Manyetik alanlarla daha güreşmemiz gerekiyor. Daha sonra.

Manyetik kuvvet çizgileri bir mıknatısın üzerine yerleştirilmiş kâğıt üzerine demir tozu serperek yaptığınız eski okul deneyinde ortaya konur. Yüzey sürtünmesini kırmak için kağıda bir fiske vurursunuz ve demir tozu, mıknatısın kutuplarını birleştiren belli bir çizgi örneğinde kümelenir. Faraday bu çizgilerin kendi alan kavramının gerçek görüntüleri olduğunu düşündü. Önemli olan konu Faraday'ın uzaktan etkiye getirdiği bu alternatifin belirsiz betimlemeleri değil kavramın bizim ikinci elektrikçimiz, İskoç James Clerk (Klark okunur) Maxwell (1831-1879) tarafından değiştirilme ve kullanılma biçimidir.

Faraday'ı terk etmeden önce onun atomlara yönelik tutumuna açıklık kazandırmalıyız. 1839'da bize cevher gibi iki not bırakmıştır:

Bir atomun ne olduğu hakkında hiçbir şey bilmememize karşın onu akılda temsil eden küçük bir parçacık fikri oluşturmaya direnemeyiz – bizi maddenin atomlarının en çarpıcı niteliklerini bu arada kimyasal çekiciliklerini [atomun atomu çekmesi] borçlu oldukları elektriksel güçlerle bir bakıma ilişkili olduğuna inanmamızı haklı kılan bir olgular bolluğu vardır.

Ve

İtiraf etmeliyim ki atom teriminde kıskancın çünkü atomlar hakkında konuşmanın çok kolay olmasına karşın bileşik cisimler söz konusu olduğunda doğaları hakkında açık bir fikir oluşturmak çok güçtür.

Bu cümlelere kitabı *İçteki Bağ*'da yer veren Abrahaın Pais şöyle bitirir: "Deneysel zeminde inanmaya zorlandığı şeyi benimseyecek olan, gerçek Faraday, mükemmel deneycidir.

IŞIK HIZINDA

Eğer ilk oyun Oersted'e karşı Ampère, ona karşı Faraday arasındaysa ikincisi Faraday'a karşı Maxwell; ona karşı Hertz arasındaydı. İcatçı Faraday'ın dünyayı değiştirmiş olmasına karşın onun bilimi kendi başına ayakta duramazdı ve Maxwell'in sentezi olmasaydı sona ererdi. Maxwell için Faraday yarım ifade edilmiş (yani matematiksel olmayan) bir içgörü sağlamıştı. Faraday Brahe ise Maxwell de Kepler'di. Faraday'ın manyetik kuvvet çizgileri, alan kavramı için bir binek taşı görevi gördü ve 1832'deki elektromanyetik etkilerin anında iletilmediği ama iyi belirlenmiş bir zamana gereksindiği yolundaki sözleri Maxwell'in büyük keşfinde bir anahtar rolü oynadı.

Maxwell Faraday'a tam not verdi hattâ fikirlerini "doğal, teknik olmayan dille" anlatmaya onu zorlayan matematiksel cahilliğine bile hayrandı. Maxwell birincil güdülenmesinin Faraday'ın elektrik ve mıknatıslık görüşünü matematiksel biçime tercüme etmek olduğunu öne sürdü. Ama gelişen çalışına Faraday'ın çok ötesine gitti.

1860-1865 yılları arasında Maxwell'in makaleleri –yoğun, zor, karmaşık matematik modeller (öf!)– amber ve mıknatıs taşlarının sisli tarihinden başlamış olan bilimin elektrik evresinin zafer tacı olarak ortaya çıktı. Bu son biçimde Maxwell yalnızca Faraday'ı (her ne kadar atonalse de) matematiksel müziğe oturtmakla kalmadı, bunu yaparken Faraday'ın tahmin ettiği gibi elektromanyetik dalgaların uzayda sınırlı bir hızla hareket ettiğini de ortaya koydu. Faraday deneysel olarak değişen bir manyetik alanın bir elektriksel alan doğurduğunu bulmuştu. Bu matematiksel zımbırtılarda, Maxwell'in not defterlerinde, kaynaklarından her türden elektriksel ve manyetik niceliğe bağlı bir hızla uzaklaşarak uzaydan geçen elektriksel ve manyetik alanlara bir ileri bir geri hücum edilmesine neden oldu.

Ama bir sürpriz vardı. Faraday tarafından tahmin edilmemiş ve temelde Maxwell'in en büyük keşfi olan şey bu elektromanyetik dalgaların gerçek hızıydı. Maxwell eşitliklerini uzun uzun inceledi. Sonra uygun deneysel sayılarını yerleştirdi ve saniyede $3x10^8$ metre çıktı. "Vay anasını" dedi, ya da İskoçlar şaşırınca ne diyorsa onu. Çünkü $3x10^8$ metre (ilk kez birkaç yıl önce ölçülmüş olan) ışığın hızıydı. Newton ve iki tür kütlenin gizeminden öğrendiğimiz gibi bilimde pek az gerçek rastlaşma vardır. Maxwell ışığın bir elektromanyetik dalganın bir örneğinden başka bir şey olmadığı sonucuna vardı. Elektrik, tellere hapsolmak zorunda değildi ve uzayda ışığın yaptığı gibi yayılabilirdi. Maxwell "ışık" diye yazdı "elektrik ve manyetik görüngülere neden olan aynı ortamın enine dalgalanmalarından ibarettir." Maxwell olasılığı açtı, Hertz ona hamle yaptı ve onun kuramını deneysel olarak elektromanyetik dalgalar oluşturarak doğruladı. Aralarında Guglielmo Marconi'nin de bulunduğu diğerlerine ve çok daha çağdaş keşifçiler grubuna elektromanyetik teknolojinin ikinci "dalga"sını geliştirmek kalmıştı: radyo, radar, televizyon, mikrodalga ve laser iletişimi.

İşte onun işleyiş biçimi. Dinlenme halinde bir elektron düşünün. Elektriksel yükü nedeniyle uzayın her tarafında var olan, elektronun yakınında daha güçlü uzaklaştıkça daha zayıf bir elektriksel alan var olur. Bir alan olduğunu nereden anlarız? Basit: herhangi bir yere artı bir yük yerleştirin elektrona yönelen bir kuvvet hissedecektir. Şimdi elektronu bir telde hızlanmaya zorlayın. İki şey ortaya çıkar. Elektrik

alanı değişir, hemen değil ama uzayda bizim onu ölçtüğümüz yere bilgi ulaştığı zaman. Ayrıca devinen bir yük, bir akım olduğu için bir manyetik alan yaratılır.

Şimdi elektrona (ve onun arkadaşlarının çoğuna) kuvvetler uygulayalım öyle ki telde düzenli bir biçimde aşağı yukarı dalgalansın. Elektrik ve manyetik alandaki *değişiklik* telden sınırlı bir hızla –ışık hızıyla– yayılır. Bu bir elektromanyetik dalgadır. Çoğunlukla tele anten, elektronu yöneten kuvvete bir radyo frekansı sinyali deriz. Böylece hangi mesajı taşırsa taşısın sinyal, antenden ışık hızıyla yayılır. Başka bir antene ulaşınca sinyal pek çok elektron bulacak onları aşağı yukarı zıplatarak yankılanıp video ve ses bilgisine dönüştürülebilecek bir dalgalı akım yaratacaktır.

Anıtsal katkısına karşın Maxwell anlık bir sansasyondan başka bir şey değildi. Maxwell'in çalışması için eleştirmenlerin ne dediğine bakalım:

• "Bir biçimde büyük bir görüş." – Sir Richard Glazebrook

• "Bir huzursuzluk duygusu hattâ çoğunlukla hayranlıkla karışmış bir güvensizlik..." – Henri Poincaré

• "Almanya'da hiç tutulmadı hattâ pek de farkedilmedi." – Max Planck

• "Onunla [ışığın elektromanyetik kuramıyla] ilgili tek bir şey söyleyebilirim. Kabul edilebilir bulmuyorum." – Lord Kelvin

Böyle eleştirilerle bir superstar olmak zordur. Maxwell'i bir efsane yapmak için bir deneyci gerekti ama onun zamanında değil çünkü çok değil on yıl sonra öldü.

HERTZ İMDADA YETİŞİYOR

(Şu hayli yan tutan tarih öğrencileri için) asıl kahraman on yıldan fazla süreye (1873-1888) yayılmış bir dizi deneyle Maxwell'in kuramındaki öngörüleri doğrulayan Heinrich Hertz'dir.

Dalgaların tepeler arasındaki uzaklık olan bir dalga boyu vardır.

Okyanusdaki su dalgalarının tepeleri arasında beş on metre olur. Ses dalga boyları birkaç santimetredir. Elektromanyetizm de dalgalarla ortaya çıkar. Çeşitli elektromanyetik dalgalar –kızılötesi, mikrodalga, X-ışınları, radyo dalgaları– arasındaki fark basitçe onların dalga boylarıdır. Görünür ışık –mavi, yeşil, turuncu kırmızı– elektromanyetik tayfın ortasındadır. Radyo dalgaları ve mikrodalgaların dalgaboyları daha uzundur. Morötesi, X-ışınları ve gamma dalgalarının boyu daha kısadır.

Bir yüksek voltaj bobini ve bir tarayıcı aygıt kullanarak Hertz elektromanyetik dalgalar üretmenin ve onların hızını ölçmenin bir yolunu buldu. Bu dalgaların ışık dalgaları gibi yansıma, kırılma ve polarizasyon özellikleri olduğunu ve odaklanabildiklerini gösterdi. Kötü eleştirilere karşın Maxwell haklıydı. Hertz, Maxwell'in kuramını hassas deneylerden geçirerek az sonra göreceğimiz "dört eşitlik sistemi"ne oturacak biçimde netleştirip basitleştirmişti.

Hertz'den sonra Maxwell'in fikirleri genel olarak benimsendi ve eski uzaktan etki problemi rahat bırakıldı. Alanlar biçimindeki kuvvetler sınırlı bir hızla, ışık hızıyla, uzayda yayılıyordu. Maxwell elektrik ve manyetik alanlarını desteklemek için bir ortama gereksinimi olduğunu duyumsadı ve bu yüzden Faraday-Boscovich'in içinde elektrik ve manyetik alanların titreştiği her yere yayılan ether kavramını benimsedi. Tıpkı Newton'un bir yana atılan etheri gibi bu etherin garip özellikleri vardı ve kısa sürede bir sonraki bilimsel devrimde vazgeçilmez bir rol aldı.

Faraday-Maxwell-Hertz zaferi indirgemecilik için başka bir dönüm noktası oldu. Artık üniversiteler elektrik için ayrı, mıknatıslık için ayrı ve ışık ya da optik için ayrı bir profesörü işe almayacaklardı. Bunların tümü birleştirilmişti ve şimdi tek bir kadroya gerek vardı (futbol takımı için daha çok para). Büyük bir görüngüler dizisi kuşatılmıştı: hem bilimin ürettiği şeyler hem de doğal olanlar – motorlar ve üreteçler, transformatörler ve tüm elektriksel güç endüstrisi gibi, güneş ve yıldız ışığı gibi, radyo ve radar ve mikrodalgalar ve kızılötesi ve morötesi ışık ve X-ışınları, gamma ışıkları ve laserler gibi. Tüm bunların yayılması çağdaş biçiminde serbest uzaydaki elektriğe uygulanması aşağıdaki biçimde yazılan Maxwell'in dört eşitliğiyle açıklanır:

$$c\nabla \times E = -\delta B/\delta t$$
$$c\nabla \times B = -\delta E/\delta t$$
$$\nabla \ B = 0$$
$$\nabla \ E = 0$$

Bu eşitliklerde E elektrik alanıdır, B manyetik alan ve c ışık hızı, laboratuar koşullarında ölçülebilen elektrik ve manyetik niceliklerin bir bileşimi yerinedir. Burada E ile B arasındaki simetriye dikkat edin. Anlaşılmaz karalamalara boş verin; bizim amaçlarımız için bu eşitliklerin nasıl çalıştığı önemli değil. Önemli olan bunun bilimsel çağrı olması: "Işık olsun!"

Dünya üzerindeki fizik ve mühendislik öğrencileri bu dört temiz eşitlikle dalga geçen T-şörtler giyiyorlar. Ancak Maxwell'in özgün eşitlikleri hiç de yukarıdakiler gibi değildi. Bu basit versiyonlar Hertz'in çalışmasıdır, kuramı yalnızca işleyiş içinde kavrayan alışılmış deneyciden fazla biri olan nadir bir örneğin. O, her iki alanda da istisnaydı. Faraday gibi, çalışmasının büyük pratik öneminin ayırdındaydı ama ilgilenmiyordu. Bunu Marconi ve Larry King gibi daha az bilimsel kafalara bıraktı. Hertz'in kuramsal çalışması büyük ölçüde Maxwell'i temize çıkarmak, onun kuramını indirgeyip popüler hale getirmekten ibaretti. Hertz'in çabaları olmasaydı fizik öğrencileri Maxwell'in çapraşık matematiğine uysun diye üç kat en büyük beden T-şörtleri taşıyabilmek için ağırlık çalışmak zorunda kalacaklardı.

Geleneğimize ve geçende bize bir anımsatma faksı çeken Democritus'a verdiğimiz söze sadık kalarak Maxwell'i (ya da onun mirasını) atomlar hakkında sorgulamak zorundayız. Kuşkusuz inanıyordu. Gazları bir atomlar topluluğu olarak ele alan çok başarılı bir kuramın da yazarıydı. Doğru olarak kimyasal atomların yalnızca minik katı cisimler olmadığına, karmaşık bir yapıları olduğuna inanıyordu. Bu inanç göreceğimiz gibi kuantum kuramının gelişmesinde önemli hale gelen optik tayf bilgisinden geliyordu. Maxwell yanlış olarak karmaşık atomların kesilemez olduğuna inanıyordu. 1875'de ne de güzel söylemişti: "Çağların akışı içinde felaketler ortaya çıktığı ve yine de çıkacağı halde, eski sistemler dağılıp onların haberlerinden yeni sistemler geliştiği halde bu sistemlerin [dünya, güneş sistemi, v.b.] inşa edildiği [atomlar] –maddî evrenin temel taşları– yıkılmamış ve bozulmamış olarak kalacaktır." Keşke "atomlar" yerine "quarklar ve leptonlar" terimini kullanmış olsaydı.

Maxwell üzerine nihai yargı yine Maxwell'in on dokuzuncu yüzyılın tek en önemli katkısını yaptığını söyleyen Einstein'dan geliyor.

MIKNATIS VE TOP

Öykümüzde bazı ayrıntıları gizledik. Alanların sabit bir hızda yayıldığını nereden biliyoruz? On dokuzuncu yüzyılın fizikçileri ışığın hızının ne olduğunu nasıl biliyorlardı? Ve ani uzaktan etkiyle gecikmiş yanıtın farkı neydi?

Bir futbol sahasının bir ucunda çok güçlü bir elektromıknatıs, öteki uçta da çok yüksek bir desteğe asılmış demirden bir top düşünün. Top uzaktaki mıknatısa doğru hafifçe sapar. Şimdi *çok çabuk olarak* elektromıknatıstaki akımı kestiğimizi varsayın. Topta ve telde yapılan kesin gözlemler top denge konumuna serbest bırakıldığında bir yanıt kaydederdi. Ama yanıt ani midir? Uzaktan etki yanlıları evet diyor. Mıknatısla top arasındaki bağlantı sıkıdır ve mıknatıs yok olunca top *ansızın* sıfır sapmaya doğru geri dönmeye başlar. Sınırlı hız yanlıları "Hayır!" diyor. "Mıknatıs kapandı gevşeyebilirsin" bilgisi saha boyunca belli hızda ilerler bu yüzden de topun yanıtı gecikir.

Bugün yanıtı biliyoruz. Top beklemek zorundadır, çok fazla değil çünkü bilgi ışık hızıyla yol alır ama ölçülebilir bir gecikme vardır. Ama Maxwell'in zamanında bu sorun şiddetli bir çatışmanın merkezindeydi. Bıçağın sırtındaki alan kavramının geçerliliğiydi. Neden bilimciler sadece bir deney yapıp konuyu halletmediler? Çünkü ışık o kadar hızlı ki futbol sahasını geçmesi saniyenin milyonda biri kadar sürer. 1800'lerde bu ölçmesi zor bir gecikmeydi. Bugün bin kez daha kısa zaman aralıklarını ölçmek basittir bu yüzden elektromanyetik olayların sınırlı yayılımı kolayca ölçülür. Örneğin aydaki yeni bir yansıtıcıya dünyayla ay arasındaki uzaklığı ölçmek için bir laser sinyali çarptırdık. Yolculuk yaklaşık 1.0 saniye sürdü.

Daha büyük ölçekte bir örnek: 23 Şubat 1987'de Greenwich saat ayarına göre tam 7:36'da güney göğünde bir yıldızın patladığı gözlemlendi. Bu supernova olayı Büyük Magellan Bulutunda, 160.000 ışık yılı uzakta yer alan bir yıldızlar ve toz kümesinde gerçekleşti. Başka bir deyişle supernovadan elektromanyetik bilginin dünya gezegenine, ulaşması 160.000 yıl sürdü. Ve de supernova 87A

oldukça yakın bir komşudur. Gözlemlenen en uzak nesne yaklaşık 8 milyar ışık-yılı yaşındadır. Işığı teleskopumuza doğru Başlangıç yakınlarında yola çıkmıştı.

Işığın hızı ilk kez bir dünya laboratuarında Armand-Hippolyte-Louis Fizeau tarafından 1849'da ölçüldü. Osiloskopların ve kristal kontrollü saatlerin yokluğunda aynalar (ışık yolunun uzunluğunu arttırmak için) ve hızla dönen bir dişli çarkın dahice bir düzenlemesinden yararlandı. Eğer çarkın dönme hızını ve çarkın çapını bilirsek dişlinin bir çentiğinin yerine bir diş gelmesi için gerekli zamanı hesaplayabiliriz. Dönme hızını öyle ayarlayabiliriz ki bu süre tam da bir ışık ışınının çentikten uzak bir aynaya oradan geriye çentiğe sonra da çentikten M.Fizeau'nun göz küresine ulaşması için gerekli zamana denk olsun. *Mon dieu! Onu görüyorum!* Şimdi giderek çarkın hızını ışık kesilene kadar arttıralım (süreyi kısaltalım). İşte. Şimdi ışının aldığı yolu –ışık kaynağından çentiğin içinden aynaya ve geriye çarkın dişine– biliyoruz ve bunun aldığı zamanı da biliyoruz. Bu düzenlemeyle oynamak Fizeau'ya ünlü saniyede 300 milyon ($3x10^8$) metre ya da saniyede 186 000 mil sayısını verdi.

Bu elektromanyetik Rönesans döneminde tüm bu adamların felsefi derinliğine sürekli şaşırmışımdır. Oersted (Newton'un tersine) doğanın tüm kuvvetlerinin (o sırada: yerçekimi, elektrik ve mıknatıslık) tek bir esas kuvvetin farklı görünümleri olduğuna inanıyordu. Bu çoook çağdaş! Faraday'ın elektrik ve mıknatıslığın simetrisini ortaya koyma çabaları Yunanlı basitlik ve tekleştirme mirasını, Fermilab'da 1990'lardaki 137 amaçtan ikisini canlandırdı.

EVE DÖNELİM Mİ?

Bu son iki bölümde Galileo'dan Hertz'e Klasik fiziğin üç yüz yıldan fazlasını kapsadık. Bazı iyi insanları atladım. Örneğin Hollanda'lı Christian Huygens ışık ve dalgaları hakkında bize epeyce şey söylemişti. Fransız René Descartes, analitik geometrinin kurucusu, atomculuğun önde gelen avukatlarından biriydi ve madde ve kozmoloji üzerine kapsamlı kuramları yaratıcı ama başarısızdı.

Klasik fiziğe alışılmadık bir bakış açısından, Democritus'un a-

tomunun araştırılmasından baktık. Genellikle klasik dönem, kuvvetlerin, yerçekimi ve elektromanyetizmin, sınanması olarak görülür. Gördüğümüz gibi yerçekimi kütleler arasındaki çekimden türer. Elektrikte Faraday faklı bir görüngüyü farketti; madde burada konu dışıdır dedi. Kuvvet alanlarına bakalım. Kuşkusuz elimizde bir kez bir kuvvet varsa sonuçta devinimi bulmak için hâlâ Newton'un ikinci yasasını ($F = ma$) çağırıyorsunuzdur ve burada âtıl madde gerçekten önemlidir. Faraday'ın madde önemsiz yaklaşımı Boscovich' in, atomculuğun bir öncüsünün sezgisinden türemişti. Ve kuşkusuz Faraday "elektrik atomları" için ilk ipuçlarını sağladı. Belki insanın bilim tarihine bu biçimde, bir kavramın, nihai parçacığın araştırılması olarak bakması beklenmez. Yine de o orada, fiziğin pek çok kahramanının entelektüel yaşamının yüzeyi altındaydı.

1890'ların sonuna doğru fizikçiler her şeyi artık tamamladıklarını düşündüler. Tüm elektrik, tüm mıknatıslık, tüm ışık, tüm mekanik, tüm devinen şeyler ve de kozmoloji ve yerçekimi – tümü birkaç basit eşitlikle anlaşılmıştı. Atomlara gelince çoğu kimyacı konunun epeyce kapandığını duyumsuyordu. Elementlerin periodik tablosu vardı. Hidrojen, helyum, karbon, oksijen ve arkadaşları bölünmez elementlerdi, her birinin kendi görünmez, bölünmez atomu vardı.

Tabloda bazı gizemli çatlaklar vardı. Örneğin güneş şaşırtıcıydı. Kimyada ve atom kuramında o zamanki geçerli inançları kullanarak İngiliz bilimci Lord Rayleigh güneşin tüm yakıtını 30.000 yılda bitirmiş olması gerektiğini hesapladı. Bilimciler güneşin bundan epeyce yaşlı olduğunu biliyorlardı. Şu eter meselesi de sorunluydu. Gerçekten mekanik özellikleri garip olsa gerekti. Tümüyle saydam olsa gerekti, maddenin atomlarının arasından onları rahatsız etmeden geçebilmeliydi yine de ışığın kocaman hızını taşıyabilmek için çelik gibi sağlam olmalıydı. Yine bu ve diğer gizlerin zaman içinde çözüleceği umuluyordu. 1890'da ders veriyor olsaydım fizik öğrencilerimi daha ilginç bir konu bulmalarını salık vererek evlerine gönderirdim. Tüm büyük sorular yanıtlanmıştı. İyi anlaşılmamış konular –güneş enerjisi, radyoaktivite ve bir sürü başka bilmece– için herkes önünde sonunda onların Newton-Maxwell'in kuramsal inancının gücüne teslim olacağına inanıyordu. Fizik bir kutuya konup güzelce paketlenmiş üstüne de bir fiyonk konmuştu.

Sonra yüzyılın sonunda, ansızın tüm paket dağılmaya başladı. Suçlu her zamanki gibi deneysel bilimdi.

İLK GERÇEK PARÇACIK

On dokuzuncu yüzyıl boyunca fizikçiler basıncı düşürülmüş gaz dolu tüplerde üretilen elektrik deşarjlarına âşık oldular. Bir cam üfleyici bir metre uzunluğunda zarif bir cam tüp biçimlendirirdi. Tübe metal elektrotlar gömülürdü. Deneyci tübün havasını boşaltır sonra da içine düşük basınçla istediği gazı (hidrojen, hava, karbondioksit) sızdırırdı. Her elektrottan gelen teller bir dış pile bağlanırdı. Büyük elektrik voltajları uygulanırdı. Sonra karanlık bir odada deneyciler basınç azaldıkça biçimi, büyüklüğü değişen muhteşem bir ışıltı ortaya çıkınca kendilerinden geçerlerdi. Bir neon levha görmüş herkes o ışıltıyı bilir. Yeterince düşük basınçta ışıltı katoddan, eksi elektroddan, anoda doğru yol alan bir ışına dönüşürdü. Şimdi oldukça karmaşık olduğunu bildiğimiz bu görüngüler tüm Avrupa'da bir kuşak fizikçiyi ve ilgili sıradan insanları hayran bıraktı.

Bilimciler bu katod ışınlarının ayrıntıları hakkında çelişkili hattâ birbirine zıt pek az şey biliyorlardı. Negatif bir yük taşıyorlardı. Düz doğrular halinde yol alıyorlardı. Camın içine yerleştirilmiş minik bir çarkı döndürebiliyorlardı. Elektrik alanları onları *saptırmıyordu.* Elektrik alanları onları *saptırıyordu.* Bir manyetik alan ince bir katod ışını demetini dairesel bir yay biçiminde eğiyordu. Kalın metaller ışını durduruyordu ama ince metal levhalardan geçebiliyorlardı.

İlginç olgular ama kritik gizem aynen duruyordu: bu ışınlar neydi? On dokuzuncu yüzyılın sonunda iki tahmin vardı. Bazı araştırıcılar katod ışınlarının ether içindeki kütlesiz elektromanyetik titreşimler olduğuna inanıyordu. Fena bir tahmin değil. Her şey bir yana ışık ışını, bir başka tür elektromanyetik titreşim, gibi parıldıyorlardı. Ve elektromanyetizmin bir biçimi olan elektriğin ışınla bir ilişkisi vardı.

Öteki kamp ışınların maddenin bir biçimi olduğunu düşünüyordu. İyi bir tahmin onların tübün içinde elektrikten yük toplamış gaz molekülleri olduğuydu. Bir başka tahmin katod ışınlarının yeni bir madde biçimi, daha önce hiç ayrıştırılmamış küçük parçacıklardan

oluştuğuydu. Bir çok nedenle fikir "havada" elektrik yükü için temel bir taşıyıcı bulunduğuydu. Hadi baklayı ağzımızdan çıkaralım. Katod ışınları elektromanyetik titreşimler değildi gaz molekülleri de değildi.

Eğer Faraday 1800'lerin sonlarında sağ olsaydı ne derdi? Faraday'ın yasaları "elektrik atomları"nın varlığını güçlü bir biçimde ima ediyordu. Anımsayacağınız gibi o benzer bazı deneyler yapmıştı; yalnız elektriği gazların içinden değil sıvıların içinden geçirmiş, sonunda iyonlara, yüklü atomlara ulaşmıştı. Daha 1847'de George Johnstone Stoney, Irlanda'lı bir fizikçi, bir atom bir iyon haline gelirken kaybolan elektrik birimine "elektron" terimini vermişti. Faraday bir katod ışınına tanık olsaydı belki de elektronları çalışırken gördüğünü yüreğinden bilirdi.

Bazı bilimciler katod ışınlarının parçacıklar olduğundan güçlü biçimde kuşkulanmış olabilirler belki bazıları sonunda elektronu bulduğunu düşünmüştür. Nasıl anlarsınız? Nasıl kanıtlarsınız? 1895'den önceki yoğun dönemde İngiltere, İskoçya, Almanya ve A.B.D.de çoğu ünlü araştırmacı gazsal deşarjları inceliyorlardı. Cevhere rastlayan biri J.J. Thomson adında bir İngilizdi. Epeyce yaklaşan başkaları da vardı. Sadece bilimsel yaşamın nasıl da kalp kırıcı olduğunu göstermek için iki tanesine ve yaptıklarına bir göz atacağız.

Thomson'un çok yakınına isabet ettiren adam Emil Weichert, tekniğini 1887 Ocak'ında bir konferans dinleyicilerine sergileyen Prusyalı bir fizikçiydi. Cam tübü kırk santim kadar boyda ve yedi buçuk santim çapındaydı. Aydınlatıcı katod ışınları kısmen karartılmış bir odada kolayca görünüyordu.

Eğer bir parçacığı yakalamak istiyorsanız onun yükünü *(e)* ve kütlesini *(m)* tanımlamalısınız. O zaman parçacık tartılamayacak kadar küçüktü. Bu sorunun üstesinden gelmek için çoğu araştırmacı bağımsız olarak zekice bir tekniğe sarıldılar: ışını bilinen elektrik ve manyetik kuvvetlere maruz bırakın ve yanıtını ölçün. $F = ma$'yı anımsayın. Eğer gerçekten ışınlar elektriksel olarak yüklü parçacıklardan oluşmuşsa parçacıkların uyguladığı kuvvet taşıdıkları yük *(e)* niceliğine göre değişecektir. Yanıt âtıl kütlelerince *(m)* susturulacaktır. Bu nedenle ne yazık ki ölçülebilen etki bu iki niceliğin katsayısıdır, *e/m* oranıdır. Başka bir deyişle araştırmacılar *e* ya da *m* için ayrı ayrı

değerler bulamadılar yalnızca bir değerin ötekine bölümüne eşit bir sayı buldular. Basit bir örneğe bakalım. Size 21 sayısı verilsin ve densin ki bu iki sayının oranıdır. 21 yalnızca bir ipucudur. Aradığımız iki sayı 21 ve 1, 63 ve 3, 7 ve 1/3, 210 ve 10 olabilir, sonsuza dek. Ama bir sayının ne olduğuna ilişkin bir işaretiniz varsa ikinciyi çıkarabilirsiniz.

e/m'nin peşinden gidelim. Weichert tübünü ışını bir yay biçiminde eğen bir mıknatıs aralığına yerleştirdi. Mıknatıs parçacıkların elektrik yükünü ittirir; parçacıklar ne denli yavaşsa mıknatıs için onları bir daire yayı biçiminde eğmesi o denli kolay olur. Bir kez hızı hesaplayınca parçacıkların mıknatıs tarafından saptırılması ona *e/m* için yaklaşık bir değer verdi.

Weichert elektrik yükünün değeri hakkında bilinçli bir tahmin yaparsa parçacığın yaklaşık kütlesini bulabileceğini kavradı. Şu sonuca vardı: "Kimyadan bilinen atomlarla uğraşmıyoruz çünkü bu devinen [katod ışını] parçacıkların kütlesinin bilinen en hafif kimyasal atomdan, hidrojen atomundan, 2000 ila 4000 kez hafif olduğu ortaya çıktı." Weichert neredeyse on ikiden vurmuştu. Yeni tür bir parçacığa bakmakta olduğunu biliyordu. Kütlenin dibine kadar gelmişti (Elektronun kütlesinin hidrojenden 1837 kez küçük olduğu ortaya çıktı.) O halde neden Thomson ünlüdür de Weichert bir dipnottur? Çünkü o basitçe elektrik yükü değerini varsaymıştı (tahmin etmişti); hiçbir kanıtı yoktu. Weichert ayrıca bir iş değişikliği ve jeofizik üzerine rekabete girici bir ilgiyle dikkatini dağıtmıştı. Doğru sonuca varan ama verilerin hepsini elde etmeyen bir bilimciydi. Puro yok Emil!

İpi göğüsleyemeyen ikinci koşucu Berlin'de Walter Kaufmann'dı. Bitiş çizgisine 1897 Nisanında ulaştı ve onun hatâsı Weichert'inkinin tersiydi. Onun payına düşen iyi veriler kötü düşünceydi. Manyetik ve elektrik alanları kullanarak o da *e/m*'yi türetti ama deneyi bir adım ileri götürdü. Basınç ve tüpte kullanılan gaza –hava, hidrojen, karbondioksid– göre *e/m*'nin nasıl değişeceğiyle özel olarak ilgilendi. Weichert'in tersine Kaufmann katod ışını parçacıklarının basitçe gazın yüklü atomları olduğunu bu yüzden kullanılan her gaz için farklı bir değeri olması gerektiğini düşündü. Sürpriz! *e/m*'nin değişmediğini keşfetti. Hangi gazı hangi basıncı kullanırsa kullansın aynı sayıyı elde etti. Kaufmann apışıp kaldı ve treni kaçırdı. Çok kötü çünkü deneyleri

çok inceydi. *e/m* için şampiyon J.J.'den daha iyi bir değer elde etmişti. Verilerinin ona haykırdığı şeyi atlamış olması bilimin zalim bir cilvesidir: senin parçacıkların yeni bir madde biçimi, dummkopf![1] Ve onlar tüm atomların evrensel bileşenleri; *e/m*'nin değişmemesi bundan.

Joseph John Thomson (1856-1940) matematiksel fizikle işe başladı ve 1884'de ünlü Cambridge Üniversitesinin Cavendish Laboratuarına deneysel fizik profesörü olarak atanınca şaşırdı. Gerçekten bir deneyci olarak istenip istenmediğini bilmek hoş olacaktı. Deney aygıtları konusunda sakarlığıyla ünlüydü ama onun elini oynayacak ve onu kırılabilen camlardan uzak tutacak mükemmel asistanları vardı.

1896'da Thomson katod ışınlarının doğasını anlamak için işe koyuldu. Kırk santimlik cam tübünün bir ucundan katod gizemli ışınlarını yayıyordu. Bunlar ışınların (elektronlar diye okunur) bazılarının geçmesine izin veren bir deliği olan bir anoda yönelmişti. Böylece oluşan dar ışın tübün ucuna gidiyor ve orada küçük yeşil bir nokta oluşturduğu floresan bir ekrana çarpıyordu. Thomson'un ikinci sürprizi cam tübe onbeş santimlik bir çift levha yerleştirilmesiyle ortaya çıktı. Katod ışını Thomson'un katod ışınına dikey bir elektrik alanı oluşturmak için bir pile bağladığı bu plakların arasından geçiyordu. Burası sapma bölgesiydi.

Eğer ışın alana yanıt olarak sapıyorsa bu elektrik yükü taşıdığı anlamına gelir. öte yandan eğer katod ışınları fotonlarsa –ışık parçacıkları– saptırma plakalarına aldırmayıp doğru bir çizgide yollarına devam etmeleri gerekir. Thomson, güçlü bir pil kullanarak üst plak eksi olduğunda fluoresan ekrandaki noktanın aşağı, plak artı olduğunda yukarı devindiğini gördü. Böylece ışınların yüklü olduklarını kanıtladı. Bu arada eğer saptırma plaklara alternatif akım taşıyorsa (hızla artı-eksi-artı-eksi değişen) yeşil nokta yukarı aşağı hızla oynayacak ve yeşil bir çizgi yaratacaktı. Bu bir TV tübü yapmanın ve Dan Rather'ı CBS gece haberlerinde izlemenin ilk adımıdır.

Ama tarih 1896'ydı ve Thomson'un kafasında başka şeyler vardı. Kuvvet (elektrik alanının gücü) bilindiği için basit Newtoncu mekanik

---

[1] *[salak. –çev]*

kullanarak *eğer* insan katod ışınlarının hızını hesaplarsa noktanın ne kadar hareket edeceğini hesaplamak kolaydır. Şimdi Thomson bir hile yaptı. Tübün etrafına öyle bir yönde bir manyetik alan yerleştirdi ki manyetik sapma elektriksel sapmayı tümüyle iptal etsin. Bu manyetik kuvvet bilinmeyen hıza bağlı olduğundan hızın değerini elde etmek için yalnızca elektrik alanının ve manyetik alanın gücünü okuması gerekiyordu. Belirlenmiş hızla şimdi elektrik alanları içindeki ışının sapmasını sınamaya geri dönebilirdi. Ortaya çıkan *e/m*, bir katod ışını parçacığı üzerindeki elektrik yükünün kütlesine oranının kesin bir değeriydi.

Thomson titizlikle alanlar uyguladı, sapmaları ölçtü, sapmaları giderdi, alanları ölçtü ve *e/m* için sayılar elde etti. Kaufmann gibi katod malzemesini değiştirerek –alüminyum, platin, bakır, teneke– ve deneyi yineleyerek çift kontrol uyguladı. Tümü aynı sayıyı verdi. Tüpteki gazı değiştirdi: hava, hidrojen, karbondioksit. Aynı sonuç. Thomson Kaufmann'ın hatasını yinelemedi. Katod ışınlarının yüklenmiş gaz molekülleri olmadığı ama tüm maddenin bir parçası olması gereken temel parçacıklar olduğu sonucuna vardı.

Yeterince kanıt elde ettiği konusunda tatmin olmaksızın enerjinin korunması fikrini kullanarak yola koyuldu. Katod ışınlarını bir metal blokta hapsetti. Enerjileri biliniyordu; o basit olarak parçacıklara pilin voltajından verilen elektrik enerjisiydi. Katod ışınlarının doğurduğu ısıyı ölçtü ve varsayımsal elektronlarca metal blokta üretilen ısı için gerekli enerjiyle ilişkili olarak *e/m* oranının ortaya çıktığını saptadı. Uzun bir deneyler dizisinde Thomson *e/m* için ilk sonucundan çok da farklı olmayan bir değer elde etti (kilogram başına 2.0×10^{11} coulomb). 1897'de sonuçları bildirdi. "Katod ışınlarında yeni bir durumda maddeye sahibiz, bu durumda maddenin alt bölümü olağan gazsal durumdan çok daha uzağa taşınır." Bu "maddenin alt bölümü" her maddede bulunan bir elemandı ve "kimyasal elementlerin inşa edildiği cevher" kesimiydi.

Bu yeni parçacığa ne denecekti? Stoney'in terimi "elektron" el altındaydı, bu nedenle elektron oldu. Thomson katod ışınlarının parçacıksal özellikleri üzerine 1897 Nisanı'ndan Ağustos'una kadar konferanslar verdi ve yazılar yadı. Buna, sonuçları pazarlamanız denir.

Hâlâ çözülmesi gereken bir bilmece vardı: *e* ve *m*'nin ayrı ayrı değerleri. Bu yeni parçacığın *e/m*'sinin tüm kimyasal atomların en hafifininkinden, hidrojeninkinden, bin kat fazla olduğunu saptayarak ya elektronun *e*'sinin çok daha büyük ya da *m*'sinin çok daha küçük olduğunu anladı. Hangisi olacaktı: büyük *e* mi, yoksa küçük *m* mi? Sezgisel olarak küçük *m* ile devam etti – cesur bir seçim çünkü bu yeni parçacığın minik hidrojenden çok çok küçük bir kütlesi olduğunu tahmin ediyordu. Çoğu fizikçi ve kimyacının hâlâ kimyasal atomun bölünmez a-tom olduğunu düşündüğünü anımsayın. Thomson şimdi tübündeki parıltının evrensel bir parçanın, tüm kimyasal atomların daha küçük bir parçasının kanıtı olduğunu söylüyordu.

1898'de Thomson katod ışınlarının elektrik yükünü, böylece dolaylı olarak kütleyi de, ölçmeye devam etti. Yeni bir teknik kullandı, İskoç öğrenci C.T.R.Wilson'ın İskoçya'da hiç de nadir bir matah olmayan yağmurun özelliklerini incelemek için icat ettiği bulut odasını kullandı. Su buharının damlalar oluşturmak üzere tozun üzerinde yoğunlaşmasıyla yağmur oluşur. Hava temizken elektriksel olarak yüklü iyonlar toz yerine geçer ve bu da bulut odasında olan şeydir. Thomson elektrometrik bir teknik kullanarak odadaki toplam yükü ölçtü ve her damladaki yükü damlaları sayıp toplamı ona bölerek buldu.

Ph.D. tezimin bir parçası olarak bir Watson bulut odası inşa etmek zorunda kaldım ve o zamandan beri teknikten de, Wilson'dan da, ve bu aksi, katır gibi aygıtla ilgisi olan herkesten de nefret ettim. Thomson'un *e*'nin doğru değerini ve böylece elektronun kütlesinin ölçümünü elde etmesi harikadır. Bu kadar da değil. Bu parçacığın ayrıntılarını araştırma sürecinin tümü boyunca Thomson'un adanmışlığı değişmemeliydi. Elektrik alanını nasıl bildi? Pilin etiketini mi okudu? Etiket yok. Hızı ölçmek için manyetik alanının kesin değerini nasıl biliyordu? Akımı nasıl ölçtü? Bir kadranda bir ibreyi okumanın sorunları vardır. İbre biraz kalındır. Titreşip sallanabilir. Kadran nasıl ayarlanır? Anlamlı mıdır? 1897'de kesin standartlar nesneleri kataloglamamıştı. Voltajları, akımları, ısıları, basınçları, uzaklıkları, zaman aralıklarını ölçmek devasa problemlerdi. Her biri pilin, mıknatısların, metrelerin işleyişi konusunda ayrıntılı bilgi gerektiriyordu.

Sonra politik problemler vardı: ön planda deneyi yapmanız için

size kaynak sağlayacak güçler nasıl ikna edilir. Patron olarak Thomson gerçekten yardım almıştı. Ve en hayati problemi sona sakladım: yapılacak deneye nasıl karar verilir. Thomson'un yeteneği, politik yöntemleri, dayanıklılığı, başkalarının beceremediği yerde başarısı vardı. 1898'de elektronların atomun bileşenleri olduğunu ve katod ışınlarının da atomdan ayrılmış elektronlar olduğunu ilan etti. Bilimciler kimyasal atomun yapısız ve bölünmez olduğunu düşünmüşlerdi. Thomson onu parçalamıştı.

Atom ayrışmıştı ve şimdi elimizde ilk öğesel parçacık, ilk atomumuz vardı. Şu kıkırdamayı duyuyor musunuz?

•.5.•

ÇIPLAK ATOM

Burada birşeyler oluyor.
Ne olduğu çok belirsiz

– Buffalo Springfield

1999 yılbaşında dünyanın çoğu yüzyılın son havai fişek gösterisine hazırlanırken Palo Alto'dan Novosibirsk'e Cape Town'dan Reykjavik'e fizikçiler hemen hemen iki yıl önce (1998'de) elektronun –ilk gerçek öğesel parçacığın– keşfinin yüzüncü yıldönümü kutlamalarında bitkin düştükleri için dinleniyor olacaklar. Fizikçiler kutlamaları severler. Ne kadar karanlık olursa olsun her parçacığın doğum gününü kutlayacaklardır. Ama elektron, hey! Caddelerde dans ediyor olacaklar.

Keşfinden sonra bir çok kez doğum yerinde Cambridge Üniversitesi Cavendish Laboratuarında elektronun sağlığına kadeh kaldırıldı: "Elektronun şerefine sonsuza kadar yararsız kalması dileğiyle."

Zayıf olasılık. Bugün yüzyıldan az süre sonra tüm teknolojik üst yapımız bu küçük arkadaşın üzerinde duruyor.

Elektron hemen hemen doğduğu andan itibaren problem yaratmaya başlamıştı. Bugün bile bizi şaşırtır. Elektron bir eksenin çevresinde hızla dönüp bir manyetik alan yaratan bir elektrik yükü küresi olarak "görüntülenir" J.J.Thomson elektronun yükünü ve kütlesini ölçmek için büyük çaba harcamıştı ama şimdi her iki nicelik de yüksek derecede kesinlikle bilinmektedir.

Şimdi tekinsiz özellikler. Atomun garip dünyasında elektronun çapı genellikle sıfır kabul edilir. Bu bazı problemlere yol açar.

• Eğer çap sıfırsa dönen nedir?

• Nasıl olur da bir kütlesi olur?

• Yük nerededir?

• Bir kere çapın sıfır olduğunu nasıl biliyoruz?

• Paramı geri alabilir miyim?

Burada Boscovich problemiyle karşı karşıyayız. Boscovich çarpışan "atomlar" problemini, onları noktalar, boyutu olmayan şeyler yaparak çözmüştü. Onun noktaları sözcüğü sözcüğüne matematikçilerin noktalarıydı ama o bu nokta parçacıkların geleneksel özellikler taşımasına izin vermişti: kütle ve bizim yük dediğimiz bir şey, bir kuvvet alanının kaynağı. Boscovich'in noktaları kuramsaldı, varsayımsaldı. Ama elektron gerçektir. Olasılıkla bir nokta parçacık ama tüm öteki özellikleri sağlam. Kütle, evet. Yük, evet. Dönme, evet. Çap, hayır.

Lewis Carrol'un Cheshire Kedisini düşünün. Cheshire Kedisi giderek kaybolur ta ki geriye sadece gülümsemesi kalana dek. Kedi yok, yalnızca gülümseme. Dönmekte olan bir yük kütlesinin çapının kaybolana dek büzüştüğünü düşünün, geriye dönüşü, yükü, kütlesi ve gülümsemesi kalsın.

Bu bölüm kuantum kuramının doğuşu ve gelişmesi hakkında. O, atomun içinde ne olup bittiğinin öyküsü. Elektronla başlıyorum çünkü dönüşü ve kütlesi olan ama çapsız bir parçacık biz insanlar için sezgi karşıtıdır. Böyle bir şey üzerine düşünmek bir tür zihinsel şnav çekmektir. Beyni biraz zedeleyebilir çünkü pek de kullanılmamış bazı gizli beyin kaslarını kullanmak zorunda kalırsınız.

Hâlâ nokta kütleli, nokta yüklü ve nokta dönüşlü elektron fikri kavramsal sorunlar yaratır. Tanrı Parçacığı bu yapısal güçlükle derinlemesine bir bağ içindedir. Kütlenin derin bir kavranışı hâlâ bizden kaçmaktadır; 1930'ların ve 1940'ların elektronu da bu zorlukların müjdecisiydi. Elektronun büyüklüğünü ölçmek Çarşamba pazarına

döndü, New Jersey'den Lahor'a kadar bol bol Ph.D. yarattı. Yıllar boyunca giderek duyarlılaşan deneyler daha daha küçük sayılar verdiler; tümünde çap sabit ve sıfırdı. Sanki Tanrı elektronu avucuna almış elinden geldiğince küçültmek için sıkmıştı. 1970'lerde ve 80'lerde inşa edilen büyük hızlandırıcılarla ölçüm daha da kesin hale geldi. 1990'da çap 0,000000000000000001 inçten ya da bilimsel olarak 10^{-18} santimetreden *daha küçük* olarak ölçüldü. Bu fiziğin sağlayabileceği en iyi "sıfır"dı şimdilik. Eğer bir sıfır daha eklemek için iyi bir deneysel fikrim olsaydı her şeyi bir yana bırakır onunla uğraşırdım.

Elektronun bir başka ilginç özelliği g-faktörü diye bir sayıyla tanımlanan mıknatıslığıdır. Kuantum kuramını kullanarak elektronun g-faktörü

2 x (1.001159652190)

olarak hesaplanır. Ama ne hesaplar! Bu sayıyı bulmak yetenekli kimyacıların yıllarını ve etkileyici miktarda superbilgisayar zamanını almıştır. Ama bu kuramdı. Doğrulamak için deneyciler g-faktörünü eşdeğer bir kesinlikle ölçmek için incelikli yöntemler geliştirdiler. Washington Üniversitesinden Hans Dehmelt'in sağladığı sonuç:

2 x (1.001159652193)

görebildiğiniz gibi neredeyse on iki basamakta doğrulamamız var. Bu, kuramla deneyin harika bir uzlaşmasıdır. Buradaki nokta g-faktörünün hesaplanmasının kuantum kuramının bir uzantısıdır ve kuantum kuramının önünde Heisenberg'in kesinsizlik ilkesi yer alır. 1927'de bir Alman fizikçi çarpıcı bir fikir önerdi: bir parçacığın *hem* hızını *hem de* konumunu keyfi bir kesinlikle ölçmenin olanaksız olduğunu. Bu olanaksızlık deneycinin zekası ve bütçesinden bağımsızdır. Doğanın temel bir yasasıdır.

Ve şimdi kesinsizlik, kuantum kuramının dokusuna girdiği halde yukarıdaki virgülden sonra on birinci basamağa dek doğru olan g-

faktörü gibi tahminlerimizi çalkalar. Kuantum kuramı görünüşe göre yirminci yüzyılın biliminin çiçek açtığı temel taşını oluşturan bilimsel bir devrimdir... ve kesinsizliğin itirafıyla başlamıştır.

Kuantum nasıl ortaya çıktı? İyi bir dedektif öyküsüdür ve her gizde olduğu gibi bazı ipuçları vardır – bazıları doğru, bazıları yanlış. Her tarafta dedektifleri şaşırtmak için uşaklar vardır. Kent polisleri, devlet polisi, FBI çarpışır, tartışır, işbirliği yapar, ayrı düşer. Pek çok kahraman vardır. Darbeler ve karşı darbeler. Çok kısmi bir görüntü vereceğim ve devrimciler kurama "bitirici" fırça darbelerini vurana kadar fikirlerin evriminin bir izlenimini vermeyi umacağım. Ama söylemedi demeyin! Mikrodünya sezgi karşıtıdır: nokta kütleler, nokta yükler ve nokta dönüşler atom dünyasında parçacıkların deneysel olarak birbiriyle uyumlu özelliklerdir ama normal makroskopik dünyamızda görebileceğimiz nicelikler değildir. Bu bölüm boyunca arkadaşlığımız devam edecekse makro yaratıklarla olan dar yaşantımızdan türemiş güçlükleri ayırt etmeyi öğrenmek zorundayız. Bu nedenle normali unutun; şok bekleyin, inançsızlık. Niels Bohr, kuruculardan biri der ki kuantum kuramıyla şoka girmeyen kimse onu anlayamaz. Richard Feynmann kuantum kuramını hiç kimsenin anlamadığını öne sürer. (Öğrencilerim "o zaman bizden ne istiyorsunuz?" diyor.) Einstein, Shrödinger ve öteki iyi bilimciler kuramın uslamlamalarını asla benimsemezler yine de 1990'larda kuantum tekinsizliğinin öğeleri evrenin kökeninin anlaşılması için hayati sayılmaktadır.

Araştırmacıların atomun yeni dünyasına yanlarında götürdükleri entelektüel silah deposunda Newtoncu mekanik ve Maxwell'in eşitlikleri de vardı. Tüm makroskopik görüngüler bu güçlü sentezlere maruz kalıyor gibiydi. Ama 1890'ların deneyleri kuramcılar için sorun olmaya başlamıştı. Elektronun keşfine yönelten katod ışınlarını tartışmıştık. 1895'de Wilhelm Roentgen X-ışınlarını keşfetti. 1896'da Antoine Becquerel bir çekmecedeki uranyum parçalarının yanına fotograf plakaları koyunca kaza ile radyoaktiviteyi keşfetti. Radyoaktivite hemen *yarılanma ömrü* diye bir kavrama yol açtı. Radyoaktif maddeler, ortalaması ölçülebilen tipik sürelerde bozuluyorlardı ama belli bir atomun bozulması tahmin edilemiyordu. Bu ne anlama gelir? Hiç kimse bilmiyordu. Aslında tüm bu görüngüler klasik araçlarla açıklamaya karşı koyuyordu.

GÖKKUŞAĞI YETERSİZ OLUNCA

Fizikçiler ışığa ve onun özelliklerine de daha yakından bakmaya başlıyorlardı. Newton bir cam prizma kullanıp beyaz ışığı bir uçta kırmızı öbür uçta mor olacak ve renkler yumuşakça birinden ötekine geçecek biçimde tayf öğelerine ayırarak gökkuşağını kopyalayabileceğini göstermişti. 1815'de becerikli bir zanaatkar, Joseph von Fraunhofer prizmadan yayılan renkleri gözlemlemek için kullanılan optik sistemi büyük ölçüde incelikli bir hale getirdi. Şimdi insan küçük bir teleskopa gözünü dayayınca yayılmış renkler mükemmel bir netlikte görünüyordu. Bu aygıtla –bingo!– Fraunhofer bir keşif yapmıştı. Güneşin tayfının harika renkleri görünüşe göre düzensiz olarak yerleşmiş bir dizi ince karanlık çizgiyle ayrılmıştı. Fraunhofer giderek bu çizgilerden 576 tane kaydetti. Bunlar ne anlama geliyordu? Fraunhofer'in zamanında ışık bir dalga görüngüsü olarak biliniyordu. Daha sonra James Clerk Maxwell ışık dalgalarının elektrik ve manyetik alanlar olduğunu ve renkleri belirleyen çok önemli bir parametrenin dalga tepeleri arasındaki uzaklık, dalgaboyu, olduğunu görecekti.

Dalgaboylarını bilerek renkler bandına sayısal bir skala atayabiliriz. Görünen ışık 8.000 angstrom biriminde (0.00008 cm) koyu kırmızıdan yaklaşık 4.000 angstrom biriminde koyu mora kadar uzanır. Böyle bir skalayı kullanarak Fraunhofer her ince karanlık çizginin yerini kesin olarak saptayabildi. Örneğin H_α ya da "he altı alfa" diye bilinen ünlü bir çizgi (he altı alfayı beğenmediyseniz ona Irving deyin) yeşilin içinde tayfın ortasına yakın bir yerde 6562.8 angstrom birimi dalgaboyundadır.

Bu çizgilere neden aldırış ediyoruz? Çünkü 1859'da Alman fizikçi Gustav Kirchhoff bir ilişki bulmuştu. Bu adam çeşitli elementleri – bakır, karbon, sodyum v.b.– sıcak aleve yerleştirip ışıldayıncaya kadar ısıttı. Tüpler içindeki çeşitli gazlara enerji verdi ve bu ışıldayan gazlardan yayılan ışığın tayfını incelemek için daha gelişmiş görüntüleme aygıtları kullandı. Her elementin daha karanlık sürekli renkler ışıltısı üzerine binmiş bir dizi tipik keskin, parlak renkli çizgiler yaydığını keşfetti. Teleskopun içine gömülü dalgaboylarına göre kalibre edilmiş bir skala vardı öyle ki her parlak çizginin yeri tam olarak saptanabiliyordu. Her element için çizgi aralıkları farklı olduğundan Kirchhoff

ve suç ortağı Robert Bunsen elementlerin *spektral çizgilerine* göre parmak izlerini alınayı başardılar. (Kirchhoff'un elementleri ısıtmak için birine gereksinimi vardı; Bunsen ocağını keşfeden birinden daha iyi kimi bulacaktı ki?) Biraz beceriyle araştırıcılar bir kimyasal element içine karışmış başka bir elementin saflığı bozmasını ayırt edebildiler. Bilimin şimdi ışık veren her şeyin –örneğin güneşin ve aslında zaman içinde yıldızların– bileşimini incelemek için bir âleti vardı. Daha önce saptanmamış spektral çizgiler bularak bilimciler bir yeni elementler madeni keşfettiler. 1870'de Güneşte helyum denen yeni bir element ayırt edildi. Bu yıldız doğumlu elementin dünyada keşfi için on yedi yıl geçti.

İlk parlak yıldızın ışığının çözümlendiği ve de dünyadaki maddelerin aynısından oluştuğu keşfedildiğindeki heyecanı düşünün! Yıldız ışığı çok zayıf olduğu için renk ve çizgi örüntüsünü incelemek büyük teleskopik ve stereoskopik beceri gerektirmişti ama sonuç kaçınılmazdı: güneş ve yıldızlar dünyadaki maddenin aynısından yapılmıştı. Aslında henüz uzayda dünyada olmayan bir element bulamadık. Hepimiz yıldız malzemesindeniz. Yaşadığımız dünyadaki herhangi bir taçlandırılmış kavrama göre bu keşif açıkça inanılmaz derecede daha önemliydi. Copernicus'u pekiştiriyordu: özel değiliz.

İyi de neden Fraunhofer, tüm bunları başlatan adam, güneşin spektrumunda bu karanlık çizgileri buluyordu? Açıklama kısa sürede geldi. Güneşin sıcak özü (beyaz, akkor) tüm dalgaboylarında ışık yayıyordu. Ama bu ışık güneşin yüzeyindeki görece soğuk gazlar tarafından filtrelendiği için bu gazlar tam da yaymak istedikleri dalga boyundaki ışığı soğuruyorlardı. Böylece Fraunhofer'in karanlık çizgileri *soğurulmayı* temsil ediyordu. Kirchhoff'un parlak çizgileri ışık *yayılmalarıydı*.

Burada 1880'lerin sonlarındayız ve tüm bunlarla ne yapıyoruz? Kimyasal atomların sert, kütleli, yapısız, bölünmez a-tomlar olduğu varsayılıyordu. Ama her biri kendi tipik elektromanyetik enerji keskin çizgi dizilerini yayıyor ya da soğuruyordu. Bazı bilimcilere göre tek sözcüğün haykırılmasıydı: "Yapı!" Mekanik nesnelerin düzenli impulslarla rezonansa giren yapıları olduğu iyi biliniyordu. Piyano ya da keman telleri inşa edilmiş aygıtlarında müzik notaları oluşturmak için titreşir ve büyük bir tenor mükemmel notayı çıkardığı zaman

şarap kadehleri titreşir. Köprüler talihsiz askerlerin uygun adım ayak vuruşlarıyla şiddetli devinimler yapabilir. Işık dalgaları tıpkı bunun gibi hızın dalgaboyuna bölümüne eşit bir "vuru"su olan impulslardı. Bu mekanik örnekler şu soruyu ortaya çıkardı: atomların hiçbir içsel yapısı yoksa nasıl oluyor da spektral çizgiler gibi rezonans özellikleri gösteriyorlar.

Ve eğer atomların yapısı varsa Newton'un ve Maxwell'in kuramları onun hakkında ne söyleyecekti? X-ışınları, radyoaktivite, elektron ve spektral çizgilerin tek bir ortak yanı vardı. Klasik kuramla (pek çok kuramcı uğraştığı halde) açıklanamıyorlardı. Ama ortada dumanın tüttüğü ateş olmadıkça ukala bir piçkurusunun önünde sonunda klasik fiziği korumasının bir yolunu bulacağı umudu vardı. Bu hiçbir zaman olmadı. Onun yerine dumanın tüttüğü ateş sonunda göründü. Aslında bir değil en az üç ateş vardı.

DUMANIN TÜTTÜĞÜ ATEŞ No: 1: MORÖTESİ FELAKETİ

Klasik kuramla düpedüz zıtlaşan ilk gözlemsel kanıt "siyah cisim radyasyonu"ydu. Tüm nesneler enerji saçar. Ne kadar sıcaksalar o kadar fazla enerji saçarlar. Canlı, soluk alan bir insan tayfın görünmeyen kızılötesi bölgesinde yaklaşık 200 watt'lık radyasyon yayar. (Kuramcılar 210 watt yayar politikacılar 250'ye kadar çıkar.)

Tüm nesneler aynı zamanda çevrelerinden enerji soğururlar. Eğer ısıları çevreden fazlaysa soğurlar çünkü soğurduklarından daha fazla enerji saçmışlardır. "Siyah cisim" ideal bir soğurucunun kendisine çarpan radyasyonun %100'ünü soğuran bir soğurucunun teknik terimidir. Böyle bir nesne soğukken siyah görünür çünkü hiçbir ışığı yansıtmaz. Deneyciler yayılan radyasyonu ölçmek için siyah bir cismi standart olarak kullanmayı severler. Böyle bir nesneden –bir parça kömür, bir at nalı, tost makinesinin teli– çıkan radyasyon için ilginç olan ışık tayfının rengidir: çeşitli dalgaboylarında ne kadar ışık verdiği. Bu nesneleri ısıttığımızda gözlerimiz önce donuk kırmızı bir parıltı algılar; sonra nesneler daha ısındıkça parlak kırmızı, sonra sarı, sonra mavi-beyaz, sonra (çok fazla ısı!) parlak beyaz. Neden sonunda beyaza ulaşıyoruz?

Renk tayfının kayması ısı yükseldikçe ışığın zirve şiddetinin kızıl ötesinden kırmızıya, sarıya, maviye doğru hareket ettiği anlamına gelir. Zirve hareket ettikçe dalgaboyları arasında ışığın dağılımı genişler. Zirve mavi olduğunda o kadar çok başka renk yayılır ki sıcak cisim gözlerimize beyaz görünür. Akkor deriz. Bugün astrofizikçiler evrenin tarihindeki en akkor radyasyondan kalan siyah cisim radyasyonunu inceliyorlar – Büyük Patlama.

Ama konudan saptım. 1890'ların sonlarında siyah cisim radyasyonuna ilişkin veriler giderek daha iyi hale geliyordu. Maxwell'in kuramı bu veriler için ne diyordu? Felaket! Sadece yanlıştı. Klasik kuram ışık şiddetinin çeşitli renkler, çeşitli dalgaboyları, arasındaki dağılım eğrisi için yanlış biçim tahmin etmişti. Olup biten bu değildi. Bu yüzden "morötesi felaketi" ve bu yüzden dumanın tüttüğü ateş.

Başlangıçta Maxwell'in eşitliğinin uygulamasının bu hatasının ışın saçan maddeden elektromanyetik enerjinin nasıl doğduğunun daha iyi anlaşılmasıyla çözüleceğine inanıyordu. Bu yanlışın önemini ilk değerlendiren fizikçi 1905'de Albert Einstein'dı ama sahneyi ustaya başka bir kuramcı hazırladı.

Max Planck, fizikte uzun bir kariyeri olan ve ısı kuramı üzerinde uzman, kırklı yaşlarda Berlin'li bir kuramcı geliyor. Zekiydi ve profesörceydi. Bir keresinde hangi salonda konferans vereceğini unutunca bölüm ofisine uğrayıp "Lütfen bana profesör Planck'ın bugün hangi salonda konferans vereceğini söyler misiniz?" diye sordu. Sert bir biçimde şu yanıtı aldı: "Oraya gitme genç adam. Bizim derin bilgili Profesör Planck'ımızı anlayamayacak kadar gençsin."

Ne olursa olsun Planck, çoğu Berlin'deki laboratuarında meslektaşları tarafından elde edilmiş deneysel verilere çok yakındı ve onları anlamaya yazgılıydı. Verilere uyacak esin dolu bir matematiksel ifade tahmin etti. Bu yalnızca belli bir ışık şiddetinin dağılımına uymakla kalmıyor ısı değiştikçe eğrinin (dalgaboylarının dağılımının) değişme biçimine de uyuyordu. Gelecek olaylar için belli bir eğrinin insanın radyasyon yayan bir cismin ısısını hesaplamasına olanak vermesine vurgu yapmak önemliydi. Planck'ın kendisiyle övünmeye hakkı vardı. Oğluna "Bugün Newton'unki kadar önemli bir keşif yaptım" diye övündü.

Planck'ın bir sonraki problemi eğitilmiş şanslı tahminini bazı doğa yasalarına uygulamaktı. Verilerin dayattığı üzere siyah cisimler kısa dalgaboylarında pek az radyasyon yayıyorlardı. Klasik Maxwell kuramının bu denli sevdiği kısa dalgaboyları üzerinde hangi "doğa yasası" bir baskılama yaratabiliyordu? Başarılı eşitliğini yayınladıktan birkaç ay sonra Planck bir olasılığı yakaladı. Isı bir enerji türüdür ve bu yüzden ışın saçan cismin enerji içeriği ısısıyla sınırlıdır. Nesne ne denli sıcaksa o kadar fazla enerji sağlanabilir. Klasik kuramda bu enerji farklı dalgaboylarında eşit olarak dağıtılmıştır AMA (allah kahretsin tüylerin ürpersin kuantum kuramını keşfetmek üzereyiz.) varsayın ki enerji miktarı dalgaboyuna bağlı olsun. Varsayın ki kısa dalgaboyları daha fazla enerjiye "maloluyor" O zaman kısa dalgaboyları yaymaya çalışırken eldeki enerjiyi tüketiyoruz.

Planck, formülünü (şimdi Planck'ın radyasyon yasası diye adlandırılıyor) haklı çıkartmak için iki kesin varsayımda bulunması gerektiğini buldu. Önce yayılan enerjinin ışığın dalgaboyuyla ilişkili olduğunu ve ikinci olarak da farklılığın ayrılmaz biçimde bu görüngüyle ilişkili olduğunu söyledi. Planck radyasyonun ayrı demetler ya da enerji "paketleri" ya da (işte geliyor) "kuantumlar" halinde yayıldığını varsayarak hem formülünü doğruladı hem de ısı yasalarıyla barışı koruyabildi. Her enerji demeti basit bir eşitlikle, $E = hf$ ile, frekansla bağlantılıydı. E kadar bir enerji kuantumu ışığın frekansı, f, çarpı bir sabite (h) eşittir. Frekans dalgaboyuyla ters orantılı olduğu için kısa dalgaboyları (ya da yüksek frekanslar) daha fazla enerjiye malolur. Herhangi bir belli ısıda ancak o kadar enerji sağlanabildiğinden yüksek frekanslar baskılanır. Bu farklılık doğru yanıtı almada temeldi. Frekans ışığın hızının dalgaboyuna bölümüdür.

Planck'ın tanıttığı sabit, h, veriler tarafından belirlenmişti. Ama h nedir? Planck ona "eylem kuantumu" dedi ama tarih ona Planck sabiti adını verdi ve devrimsel yeni fiziği sonsuza dek simgeleyecektir. Planck sabitinin 4.11×10^{-15} eV-sn.lik bir değeri vardır ne işe yarayacaksa. Onu ezberlemeyin. Yalnızca 10^{-15} sayesinde (virgülden sonra 15 basamak) çok küçük bir sayı olduğuna dikkat edin.

Ne Planck ne de meslektaşları bu keşfin derinliğini anlamadığı halde bu –ışık enerjisi kuantumu ya da demeti kavramının getirilmesi– dönüm noktasıydı. İstisna Planck'ın kuantumlarının gerçek önemini

ayırt eden Einstein'dı ama bilimsel topluluğun geri kalanının kavraması yirmi beş yıl sürdü. Planck kuramı Einstein'ı rahatsız etti; klasik fiziğin tahrip olduğunu görmek istemiyordu. Sonunda "Kuantum kuramıyla birlikte yaşamak zorundayız" diye pes etti "Ve inanın bana genişleyecek. Yalnız optikte kalmayacak. Tüm alanlara girecek" Ne kadar da haklıydı!

Son bir söz olarak 1990'da Kozmik Artalan Araştırıcısı (Cosmic Background Explorer, COBE) uydusu gerideki çok hoşnut kalan astrofizikçi efendilerine tüm uzaya yayılan kozmik artalan radyasyonunun spektral dağılımı hakkında veriler iletti. Daha önce ulaşılamamış kesinlikteki veriler Planck'ın siyah cisim radyasyonu formülüne tam olarak uyuyordu. COBE uydusundan gelen verileri ve Planck'ın eşitliğini kullanarak araştırıcılar evrenin ortalama ısısını hesaplayabildiler. Orası soğuktu: Mutlak sıfırın üstünde 2.73 derece.

DUMANIN TÜTTÜĞÜ ATEŞ No: 2: FOTOELEKTRİK ETKİ

Şimdi Bern'deki İsviçre Patent Bürosunda memur olarak çalışan Albert Einstein'a zıplıyoruz. Yıl 1905. Einstein Ph. D. Derecesini 1903'de almış ve bir sonraki yılı yaşamın sistemi ve anlamı üzerine düşünerek geçirmişti. Ama 1905 onun için iyi bir yıldı. Fiziğin önde gelen üç problemini o yıl çözmeyi başardı: fotoelektrik etki (bizim konumuz), Brown devinimleri kuramı (yukarıya bakın!) ha bir de özel görelilik kuramı. Einstein Planck'ın tahmininin, ışığın, elektromanyetik enerjinin, klasik yayılım şiirindeki gibi bir dalgaboyunun sürekli ve yumuşakça diğerine değişmediği ayrı enerji topakları, *hf* halinde yayıldığı anlamına geldiğini anladı.

Bu algı Einstein'a, Maxwell'in kuramını doğrulamak için dalgaları üreten Heinrich Hertz'in deneysel bir gözlemini açıklama fikri vermiş olsa gerek. Hertz radyo dalgalarını iki metal top arasında kıvılcım çaktırarak yapmıştı. Bu çalışmanın gidişi içinde eğer toplar yeni parlatılmışsa kıvılcımların aradaki boşluktan daha kolay atladıklarını fark etti. Parlatmanın elektrik şarjının yüzeyi terk etmesine olanak verdiğinden kuşkulandı. Meraklanıp metal yüzeyler üzerinde ışığın

etkisini incelemeye biraz zaman ayırdı. Metal yüzeylerden yük çekmede kıvılcımın mavi-mor ışığının temel olduğunu ayırt etti. Bu yükler kıvılcım oluşumuna yardım ederek çevrimi ateşliyordu. Hertz parlatmanın ışığın metal bir yüzeyle etkileşimini bozan oksitleri giderdiğini düşündü.

Mavi-mor ışık o sırada garip bir etki olan elektronların metalden saçılmasını uyarıyordu. Deneyciler sistematik olarak görüngüyü incelediler ve şu garip olguları ortaya çıkardılar:

1. Kırmızı ışık, olağanüstü şiddette bile olsa elektron serbestleştirmez.

2. Mor ışık görece zayıf bile olsa elektronları kolayca serbest bırakır.

3. Dalgaboyu ne denli kısaysa (ışık ne denli morsa) serbest bırakılan elektronların enerjisi o denli yüksektir.

Einstein, Planck'ın ışığın demetler halinde ortaya çıktığı fikrinin fotoelektrik gizemi anlamanın anahtarı olduğunu ayrımsadı. Hertz'in çok parlatılmış toplarından birindeki metal içinde kendi halinde bir elektron düşünün. Ne tür ışık bu elektrona yüzeyden fırlaması için yeterli enerjiyi verebilir? Einstein, Planck'ın eşitliğini kullanarak eğer ışığın dalgaboyu yeterince kısaysa elektronun metalin yüzeyini yırtıp kurtulabileceğini saptadı. Einstein elektronun ya tüm enerji demetini yutacağını ya da yutmayacağını uslamladı. Şimdi eğer yutulan demetin dalgaboyu çok uzunsa (yeterince enerjili değilse) elektron kaçamaz; yeterince enerjisi yoktur. Metali iktidarsız (uzun dalgaboylu) ışık enerjisi demetiyle yıkamak hiçbir işe yaramaz. Einstein önemli olanın kaç tane demetiniz olduğu değil demetin enerjisi olduğunu söyledi.

Einstein'in fikri mükemmel biçimde çalıştı. Fotoelektrik etkide ışık kuantumları ya da *fotonlar* Planck kuramında olduğu gibi yayılmak yerine soğuruldular. Her iki süreç de $E = hf$ enerjisinde kuantumlara gereksiniyor gibiydi. Kuantum kavramı kazanıyordu. Foton fikri 1923'e dek inandırıcı bir biçimde kanıtlanmamıştı; o tarihte Amerikalı fizikçi Arthur Compton bir fotonun bir elektronla iki bilardo topunun çarpışması gibi çarpışabildiğini, yönünü, enerjisini ve momentini değiştirdiğini ve her bakımdan bir parçacık gibi –ama bir titreşim

frekansına ya da dalgaboyuna bir biçimde bağlı çok özel bir parçacık–davrandığını gösterdi.

Burada bir hayalet ortaya çıktı. Işığın doğası eski bir savaş alanıydı. Newton ve Galileo'nun ışığın "cisimcikler"den ibaret olduğunu savunduğunu anımsayın. Danimarkalı astronom Chirstian Huygens bir dalga kuramını savunmuştu. Newton'un cisimcikleriyle Huygens'in dalgaları arasındaki bu tarihsel savaş Thomas Young'un on dokuzuncu yüzyılın başındaki çifte yarık deneyiyle (az sonra gözden geçireceğiz) dalgalar lehinde kapanmıştı. Kuantum kuramında cisimcik foton biçiminde yeniden doğdu ve dalga-cisimcik ikilemi sürpriz bir sonla yeniden canlandı.

Ama Ernest Rutherford ve onun çekirdeği keşfi sayesinde klasik fiziğin önünde daha pek çok dert vardı.

DUMANIN TÜTTÜĞÜ ATEŞ No: 3: ÜZÜMLÜ PUDİNGİ KİM SEVER?

Ernest Rutherford gerçek olmayacak kadar iyi tiplerden biridir, sonraki bilimsel topluluğa artist ajansı tarafından getirilmiş gibi. Ayıbalığı bıyıklarıyla iri, huysuz bir Yeni Zelandalı olan Rutherford o sırada J.J.Thomson'un yönettiği ünlü Cavendish Laboratuarına alınan ilk yabancı araştırma öğrencisiydi. Rutherford elektronun keşfine tanıklık etmek üzere tam zamanında geldi. Becerikli elleriyle (Patronu J.J.in tersine) deneycilerin şahıydı. Faraday'ın gelmiş geçmiş en değerli rakibiydi. Bir deneye küfretmenin onu daha iyi çalıştırdığına derin inancıyla tanınırdı, kuramsal olarak değilse de deneysel sonuçlarla desteklenmiş bir inanç. Rutherford'u değerlendirirken insan onun meşum bakışları altında büyük deneyler gerçekleştiren öğrencilerini ve doktora asistanlarını da özellikle eklemek zorundadır. Pek çoktular: Charles D. Ellis (beta bozulmasının kaşifi) James Chadwick (nötronun kaşifi) ve Hans Geiger (sayaç ünlüsü) de aralarındaydı. Elli öğrenciyi denetlemenin kolay bir şey olduğunu sanmayın. En azından insan onların makalelerini okumak zorundadır. En iyi öğrencilerimden birinin tezine nasıl başladığına bakın: "Fiziğin bu alanı öyle bakirdir ki daha hiçbir insan gözü oraya ayak basmamıştır." Neyse Ernest'e dönelim.

Rutherford kuramcılara pek de gizlenmemiş bir küçümseme beslerdi oysa göreceğiniz gibi kendisi de fena değildi. Ve yüzyılın başında şimdiki gibi basının bilim izlememesi de iyi bir şeydi. Rutherford' dan öyle çok şey aktarılırdı ki bir kamyon dolusu burstan yoksun kalabilirdi. İşte onyıllar sonra bize kadar sızmış Rutherfordçuluklardan bazıları.

• "Benim bölümümde kimseyi evrenden söz ederken yakalamayayım."

• "Ha şu zımbırtı [görecelik]. Çalışmamızda ona hiç aldırmayız."

• "Bilimin tümü ya fiziktir ya da pul biriktirme."

• "Eski makalelerimden birini okuyordum ve biliyor musun bitirince kendi kendime 'Rutherford, oğlum sen hep allahın belası zeki herifin biriydin' dedim."

Bu allahın belası zeki herif Thomson'la iyi çalıştı sonra Atlantiği geçip Montreal'de Mc Gill Üniversitesinde çalışmaya gitti sonra geriye dönüp İngiltere'de Manchester Üniversitesinde çalıştı. 1908'de radyoaktivite üzerine çalışmasıyla Nobel Ödülü aldı. Bu çoğu insan için uygun bir kariyer doruğudur ama Rutherford için değil.

İnsan 1874'de Cambridge Üniversitesinin araştırma laboratuarı olarak kurulan Cavendish Laboratuarından söz etmeden Rutherford' dan söz edemez. İlk yönetmen Maxwell'di (kuramcıdan laboratuar yönetmeni?). İkincisi 1884'de Thomson'un izlediği Lord Rayleigh'di. Rutherford Yeni Zelanda'nın lutfuyla hızlı gelişmeler için harika bir zaman olan 1895'de özel bir araştırma öğrencisi olarak geldi. Mesleki başarıların temel öğelerinden biri şanstır. Onsuz, unut gitsin. Rutherford şanslıydı. Yeni keşfedilmiş radyoaktivite –onlara Becquerel ışınları denirdi– onu 1911'de en önemli keşfi atom çekirdeği için biledi. Bu keşfi Manchester Üniversitesinde yaptı sonra da yönetmen olarak Thomson'u izlediği Cavendish'e zafer içinde döndü.

Thomson'un elektronu keşfederek konuyu iyice karıştırdığını anımsarsınız. Şimdi Democritus'un ortaya attığı bölünmez parçacık olduğu düşünülen kimyasal atomun içinde dönen küçük arkadaşlar vardı. Bu elektronların problem yaratan eksi yükleri vardı. Madde nötrdür, ne artı ne eksi. O halde elektronları dengeleyen nedir?

Dramatik öykü sönük bir biçimde başlar. Patron laboratuara gelir. Orada bir doktoralı, Hans Geiger ile mezun olmamış bir tufeyli Ernest Marsden oturmaktadır. Alfa parçacıkları saçılma deneyiyle uğraşırlar. Bir radyoaktif kaynak –örneğin radon 222– doğal olarak ve kendiliğinden alfa parçacıkları yayar. Alfa parçacıklarının elektronsuz helyum –yani Rutherford'un 1908'de keşfettiği üzere helyum çekirdekleri– atomlarından başka bir şey olmadığı ortaya çıkmıştır. Radon kaynağı alfa parçacıklarını bir parça son derece ince altın levhaya yönelten dar bir deliği olan kurşun bir kutuya yerleştirilmiştir. Alfalar levhadan geçerken yolları altın atomları tarafından saptırılır. Bu sapmaların açısı çalışmanın konusudur. Rutherford saçılma deneyinin tarihsel prototipini kurmuştur. Parçacıkları bir hedefe atar ve nereye sıçradıklarını görürsünüz. Bu olguda alfa parçacıkları atomların yapısının nasıl olduğunu anlamak için küçük sondalardı. Altın levha hedef her yanından –360 derece– çinkosülfid ekranlarla sarılmıştır. Bir çinkosülfid molekülüne bir alfa parçacığı çarpınca araştırıcıların sapma açısını ölçmesine yarayan bir ışık parıltısı yayar. Alfa parçacığı altın levhaya zıplar, bu atoma çarpar ve çinkosülfid ekranlardan birine sapar. Parıltı! Alfa parçacıklarının çoğu yalnızca birazcık sapar ve doğrudan altın levhanın tam arkasındaki çinkosülfid ekrana çarpar. Yapması zahmetli bir deneydi. Parçacık sayaçları yoktu –Geiger henüz icat etmemişti– o yüzden Geiger ve Marsden saatlerce karanlık bir odada oturup gözlerini parıltılara dikmek zorundaydılar. Sonra da küçük parıltıların sayısını ve konumunu saptayıp kataloglamaları gerekiyordu.

Rutherford –ki patron olduğu için karanlık odalarda oturmak zorunda değildi– şöyle dedi: "Bakın bakalım alfa parçacıklarından herhangi biri levhadan *yansıyor* mu?" Başka bir deyişle alfalardan birinin altın levhaya çarpıp geriye kaynağa doğru sıçrayıp sıçramadığına bakın. Marsden anımsıyor "Şaşkınlık içinde sonucu gözlemleyebildim... Rutherford'a sonra, ona odasına çıkan merdivenlerde rastladığımda söyledim."

Sonradan Geiger ve Marsden tarafından yayınlanan veriler 8000 alfa parçacığında birinin metal levhadan yansıdığını kaydediyordu. Rutherford'un bu habere şimdi ünlü olan tepkisi şöyleydi: "Hayatımda başıma gelmiş en inanılmaz olaydı. Otuzbeş santimlik bir obüs topunu

bir tabaka kağıda doğru ateşlemişsiniz de o geri gelip size çarpmış gibiydi."

Bu 1909 Mayısında oldu. 1911'in başlarında şimdi bir kuramsal fizikçi olarak davranan Rutherford problemi çözdü. Öğrencilerini geniş bir gülümsemeyle selamladı. "Atomun neye benzediğini biliyorum ve güçlü geriye saçılmayı anladım." O yılın Mayısında çekirdeksel atomun varlığını bildiren makalesi yayınlandı. Bu bir dönemin sonuydu. Kimyasal atom şimdi doğru olarak, basit değil, karmaşık ve hiç de a-tom gibi değil kesilebilir olarak görülmüştü. Yeni bir dönemin, çekirdek fiziğinin başlangıcıydı ve o klasik fiziğin en azından atomun içinde ölümüydü.

Şimdi fizik öğrencilerinin ilk yılda çözdükleri bir problem üzerinde Rutherford en az on sekiz ay uğraşmıştı. Seken alfa parçacıkları neden onu bu denli şaşırtmıştı? Bu o zamanlar bilimcilerin atomu nasıl gördükleriyle ilgili. İşte masif, artı yüklü bir alfa parçacığı bir altın atomuna çarpıyor ve geri sıçrıyordu. 1909 oybirliği alfanın delip geçmesi gerektiği doğrultusundaydı, tıpkı Rutherford'un benzetmesindeki obüsün kâğıdı delip geçmesi gibi.

Kağıt benzeri atom modeli geriye eğer insan mekanik kararlılık olmasını istiyorsa kuvvetlerin iptal edilmesi gerektiğini söyleyen Newton'a dek uzanır. Böylece çekme ve itme elektriksel kuvvetleri güvenebileceğiniz kararlı bir atomda dengelenmek zorundadır. Bu yüzyılın değiştiği dönem kuramcıları kararlı bir atom yapmak üzere elektronları düzenlemeye çalışarak bir model oluşturma çılgınlığına kapıldılar. Atomların birçok eksi yüklü elektronu olduğu biliniyordu. Bu nedenle bilinmeyen bir biçimde dağılmış eşit miktarda artı yükler olması gerekiyordu. Elektronlar çok hafif ve atom ağır olduğu için ya atomun binlerce elektronu olmalıydı (ağırlığı yapmak için) ya da ağırlık artı yükte toplanmalıydı. Önerilen pek çok model arasında 1905'de günün önde gelen modeli J. J. Thomson'un, Bay Elektronun, ta kendisi tarafından varsayılmıştı. Ona üzümlü puding modeli dendi çünkü tüm atomu çevreleyen bir küreye yayılmış artı yükü vardı; elektronlar da pudingin içindeki üzümler gibi her tarafına gömülmüşlerdi. Böyle bir düzenleme mekanik olarak kararlı gibiydi ve elektronların denge yerleşimleri çevresinde titreşmelerine de olanak veriyordu. Ama artı yükün doğası tam bir gizdi.

Öte yandan Rutherford bir alfa parçacığını geriye sıçratacak biçimin tüm kütle ve artı yükün oldukça kocaman (atom ölçeğinde) bir kürenin merkezinde çok küçük bir hacme yoğunlaştığı bir biçim olabileceğini hesapladı. Çekirdek! Elektronlar tüm küreye yerleşmiş olsa gerekti. Zaman içinde ve daha iyi verilerle Rutherford'un kuramı inceldi. Merkezi artı yük (çekirdek) atomun hacminin bir trilyonda birinden daha fazla olmayan bir hacim kaplar. Rutherford modeline göre madde daha çok boş uzaydır. Bir masaya vurduğumuz zaman o katı gibi gelir ama katılık yanılsamasını yaratan atomlar ve moleküller arasındaki elektriksel kuvvetlerin (Kuantum kurallarının) iç ilişkisidir. Atom büyük ölçüde boşluktur. Aristoteles duysa dehşete düşerdi.

Rutherford'un alfa parçacığının geri sıçraması karşısındaki şaşkınlığını eğer onun obüs mermisini terk eder ve onun yerine düzlükten lobutlara doğru giden bir bovling topu düşünürsek anlayabiliriz. Topun lobutlar tarafından durdurulduğu ve biraz sonra canını kurtarmak için kaçacak olan bovlingcinin karnına geri fırlatıldığında bovlingcinin şokunu gözünüzün önüne getirin. Bu olabilir miydi? Pekala, varsayın ki lobutların arasında bir yerde bilinen en yoğun metal olan iridyumdan yapılmış bir "şişman lobut" olsun. Bu lobut ağırdır! Toptan elli kez ağırdır. Seri fotograflardan oluşan bir dizi topun şişman lobuta çarptığını onun biçimini değiştirdiğini ama durduğunu gösterir. Sonra lobut eski biçimine döner ve biraz da geri teper ve topun üzerine hızını tersine çeviren yansıtıcı bir kuvvet uygular. Bu herhangi bir elastik çarpışmada, diyelim ki bilardo topuyla bant arasındaki çarpışmada olan şeydir. Rutherford'un çok daha canlı askeri mermi benzetmesi onun ve zamanının çoğu fizikçisinin varolan kavramından, atomun büyük bir hacme zayıf bir biçimde dağılmış puding küresi olduğu kavramından kaynaklanıyordu. Bir altın atomu için bu 10^{-9} metre yarıçap gibi "devasa" bir şeydi.

Rutherford'un atomunu anlamlı hale getirmek için çekirdeği bir bezelye büyüklüğünde çizersek (yaklaşık yarım santimetre çapında) atom 91 metre yarıçapında bir küre olur sıkı bir kare biçiminde paketlenmiş altı futbol sahasını kapsayabilen bir şey. Rutherford'un şansı burada da tuttu. Radyoaktif kaynağı, çekirdeği keşfetmek için ideal olan yaklaşık 5 milyon elektron (5 MeV diye yazıyoruz) volt dolayında enerjili alfalar üretiyordu. Enerji alfa parçacığının hiçbir

zaman çekirdeğe çok yaklaşmayacağı ama onun güçlü artı elektrik yüküyle geri dönebileceği kadar düşüktü. Çevredeki elektron bulutu alfa üzerinde değerlendirilebilecek bir etki yapamayacak kadar küçük kütleliydiler. Eğer alfanın çok daha fazla enerjisi olsaydı çekirdeğin içine girer, güçlü çekirdek kuvvetinin (bunu daha sonra öğreneceğiz) tadına bakar ve saçılmış alfa parçacıklarının örüntüsünü büyük ölçüde değiştirirdi. (Alfaların büyük çoğunluğu atomun içinden çekirdeğin o kadar uzağından geçerler ki sapmaları küçüktür.) Daha sonra Geiger ve Marsden tarafından ve sonunda bir yığın Avrupalı yarışmacı tarafından ölçüldüğü gibi saçılmış alfa parçacıklarının örüntüsü matematiksel olarak çekirdek bir nokta olsaydı beklenecek olana eşdeğerdi. Şimdi çekirdeklerin noktalar olmadığını biliyoruz ama eğer alfa parçacıkları çok yaklaşmazsa aritmetik aynıdır.

Boscovich mutlu olurdu; Manchester deneyleri onun ileri görüşünü desteklemişti. Bir çarpışmanın sonucu "nokta" şeylerin çevresindeki kuvvet alanları tarafından belirlenir. Rutherford'un deneyi çekirdeğin keşfinin ötesinde anlamlar taşıyordu. O, çok büyük sapmaların küçük, "noktamsı" yoğunlaşmalar anlamına geldiğini, deneyciler quarkların, asıl noktaların, peşine takıldıklarında kullandıkları hayati fikri geliştirdi. Atomun yapısının yavaş yavaş doğan görüntüsünde Rutherford'un modeli bir kilometre taşıydı. Minyatür bir güneş sistemine çok benziyordu: yoğun, merkezi yerleşimli artı yüklü bir çekirdek ve toplam eksi yük tam olarak çekirdeğin artı yükünü iptal edecek biçimde değişik yörüngelerde pek çok elektron. Maxwell ve Newton'a tam anlamıyla davet edilmişti. Yörüngedeki elektron, gezegenler gibi, Newton'un komutuna boyun eğiyordu, $F=ma$. F şimdi yüklü parçacıklar arasındaki elektriksel kuvvetti (Coulomb yasası). Bu yerçekimi gibi bir ters kare kuvveti olduğundan insan ilk bakışta kararlı gezegensel yörüngeleri izleyeceklerini varsayardı. Ve işte size kimyasal atomun güzel, zarif güneş sistemi modeli. Her şey çok iyi.

Eh, çok iyiydi; ta ki Manchester'e kuramsal ikna yeteneği olan genç bir Danimarkalı fizikçi gelene dek. "Adım Bohr, Niels Henrik David Bohr, Profesör Rutherford. Ben genç bir kuramsal fizikçiyim ve size yardım etmek için buradayım." Huysuz, cüsseli Yeni Zelanda'lının tepkisini yalnızca hayal edebiliriz.

SAVAŞIM

Kuantum kuramı olarak bilinen gelişme halindeki devrim, kuramcıların alnından tümüyle gelişmiş olarak fırlamamıştı. Kimyasal atomdan çıkan verilerden yavaşça kışkırtılmıştı. İnsan asıl yarışmayı, atom-altı'nı, çekirdekaltı ormanı anlamaya alıştırma olsun diye bu atomu anlama savaşımına bakabilir.

Gerçek dünyanın bu yavaş açılışına belki de şükretmek gerek. Galileo, hattâ Newton'a Fermilab'dan çıkan tüm veriler bir biçimde verilebilseydi ne yaparlardı? Columbia'daki meslektaşlarımdan birine, çok genç, çok zeki, iyi konuşan, hevesli bir profesöre tek bir eğitim görevi verilmişti. Fiziği ana dal olarak bildirmiş kırk genç adamı al ve onlara iki yıllık yoğun bir eğitim ver: bir profesör, kırk istekli fizikçi, iki yıl. Deney bir felakete dönüştü. Öğrencilerin çoğu başka alanlara kaydılar. Nedeni daha sonra matematikten mezun olan bir öğrenciden geldi: "Mel korkunçtu, tanıdığım en iyi öğretmen. O iki yılda yalnızca alışılmış konuları –Newtoncu mekanik, optik, elektrik v.b.– görmedik; çağdaş fiziğe de bir pencere açtı ve kendi araştırmalarında karşılaştığı problemlere bir göz atmamızı sağladı. Böylesi zor bir problemler kümesiyle uğraşmanın hiçbir yolunu göremedim, bu yüzden matematiğe geçtim."

Bu, daha derin bir soruyu, insan beyninin 1990'larda en iyi fizikçilerin bile bazılarını rahatsız etmeyi sürdüren kuantum fiziğinin gizleri için hazır olup olmadığı sorusunu ortaya çıkarır. Kuramcı Heinz Pagels (birkaç yıl önce bir dağcılık kazasında trajik biçimde ölmüştü) güzel kitabı *Kozmik Kod*'da insan beyninin kuantum gerçekliğini anlayacak kadar evrimleşmemiş olabileceğini öne sürmüştür. Belki haklıdır yine meslektaşlarının bir kaçı biz geri kalanlardan daha evrimleşmiş olduklarına inanıyor gibi görünüyorlar.

Atlanan nokta kuantum kuramının 1990'ların hayli rafine ve egemen kuram olarak çalıştığıdır. Atomlarda çalışır. Moleküllerde çalışır. Karmaşık katılarda, metallerde, yalıtkanlarda, yarı iletkenlerde, süper iletkenlerde ve uygulandığı her yerde çalışır. Kuantum kuramının başarısı endüstri dünyasının toplam gayrı safi milli hasılasının (GSMH) önemli bir kesiminden sorumludur. Ama bizim için daha

önemli olan aşağıya çekirdeğin içine, onun bileşenlerine ve daha daha aşağı temel maddenin muazzam küçüklüğüne –ki orada a-tom ve Tanrı Parçacığıyla karşılaşırız– ilerlerken elimizdeki tek araçtır. Ve işte orada çalışan çoğu fizikçi tarafından salt "felsefe" diye aşağılanan kuantum kuramının kavramsal güçlükleri önemli bir rol oynar.

BOHR: BİR KELEBEĞİN KANATLARI ÜZERİNDE

Klasik fizikle çelişen bir çok deneysel sonuçlardan sonra gelen Rutherford'un keşfi tabutun son çivisiydi. Deneyle kuram arasında süregiden çekişmede bu, dalına basmak için iyi bir zaman olmuştu: "Siz kuramcıları yeni bir şeye gereksindiğinize inandırmadan önce biz deneycilerin yapmak zorunda oldukları ne kadar açık değil mi?" Görünen o ki Rutherford yeni atomunun klasik fiziğe ne çok düşman kazandıracağını düşünmemişti.

Ve sonra Rutherford için Faraday'ın Maxwell'i Brahe'nin Kepler'i rolünü oynamak üzere Niels Bohr çıkageldi. Bohr'un İngiltere'de ilk işi büyük J.J. için çalışmaya gittiği Cambridge'deydi ama yirmi beşlik kitabında yanlışlar bularak durmadan ustayı huzursuz etti. Cavendish laboratuarında epi topu bir Carlsberg Biraları bursuna çalışırken Bohr 1911 güzünde Rutherford'un yeni atom modeline ilişkin konferansını dinledi. Bohr'un tezi metallerdeki "serbest" elektronların incelenmesiydi ve klasik fizikle her şeyin hallolmadığının ayırdındaydı. Kuşkusuz Planck'ı ve Einstein'ın klasik ortodoksluktan dramatik sapışını biliyordu. Ve de ısıtıldıkları zaman belli elementlerin yaydığı spektral çizgiler atomun kuantum doğası için başka bir ipucuydu. Bohr, Rutherford'un konferansından ve atomundan öyle etkilendi ki 1912'de dört aylık bir ziyaret için Manchester'a gitmeye karar verdi.

Bohr yeni modelin asıl önemini görmüştü. Maxwell'in eşitliklerini karşılamak için merkezi bir çekirdek çevresinde dairesel yörüngelerdeki elektronların tıpkı bir antende yukarı aşağı hızlanan elektronlar gibi enerji yayması gerektiğini fark etti. Enerjinin korunumuna uymak için yörüngeler büzüşecekti ve elektron hemen bir spiral çizip çekirdeğin içine girecekti. Eğer tüm bu koşullar gerçekleşse madde kararsız olurdu. Model bir klasik felaketti! Henüz başka bir seçenek de yoktu.

Bohr'un çok yeni bir şeyler için uğraşmaktan başka çaresi yoktu. Tüm atomların en basiti hidrojendir. Bu yüzden Bohr alfa parçacıklarının hidrojen gazında nasıl yavaşladıkları gibi eldeki verileri inceledi ve hidrojenin artı yüklü bir çekirdeğin çevresindeki bir Rutherford yörüngesinde tek bir elektronu olduğu sonucuna ulaştı. Klasik kuramın bir yıkımıyla karşı karşıya kalan Bohr başka garipliklere de cesaret etti. Klasik fizikteki hiçbir şeyin hidrojen atomundaki elektronun yörüngesinin yarıçapını belirleyemediğini saptadı. Aslında güneş sistemi çeşitli gezegensel yörüngelerin iyi bir örneğidir. Newton'un yasalarına göre herhangi bir gezegensel yörünge gözönüne getirilebilir; gereksinilen tek şey doğru biçimde başlamaktır. Bir kez yarıçap saptanınca gezegenin yörüngedeki hızı ve periodu (yıl) belirlenir. Ama tüm hidrojen atomları kesinlikle birbirine benziyor gibi görünüyordu. Atom, güneş sisteminin sergilediği değişkenliklerin hiçbirini göstermiyordu. Bohr, mantıklı ama kesinlikle antiklasik olan atomlarda yalnızca belli yörüngelerin olanaklı olduğu varsayımını ortaya attı.

Bohr ayrıca bu çok özel yörüngelerde elektronun ışın *yaymadığını* öne sürdü. Bu tarihsel bağlamda inanılmaz derecede cüretkarca bir varsayımdı. Maxwell mezarında kıpırdandı ama Bohr basitçe olguları anlamlandırmaya çalışıyordu. Kirchhoff'un bulduğu atomlardan ışıldayan spektral çizgiler gibi önemli bir olgu onyıllar öncesinden geliyordu. Işıldayan hidrojen, başka elementler gibi, belli bir dizi spektral çizgi yayıyordu. Spektral çizgileri elde etmek için Bohr elektrona farklı enerji içeriklerine denk düşen bir çok farklı yörünge sağlaması gerektiğini ayrımsadı. Böylece hidrojenin tek elektronuna giderek artan enerji durumlarını temsil eden bir yarıçaplar dizisi verdi. Spektral çizgileri açıklamak için (damdan düşer gibi) yayılan fotonun enerjisi iki enerji düzeyinin farkı olmak üzere bir elektron bir enerji düzeyinden daha düşüğüne "sıçrarken" radyasyonun ortaya çıktığını varsaydı. Sonra enerji düzeylerini belirleyen bu özgül yarıçaplar için kesinlikle pervasızca bir kural önerdi. Yörüngelerin yeni bir kuantum biriminde ölçüldüğünde açısal momentlerin (elektronun dönme momentini ölçen bilinen bir nicelik) yalnızca tam sayı değerleri almasına izin vardır dedi. Bohr'un kuantum birimi Planck'ın sabiti, h'den başka bir şey değildi. Bohr daha sonra "daha önce var olan kuantum fikirlerini kullanmaya çalışmak modaydı" dedi.

Şimdi Bohr'un Manchester'da, gecenin geç saatlerinde, tavan arasındaki odasında bir tomar boş kâğıt, bir kurşun kalem, keskin bir bıçak, sürgülü cetvel ve bazı başvuru kitaplarıyla yaptığı neydi? Doğanın yasalarını araştırıyordu, başvuru kitaplarında listelenmiş olgulara uyan yasaları. Görünmez elektronların, hidrojen atomu çekirdeğinin (o da görünmez) yörüngesindeki davranışına kurallar koymaya ne hakkı vardı? Haklılığı verileri açıklamadaki başarısıyla kuruldu. En basit atomla, hidrojenle başladı. Kurallarının nihai olarak bazı derin ilkelerden doğduğunu anlıyordu ama önce kurallar. Bu kuramcıların çalışma biçimi. Einstein'ın sözleriyle Bohr Manchester'da Tanrı'nın aklından geçeni anlamaya çalışıyordu.

Bohr, tohum halindeki fikirlerinin çimlenmesi için hemen Kopenhag'a döndü. Sonunda 1913 Nisan, Haziran ve Ağustos'unda yayınlanan üç makaleyle (büyük üçleme) hidrojen atomu kuantum teorisini -klasik yasalarla *doğru yanıtı elde etmek için* net olarak düzenlenmiş tümüyle keyfi varsayımların (hipotezlerin) bir karışımını- sundu. Kendi atom modeliyle bilinen spektral çizgileri açıklayacak biçimde oynadı. Spektral çizgi tabloları, bir dizi sayı, Kirchhoff ve Bunsen'in izleyicileri tarafından zahmetle derlenmiş, Strasbourg ve Gottingen'de Londra'da ve Milano'da sınanmıştı. Ne tür sayılar? İşte hidrojenden elde edilen bazıları: $\lambda_1 = 4100.4$, $\lambda_2 = 4339.0$, $\lambda_3 = 4858.5$, $\lambda_4 = 6560.6$. (Kusura bakmayın kendiniz sordunuz. Neyse boşverin. Ezberlemeniz gerekmez.) Bu spektral titreşimler nasıl ortaya çıkar? Ve hidrojene nasıl enerji verilirse verilsin neden yalnızca bunlar? Gariptir ama Bohr sonradan spektral çizgilerin önemini en aza indirgedi: "İnsan tayfların mucizevi olduğunu düşünür. Ama oradan ilerleme kaydedilemez. Tıpkı kelebeğin kanadında olduğu gibi; renkler çok düzgündür filan. Ama hiç kimse kelebeğin kanadının renklerinden biyolojinin temelini anlamayı düşünmez." Ama yine de hidrojenin spektral çizgilerinin, kelebeğin kanadının, hayati bir ipucu sağladığı ortaya çıktı.

Bohr'un kuramı hidrojene kitaplarda bulunan numaraları vermek için işlenmişti. Çözümlerinde vazgeçilmez olan hakkı yenmiş *enerji* kavramıydı, Newton'un zamanında kesin olarak tanımlanmış sonra gelişmiş ve genişlemiş bir kavram. Onun anlaşılması eğitimli insanlar için gereklidir. O halde iki dakika enerjiye ayıralım.

ENERJİ İÇİN İKİ DAKİKA

Lise fiziğinde belli bir kütlesi ve belli bir hızı olan nesnenin kinetik enerjisi (devinimle ilgili enerji) olduğu söylenir. Nesnelerin bulundukları yerle ilişkili enerjileri de vardır. Sears kulesinin tepesindeki çelik bir topun potansiyel enerjisi vardır çünkü birileri onu oraya çıkarmak için sıkı çalışmıştır. Eğer onu kuleden bırakırsanız, düşerken, potansiyel enerjisini kinetik enerjiye dönüştürecektir.

Enerjiyi ilginç kılan tek şey onun korunmasıdır. Bir gazın içinde tümü hızla devinen, kabın duvarlarına ve birbirlerine çarpan milyarlarca atomdan oluşmuş karmaşık bir sistem düşünün. Bazı atomlar enerji kazanacak diğerleri yitirecektir. Ama toplam enerji hiçbir zaman değişmez. Isının bir enerji biçimi olduğunu bilimciler on sekizinci yüzyıla dek keşfetmediler. Kimyasal maddeler tepkimeler yoluyla kömürün yanmasında olduğu gibi enerji serbest bırakabiliyorlardı. Enerji sürekli olarak bir biçimden diğerine değişebilirdi, öyle de yapıyordu. Bugün mekanik, ısısal, kimyasal, elektriksel ve çekirdeksel enerjileri biliyoruz. Kütlenin $E = m\ c^2$ yoluyla enerjiye dönüşebileceğini biliyoruz. Bu karmaşıklıklara karşın karmaşık tepkimelerde (kütle de dahil olmak üzere) toplam enerjinin sabit kaldığından yüzde yüz eminiz. Örnek: bir bloku düz bir düzlem boyunca kaydırın. Durur. Bu denli hafifçe ısınan düzlemde bile kinetik enerjisi ısıya dönüşmüştür. Örnek: Toyota'nıza belli bir kinetik enerji vermek için kullanabileceğiniz 12 galon kimyasal enerji (joule olarak ölçülür) satın aldığınızı düşünerek arabanızın deposunu benzinle doldurun. Benzin biter ama bundan enerjisi –Newark'tan Kuzey Hero'ya 480 km– sorumlu tutulur. Enerji korunmuştur. Örnek: bir şelale bir elektrik üreticinin rotoruna çarpar, doğal potansiyel enerjiyi uzak bir kenti ısıtmak ve aydınlatmak üzere elektrik enerjisine dönüştürür. Doğanın kasa defterinde her şey toplanmıştır. Ne getirirseniz sonunda onunla gidersiniz.

EEE?

Tamam, tüm bunların atomla ne ilgisi var? Bohr'un tablosunda elektron kendini her biri yarıçapıyla belirlenmiş belli yörüngelere hapsetmek zorundadır. İzin verilen yarıçapların her biri atomun iyi

belirlenmiş bir enerji durumuna (ya da enerji düzeyine) uyar. En küçük yarıçap zemin durumu denen en düşük enerjiye denk düşer. Eğer enerjiyi bir hidrojen gazı örneğine saçarsak, bir kısmı daha hızlı devinsinler diye atomları sarsmada kullanılacaktır. Ancak enerji düzeylerinden ya da yarıçaplarından bir başkasına ulaşması için çok özgül bir demette soğurulacaktır (fotoelektrik etkiyi anımsayın). Düzeyler 1,2,3,4,.... diye numaralanır ve her birinin kendi enerjisi vardır, E_1, E_2, E_3, E_4, v.b. Bohr, kuramını, Einstein'ın bir fotonun enerjisinin onun dalgaboyunu belirlediği fikrini de katmak için oluşturdu.

Eğer tüm dalgaboylarındaki fotonlar bir hidrojen atomunun üzerine yağarsa elektron sonunda uygun fotonu (biraz özel enerjisi olan ışık demetini) yutacak ve E_1'den diyelim ki E_2 ya da E_3'e sıçrayacaktır. Bu yolla elektronlar atomun daha yüksek enerji düzeylerini doldururlar. Örneğin bir deşarj tüpünde olup biten budur. Elektrik enerjisi içine girdiğinde tüp, hidrojenin tipik renklerinde parıldar. Enerji trilyonlarca atomda bazı elektronların daha üst enerji düzeylerine sıçramasını kışkırtmıştır. Eğer giren elektrik enerjisi yeterince büyükse atomların çoğunun temelde olası tüm daha üst enerji düzeylerini işgal eden elektronları olur.

Bohr'un tablosunda daha üst enerji durumlarındaki elektronlar kendiliğinden daha alt düzeylere atlarlar. Şimdi enerjinin korunmasına ilişkin kısa konferansımızı anımsayın. Eğer elektronlar aşağı atlarsa enerji yitirirler ve bu yitik enerji hesaba katılmalıdır. Bohr "yorum yok" dedi. Düşen bir elektron enerjisi yörüngelerin enerjisi farkına eşit bir foton yayar. Örneğin eğer elektron 4.düzeyden 2.düzeye atlarsa fotonun enerjisi E_4 eksi E_2'ye eşittir. Pek çok atlama olasılığı vardır $E_2 \rightarrow E_1$, $E_3 \rightarrow E_1$ ya da $E_4 \rightarrow E_1$ gibi. Çok düzeyli atlamalar da olasıdır; örneğin $E_4 \rightarrow E_2$ sonra $E_2 \rightarrow E_1$ gibi. Her enerji değişikliği kendine uyan dalga boyunda bir yayılıma olanak verir ve bir dizi spektral çizgi gözlemlenir.

Bohr'un yaptığı, atomun yarı klasik açıklaması ortodoksça bakmadığınız takdirde virtuozca gelen bir sunuştu. Uygun oldukları yerde Newton ve Maxwell'i kullandı. Olmadıkları zaman da bir yana bıraktı. Planck ve Einstein'ı işledikleri zaman kullandı. Bu küstahçaydı. Ama Bohr zekiydi ve doğru yanıtı buldu.

Bir daha gözden geçirelim. Ta dokuzuncu yüzyılda Fraunhofer ve Kirchhoff'un çalışmaları sayesinde spektral çizgileri biliyorduk. Atomların (ve moleküllerin) belli dalgaboylarında radyasyonu yaydıklarını ve soğurduklarını biliyorduk. Planck sayesinde ışığın kuantumlar halinde soğurulduğunu da biliyorduk. Thomson sayesinde elektronların var olduğunu biliyorduk. Rutherford sayesinde atomun yoğun bir küçük çekirdeği, pek çok boşluğu ve boşluğun her yanına yayılmış elektronları olduğunu biliyorduk. Annemin ve babamın sayesinde bunların hepsini öğrenmeyi başardım. Bohr tüm bu verileri –çok daha fazlasını– bir araya getirdi. Bohr, Elektronların yalnızca belli yörüngelerine izin vardır dedi. Enerjiyi kendilerini daha yüksek enerji düzeylerine sıçramaya zorlayan kuantumlar halinde soğururlar. Daha aşağı yörüngelere düştükleri zaman fotonlar, ışık kuantumları, yayarlar. Bilimciler bu kuantumları özgül dalgaboyları –her elemente özgü spektral çizgiler– olarak gözlemlerler.

1913 ile 1925 arasında gelişen Bohr'un kuramı şimdi "eski kuantum kuramı" diye anılır. Planck, Einstein ve Bohr, her biri klasik fizikten ayrılmak için bir adım atmıştır. Her birinin kendilerine haklı olduklarını söyleyen deneysel verileri vardı. Planck'ın kuramı siyah cisim tayfıyla güzel biçimde uzlaşıyordu, Einstein'ınki fotoelektronların ayrıntılı ölçümleriyle. Bohr'un matematiksel formülünde insan elektronun yükü ve kütlesiyle ilgili birkaç π, 3 gibi sayılar ve enerji durumlarını sıralayan önemli bir tam sayı (kuantum sayısı) bulur. Tüm bunlar, çarpanlar haline getirildiğinde hidrojenin tüm spektral çizgilerinin hesaplanabildiği bir formül sağlıyordu. Verilerle kayda değer bir uyum içindeydi.

Rutherdord Bohr'un kuramını sevdi ama –Bohr'un tartışmadığı bir şeyi– elektronun ne zaman ve nasıl bir durumdan ötekine sıçramaya karar verdiği sorusunu ortaya attı. Rutherford daha önceki bir bulmacayı anımsadı: radyoaktif bir atom ne zaman bozulmaya karar verir? Klasik fizikte her eylemin bir nedeni vardır. Atom evreninde bu tür nedensellik görünmüyor gibidir. Bohr (Einstein'ın 1916'daki çalışması "kendiliğinden geçişler"e kadar gerçekten çözülmeyen) sorunu fark etti ve bir yön gösterdi. Ama hâlâ atomsal dünyanın görüngülerini araştıran deneyciler Bohr'un hesaba katmadığı bir çok şey buldular.

Amerikalı fizikçi, kesinlik fanatiği, Albert Michelson spektral

çizgileri daha yakından incelediğinde her bir hidrojen çizgisinin aslında çok az aralıklı iki çizgi (birbirine çok yakın iki dalgaboyu) olduğunu fark etti. Çizgilerin bu ikiliği, bir elektron aşağıya atlamaya hazır olduğunda iki daha alt enerji durumu seçeneği bulunduğu anlamına geliyordu. Bohr'un modeli, "ince yapı" diye adlandırılan ikileşmeyi tahmin etmemişti. Bohr'un bir çağdaşı ve çalışma arkadaşı Arnold Sommerfeld hidrojen atomundaki elektronların hızının ışığın hızının anlamlı bir kesri olduğunu ve Einstein'ın 1905 görelilik kuramıyla uyum içinde ele alınması gerektiğini fark etti. İki devrimi, kuantum kuramı ve göreliliğin etkilerini eklediğinde Bohr kuramının bir yörünge tahmin ettiği yerde yeni kuramın yakın yerleşimli iki yörünge tahmin ettiğini saptadı. Bu, çizgilerin ikileşmesini açıklıyordu. Bu hesapları gerçekleştirirken Sommerfld eşitliklerinde sıkça ortaya çıkan bazı sabitler için bir "yeni kısaltma" getirdi. Yunan harfi alfa (α) ile kısalttığı $2\pi e^2 / hc$ idi. Eşitliğe aldırmayın. İlginç olan şey şu: elektron yükü e, Planck sabiti h ve ışık hızı c için bilinen sayıları yerine koyunca $\alpha = 1 / 137$ çıkıyor. Yine o 137, asal bir sayı.

Deneyciler Bohr'un atom modeline parçalar eklemeyi sürdürdüler. 1896'da elektronun keşfinden önce bir Hollanda'lı, Pieter Zeeman güçlü bir mıknatısın kutupları arasına bir Bunsen ocağı yerleştirdi ve ocağın üzerine bir tutam sofra tuzu attı. Sodyumun sarı ışığını kendi yaptığı çok hassas bir spektrometreyle inceledi. Manyetik alanda sarı spektral çizgilerin genişlediği kesindi yani manyetik alan gerçekten çizgileri ayrıştırıyordu. Bu etki daha hassas ölçümlerle 1925'e dek onaylandı, o tarihte Hollanda'lı iki fizikçi, Samuel Goudsmit ve Georege Uhlenbeck bu sonucun ancak elektronlara "dönme" niteliği verilirse açıklanabileceği biçiminde garip bir öneri ortaya attılar. Klasik bir nesnede, örneğin bir topaçta, dönme, topun simetri ekseni etrafında dönmesidir. Elektron dönmesi bunun kuantum karşılığıdır.

Tüm bu yeni fikirler kendi içlerinde geçerli olmalarına karşın 1913 Bohr atom modeline kabaca iliştirilmişti, tıpkı eski arabaya yeni ürünlerin takılması gibi. Bu donanımla şimdi büyük ölçüde genişletilmiş Bohr kuramı tıpkı klima, cafcaflı cant kapakları, sahte kuyruklar takılmış eski bir Ford araba gibi çok etkileyici miktarda hassas ve zekice başarılmış deneysel verilerden sorumlu tutulabilirdi.

Modelin tek bir sorunu vardı. Yanlıştı.

PEÇENİN ALTINA BİR BAKIŞ

1912'de Niels Bohr tarafından başlatılan yamalı bohça kuramı 1924'de bir Fransız öğrenci hayati bir ipucunu ortaya çıkarana dek giderek artan zorluklar çıkarıyordu. Beklenmeyen bir kaynakta bir doktora tezinin kabarık metninde, ortaya çıkan bu ipucu üç dramatik yılda mikrodünyada tümüyle yeni bir gerçeklik anlayışını ortaya çıkaracaktı. Yazar Paris'de Ph.D. tezi için ter döken genç bir aristokrat, Prens Louis-Victor de Broglie'ydi. De Broglie, 1909'da ışık kuantumları üzerinde kafa patlatan Einstein'ın bir makalesinden esinlenmişti. Işık nasıl oluyor da bir enerji demetleri sürüsü –yani parçacıklar– gibi davranıyor ve aynı zamanda girişim, kırılma ve bir dalgaboyu gerektiren diğer özellikleri taşıyan dalgaların tüm davranışlarını sergiliyordu?

De Broglie ışığın bu garip ikili niteliğinin doğanın elektronlar gibi maddi nesnelere de uygulanabilecek temel özelliklerinden biri olduğunu düşündü. Einstein, Planck'ı izleyerek bir ışık kuantumuna onun dalgaboyu ya da frekansıyla ilişkili belli bir enerji atamıştı. O zaman de Broglie yeni bir simetri ortaya attı: eğer dalgalar parçacıklar olabiliyorsa, parçacıklar (elektronlar) da dalgalar olabilir. Elektronlara enerjiyle ilişkili bir dalgaboyu atamanın bir yolunu tasarladı. Fikrini hidrojen elektronlarına uygulayınca on ikiden vurdu. Atanmış bir dalgaboyu Bohr'un elektrona yalnızca belirli yarıçap izni veren gizemli temel kuralını açıklıyordu. Tümüyle apaçık! Öyle mi? Kesinlikle. Eğer bir Bohr yörüngesinde elektron bir santimetrenin ondalık kesri kadar bir dalgaboyuna sahipse çevresine yalnızca tam sayıda dalgaboyunun sığabileceği yörüngelere izin vardır. Bunu kabaca görselleştirmeye çalışalım. Bir bütün lirayla bir avuç kuruş alın. Lirayı (çekirdek) masaya koyun ve bir miktar kuruşu liranın çevresine daire biçiminde (elektron yörüngesi) yerleştirin. En küçük yörüngeyi yapmak için yedi kuruş gerektiğini görecesiniz. Bu bir yarıçapı belirler. Eğer sekiz kuruş kullanmak isterseniz daha büyük bir çember yapmaya zorlanırsınız ama *herhangi bir* daha büyük çember değil; yalnızca bir yarıçap buna izin verecektir. Daha büyük yarıçaplar dokuz, on, onbir ya da daha çok kuruşa izin verecektir. Bu kaba örnekten, eğer kendinizi tam kuruşlarla –ya da tam dalgaboyları– sınırlarsanız yalnızca belirli yarıçapların olanaklı olduğunu görebilirsiniz. Aradaki yarıçaplar kuruşları üstüste bindirmeyi gerektirir ve

eğer onlar dalgaboylarını temsil ediyorsa dalgalar yörünge çevresinde düzgünce birleşmeyecektir. De Broglie'nin fikri elektronun dalgaboyunun (kuruşun çapı) olanaklı yarıçapları belirlediğiydi. Bu kuramın anahtarı elektrona bir dalgaboyu atama fikriydi.

De Broglie tezinde elektronların girişim ve kırılma gibi başka dalga benzeri sonuçlar gösterip göstermediğini tartıştı. Paris Üniversitesindeki fakülte tez danışmanları genç prensin virtuozluğundan etkilenmekle birlikte parçacık dalgaları kavramından şaşkınlığa düştüler. Sınav jürisinden biri bir dış görüş almak için Einstein'a bir kopya gönderdi, o da de Broglie'ye ilişkin şu iltifatla geri gönderdi: "Büyük peçenin bir ucunu kaldırmış." Ph.D. tezi 1924'de kabul edildi ve sonunda ona bir Nobel ödülü kazandırdı ve de Broglie'ye o zamana dek Ödülü bir tez tartışmasıyla kazanan ilk fizikçi olma unvanını verdi. Ama en büyük kazanan de Broglie'nin çalışmasında gerçek bir potansiyel gören Erwin Schrödinger'di.

Şimdi ilginç bir kuram-deney düeti geliyor. De Broglie'nin fikrinin hiçbir deneysel desteği yoktu. Bir elektron dalgası mı? Ne demek o? Gerekli destek tüm öteki yerler arasında New Jersey'den –kanaldaki bir ada değil Newark yakınlarında bir Amerikan eyaleti– geldi. Bell telefon laboratuarları, ünlü endüstriyel araştırma kurumu, vakum tüpleri, uygarlığın şafağından ve transistörlerin keşfinden önce kullanılılan eski bir elektronik aygıt, üzerine bir çalışma yürütüyordu. İki bilimci, Clinton Davisson ve Lester Germer çeşitli oksit kaplı metal yüzeyleri elektron selleriyle bombardıman ediyorlardı. Davisson'un yönetiminde çalışan Germer oksit kaplı olmayan belli metal yüzeylerden garip bir elektron örüntüsünün yansıdığını saptadı.

1926'da Davisson İngiltere'de bir toplantıya gitti ve de Broglie'nin fikrini öğrendi. Hemen geriye Bell laboratuarlarına koştu ve verilerini dalga davranışı açısından çözümlemeye başladı. Gözlemlediği örüntüler, elektronların, dalgaboyları bombardıman eden enerjileriyle orantılı dalgalar olarak davrandığı kuramına kesinlikle uyuyordu. O ve Germer hemen yayınladılar. O kadar da erken davranmamışlardı. Cavendish Laboratuarında George P.Thomson, ünlü J.J.'in oğlu, benzer bir araştırma gerçekleştiriyordu. Davisson ve Thomson ilk gözlemlenen elektron dalgaları için 1938 Nobel Ödülünü paylaştılar.

Bu arada J.J. ile G.P.nin ailesel bağları sıcak yazışmaları sayesinde bolca belgelenmiştir. Daha duygusal mektuplarından birinde G.P. taşar:

Sevgili Baba,
Diyelim ki ABC diye küresel bir üçgen olsun...
[Ve aynı biçimde tıkabasa üç sayfadan sonra]
Oğlun, Georege.

Böylece şimdi ister bir atomun içinde tutsak olsun ister bir vakum tüpünde yolculuk ediyor olsun bir elektrona bir dalga ilişkin olarak ilişkilendirilmiştir. Ama bu dalgalar olan elektronda ne var?

PİLLERİ BİLMEYEN ADAM

Eğer; Rutherford deneycilerin prototipiydiyse Werner Heisenberg [1901-1976] onun kuramsal karşılığı olarak nitelenir. I. I. Rabi'nin "kendi ayakkabılarını bağlayamayan" kuramcı tanımına uyar. Avrupa'nın en parlak öğrencilerinden Heisenberg, jüri üyelerinden biri, siyah cisim radyasyonunun öncülerinden Wilhelm Wien, ondan hoşlanmayınca Münih Üniversitesindeki Ph. D. sözlü sınavında az daha başarısız oluyordu. Wien bir pilin nasıl çalıştığı gibi pratik sorularla başladı. Heisenberg'in hiçbir fikri yoktu. Wien deneyler hakkındaki sorularla biraz daha kızarttıktan sonra onu çaktırmak istedi. Daha soğukkanlı olanlar galip geldi ve Heisenberg bir beyefendinin C'sine eşdeğer bir notla geçti.

Babası Münihte bir Yunanca profesörüydü ve Heisenberg yeniyetmeliğinde Plato'nun tüm atom kuramını içeren *Timaeus*'u okumuştu. Heisenberg Plato'nun çılgın olduğunu düşündü –onun "atomları" küçük küpler ve piramitlerdi– ama Plato'nun maddenin en küçük öğesi bilinmeden insanın evreni asla anlayamayacağı yolundaki temel ilkesine hayran kaldı. Genç Heisenberg yaşamını maddenin en küçük parçacığını incelemeye adamaya karar verdi.

Heisenberg Rutherford–Bohr atomunu zihninde canlandırmaya çok uğraştı ama boşuna. Bohr'un elektron yörüngeleri düşleyebileceği hiçbir şeye benzemiyordu. İleride uzun yıllar boyunca Atom Enerjisi

Komisyonunun amblemi haline gelecek zarif küçük atom –"büyülü" yarıçaplarda ışımadan dönen elektronlarla bir çekirdek– hiçbir anlam taşımıyordu. Heisenberg Bohr'un yörüngelerinin yalnızca sayıları doğru hale getirmek ve Rutherford atom modeline klasik karşı çıkışları defetmek ya da (daha iyisi) inceltmek için yapılmış kurgular olduğunu fark etti. Ama gerçek yörüngeler? Yoo. Bohr'un kuantum kuramı klasik fiziğin bagajından kurtulmada pek ileri gitmemişti. Atomun içindeki boşluğun yalnızca belli yörüngelere izin verdiği tek yol kökten önerilere gereksiniyordu. Heisenberg bu yeni atomun temelde gözönüne getirilemeyeceğini anladı. Katı bir ilke geliştirdi: ölçülemeyen hiçbir şeyle uğraşma. Yörüngeler ölçülemez. Ancak spektral çizgiler *ölçülebilir*. Heisenberg matriksler denen matematiksel biçimlere dayanan "matriks mekaniği" diye bir kuram yazdı. Yöntemleri matematiksel olarak zordu ama Bohr'un eski kuramında büyük bir gelişme sağladığı açıktı. Zamanla matriks mekaniği Bohr' un kuramını keyfi büyülü yarıçaplar olmaksızın tüm başarısıyla yineledi. Eski kuramın başarısız olduğu yerlerde Heisenberg'in matriksleri yeni başarılar elde etmeyi sürdürdü. Ama fizikçiler matrikslerin kullanımını zor buldular.

Ve sonra fizik tarihinin en ünlü tatili geldi.

MADDE DALGALARI VE VİLLADAKİ HANIM

Heisenberg matriks formülasyonunu tamamladıktan birkaç ay sonra Erwin Schrödinger bir tatile gereksinimi olduğuna karar verdi. 1925 kışında Yılbaşından on gün kadar önceydi. Schrödinger Zürih Üniversitesinde usta ama tanınmamış bir profesördü ve tüm kolej öğretmenleri Yılbaşı tatilini hak eder. Ama bu sıradan bir tatil değildi. Schrödinger İsviçre Alplerinde iki buçuk hafta için bir villa kiraladı ve karısını evde bırakıp yanına defterlerini, iki inci ve eski bir Viyana'lı kız arkadaşını aldı. Schrödinger'in kendi kendine üstlendiği görev zamanın derme çatma sallantılı kuantum kuramını kurtarmaktı. Viyana'lı fizikçi dikkatini dağıtacak gürültülerden korunmak için incileri kulaklarına yerleştirdi. Schrödingerin görevi belirlenmişti. Yeni bir kuram yaratması *ve* hanımı mutlu etmesi gerekiyordu. Neyse ki görevini başardı. (Böyle taleplere hazır değilseniz fizikçi olmayın.)

Schrödinger kariyerine deneyci olarak başlamış ama oldukça erken bir dönemde kurama kaymıştı. O yılbaşı bir kuramcı için yaşlıydı, otuz sekizindeydi. Açıkçası etrafta pek çok orta yaşlı hattâ yaşlı kuramcı vardır. Ama genellikle en iyi çalışmalarını yirmilerinde yaparlar sonra entelektüelce konuşmak gerekirse otuzlarında fiziğin "yaşlı devlet adamları" olmak üzere emekli olurlar. Bu kayan yıldız görüngüsü Paul Dirac, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli ve Niels Bohr'un tümünün de en incelikli kuramlarını çok genç insanlarken oluşturduklarını görmüş olan kuantum kuramının en civcivli zamanında özellikle geçerliydi. Dirac ve Heisenberg Nobel ödüllerini almak için Stockholm'e gittiklerinde yanlarında anneleri vardı. Dirac bir keresinde şunları yazmıştı:

Yaş kuşkusuz ürpertir insanı
Her fizikçinin korkusu olmalı
Hareketsiz yaşayacağına ölsün daha iyi
Geçmişse bir kez otuz yaşını

(Nobel'ini fizik dalında almıştı edebiyat değil.) Bilimin şansına Dirac kendi dörtlüğünü çok ciddiye almadı da seksenlerine kadar yaşadı.

Schrödinger'in tatile yanında götürdüğü şeylerden biri, de Broglie'nin parçacıklar ve dalgalar üzerine makalesiydi. Hararetle çalışarak kuantum kuramını daha da geliştirdi. Elektronları yalnızca dalga özellikleri olan parçacıklar olarak ele almadı. Elektronların *dalgalar*, madde dalgaları olduğu bir eşitlikle ortaya çıktı. Schrödinger'in ünlü eşitliğinde baş aktör Yunanca psi ya da ψ simgesiydi. Fizikçiler eşitliğin her şeyi psi'lere (aah ah!) indirgediğini söylemeye bayılırlar. ψ *dalga fonksiyonu* diye bilinir ve elektron hakkında bildiğimiz ya da bilebileceğimiz her şeyi içerir. Schrödinger'in eşitliği çözüldüğünde ψ'nin uzayda ve zaman içinde değiştiğini verir. Daha sonra eşitlik çok elektronlu sistemlere ve sonunda kuantum yaklaşımı gerektiren herhangi bir sisteme uygulandı. Başka bir deyişle Schrödinger eşitliği ya da "dalga mekaniği" atomlara, moleküllere, protonlara, nötronlara ve bugün bizim için özellikle önemli olan diğer parçacıklar arasında quark kümelerine uygulandı.

Schrödinger klasik fiziğin imdadına yetişmişti. Elektronların ses dalgaları, su dalgaları ya da Maxwell'in elektromanyetik ışık ve radyo dalgaları gibi klasik dalgalar olduğunda ve parçacık yönlerinin yanılsatıcı olduğunda diretti. Onlar *madde dalgalarıydı.* Dalgalar iyi anlaşılmıştı, görselleştirilmeleri basitti, Bohr'un atomunun yörüngeden yörüngeye ister istemez sıçrayan elektronları gibi değildi. Schrödinger'in yorumunda ψ (aslında ψ'nin karesi ya da ψ^2) bu madde dalgasının yoğunluk dağılımını tanımlıyordu. Eşitliği atomun içindeki elektriksel kuvvetlerin etkisi altındaki bu dalgaları betimliyordu. Örneğin hidrojen atomunda Schrödinger'in dalgaları eski Bohr kuantum kuramının yörüngelerinden söz ettiği yerlerde yığılmaktaydı. Eşitlik Bohr yarıçaplarını hiçbir düzeltmeye gerek olmaksızın otomatik olarak veriyordu ve yalnızca hidrojen atomunun değil tüm diğer elementlerin de spektral çizgilerini sağlıyordu.

Schrödinger dalga eşitliğini villayı terk ettiği haftalar içinde yayınladı. Büyük bir sansasyon yarattı; maddenin yapısıyla uğraşmak için o güne dek tasarlanmış en güçlü matematiksel araçtı. (1960'a dek Schrödinger'in eşitliğinin uygulanmasına dayanan 100.000'den fazla makale yayınlanmıştır.) Hızla beş makale daha yazdı; bilim tarihinde en büyük yaratıcılık patlamalarından biri sayılacak altı ay içinde altı makale de yayınlandı. J.Robert Oppenheimer dalga mekaniği kuramının "insanın keşfettiği en mükemmel, en doğru ve en güzel kuramlardan biri" olduğunu söyledi. Büyük fizikçi ve matematikçi Arthur Sommerfeld Schrödinger'in kuramının "yirminci yüzyılın hayranlık uyandırıcı keşiflerinin en hayranlık uyandırıcısı" olduğunu söyledi.

Tüm bunlar yüzünden Schrödinger'i romantik oynaşmaları için kişisel olarak bağışlıyorum; zaten her şeyin ötesinde onlar yalnızca yaşamöykücülerini, sosyoloji tarihçilerini ve kıskanç meslektaşları ilgilendirir.

BİR OLASILIK DALGASI

Fizikçiler Schrödinger'in eşitliğini sevdiler çünkü onu çözebiliyorlardı ve o işe yarıyordu. Heisenberg'in matriks mekaniği ve Schrödinger'in eşitliği her ikisi de doğru yanıtı veriyor gibi görünmesine karşın çoğu fizikçi Schrödinger yönteminin üstüne atladı çünkü o

eski tanıdık diferansiyel eşitliğiydi, matematiğin sıcak, bildik bir biçimi. Birkaç yıl sonra Heisenberg'in ve Schrödinger'in kuramlarının fiziksel fikirleri ve sayısal sonuçlarının aynı olduğu gösterildi. Yalnızca farklı matematiksel dillerde yazılmışlardı. Bugün her iki kuramın en güvenilir yanlarının bir karışımı kullanılır.

Schrödinger'in eşitliğinin tek sorunu onun "dalga" yorumunun yanlış olmasıydı. ψ denen şeyin madde dalgalarını temsil edemediği ortaya çıktı. Bir tür dalgayı temsil ettiği kuşkusuzdu ama sorun dalgalarının ne olduğuydu.

Yanıt yine o olaylı 1926 yılında Alman fizikçi Max Born tarafından sağlandı. Born Schrödinger'in dalga fonksiyonunda ψ^2'nin değişik noktalarda bir parçacık, elektron, bulma *olasılığını* temsil ettiğinde diretti. ψ uzay ve zaman içinde değişir. ψ^2 büyükse elektronun bulunma olasılığı yüksektir. $\psi = 0$'sa elektron asla bulunmaz. Dalga fonksiyonu bir olasılık dalgasıdır.

Born bir elektron nehrinin bir tür enerji engeline yöneltildiği deneylerden etkilenmişti. Bu engel örneğin bir pilin diyelim – 10 voltluk eksi ucuna bağlanmış bir tel ekran olabilirdi. Eğer elektronların yalnızca 5 voltluk enerjileri varsa klasik görüşte "10 volt engeli" tarafından etkin biçimde püskürtüleceklerdi. Eğer bir elektronun enerjisi engelinkinden fazlaysa bir topun duvarın üstünden geçmesi gibi engelden geçer. Eğer enerjisi engelinkinden küçükse duvara atılmış top gibi elektron yansır. Ancak Schrödinger'in kuantum eşitliği ψ dalgalarının bazılarının geçtiğini, bazılarının da yansıdığını gösterir. Bu tipik ışık davranışıdır. Bir vitrinin önünden geçin, sergilenen eşyaları görürsünüz ama aynı zamanda kendinizin silik bir imgesini de görürsünüz. Işık dalgaları hem camdan geçer hem de yansır. Schrödinger'in eşitliği benzer sonuçları tahmin ediyordu. Ama hiçbir zaman bir elektronun parçasını göremeyiz!

Deney şöyledir: engele 1000 elektron göndeririz. Geiger sayaçları 550'sinin engeli geçtiğini 450'sinin yansıdığını ama her durumda saptananın bütün bir elektron olduğunu gösterir. Schrödinger dalgaları uygun biçimde karesi alındığında 550 ve 450'yi bir istatistiksel tahmin olarak verir. Eğer Born'un yorumunu kabul edersek tek bir elektron asla bölünemeyeceği için Schrödinger'in dalgası elektron olamaz. O yalnızca bir olasılık olabilir.

Born, Heisenberg'le birlikte Göttingen okulunun, profesyonel ve entelektüel yaşamları Almanya'da Göttingen Üniversitesinin çevresinde dolanan çağın en parlak fizikçilerinin bir kesimiydi. Born'un Schrödinger'in psi'sinin istatistiksel yorumu Göttingen okulunun elektronların parçacıklar olduğu inancından geliyordu. Onlar Geiger sayaçlarını tıkırdatıyorlar. Wilson bulut odalarında keskin izler bırakıyorlar. Başka parçacıklarla çarpışıp zıplıyorlar. Ama işte Schrödinger' in eşitliği doğru yanıtları veriyor ama elektronları dalgalar olarak tanımlıyor. O nasıl bir parçacık eşitliğine dönüştürülebilir?

İroni tarihin sürekli bir yoldaşı olmuştur; her şeyi değiştiren fikir (yine) Einstein tarafından 1911'de fotonlarla Maxwell'in klasik alan eşitliklerinin ilişkisi üzerine varsayımsal bir makalesinde verilmişti. Einstein alan niceliklerinin fotonları daha yüksek olasılıkları olan yerlere yerleşmeye yönelttiğini öne sürmüştü. Born'un parçacık-dalga çatışmasına getirdiği çözüm basitçe buydu: elektron (ve arkadaşları) en azından araştırıldıklarında parçacık gibi davranırlar ama ölçümler arasında uzayda dağılımları Schrödinger eşitliğinden doğan benzeri olasılık örüntülerini izler. Başka bir deyişle Schrödinger psi niceliği elektronların olası yerleşimini betimler. Ve bu olasılık bir dalga gibi davranabilir. Schrödinger işin zor kısmını halletmiş kuramın kalbinde yer alan eşitliği bulmuştu. Ama eşitliğin aslında neyi tahmin ettiğini ortaya çıkaran Einstein'ın makalesinden esinlenen Born'du. İroni Einstein'ın asla benimsemediği şeyin Born'un dalga fonksiyonunun olasılık yorumu olmasıdır.

BU NE DEMEK, YA DA BİÇKİ FİZİĞİ

Schrödinger eşitliğinin Born yorumu Newton'dan bu yana dünya görüşümüzdeki tek en dramatik ve büyük değişiklikti. Schrödinger'in fikri tamamen kabul edilemez bulması ve böyle saçmalıklarla ilgili bir eşitlik icat etmiş olduğunu reddetmesi şaşırtıcı değildir. Ancak Bohr, Heisenberg, Sommerfeld ve diğerleri pek az tartışmayla kabul ettiler çünkü "olasılık modaydı" Born'un makalesi eşitliğin yalnızca olasılığı tahmin edebileceği ama olasılığın matematiksel biçiminin mükemmel biçimde tahmin edilebilir yollar boyunca geliştiği yolunda düzgün ifadeli bir varsayım öne sürmüştü.

Bu yeni yolunda eşitlik, elektronun ne yapmakta olduğunu, enerjisinin ne olduğunu, nerede olacağını v.b. tahmin eden olasılık dalgalarıyla, ψ'yle uğraşır. Ancak bu tahminler olasılık biçimindedir. Elektron çevresinde "dalgalanan" tam da bu olasılık tahminleridir. Eşitliklerin bu dalga benzeri çözümleri yüksek olasılıkta toplanmak üzere yığılabilir ve başka yerlerde düşük olasılığı bildirmek üzere iptal olabilir. İnsan bu tahminleri sınarsa sonunda deneyi çok büyük sayıda tekrarlar. Aslında denemelerin çoğunda elektron sonunda eşitliğin olasılığın yüksek olduğunu söylediği yere ulaşır; yalnızca çok nadir olarak olasılığın düşük olduğu yere ulaşır. Nicel uzlaşma vardır. Şok edici olan görünürde tıpatıp aynı iki deneyde insanın tam farklı sonuçlar elde edebilmesidir.

Schrödinger'in eşitliği Born'un dalga fonksiyonunun olasılık yorumuyla çok büyük ölçüde başarılıydı. Hidrojen ve helyum ve yeterince büyük bir bilgisayar verilirse uranyumu anlamanın anahtarıydı. İki elementin bir molekül yapmak üzere nasıl birleştiğini anlamada kullanıldı ve kimyayı çok daha bilimsel temellere oturttu. Elektron hattâ proton mikroskoplarının inşasına olanak verdi. 1930-1950 döneminde çekirdeğin içine taşındı ve orada da atomdaki kadar üretken bulundu.

Schrödinger eşitliği yüksek bir doğruluk derecesinde tahmin ediyordu ama yineleyelim tahmin ettiği olasılıktı. Bu ne demek? Fizikteki olasılık yaşamdaki olasılığa benzer. Sigorta şirketi yöneticilerinin, giyim fabrikatörleri ve Talih 500 sanayiinin size güvence verecekleri gibi milyar dolarlık bir iştir. Yaşam sigortası uzmanları, diyelim 1941'de doğmuş beyaz, sigara içmeyen, ortalama Amerikalı erkeklerin 76.4 yaşına kadar yaşayacağını söyleyebilir. Ama aynı yılda doğmuş erkek kardeşiniz Sal hakkında sizi rahatsız edemezler. Çünkü tüm bildikleri onun yarın bir kamyonun altında kalabileceği ya da iki yıl içinde tırnağındaki bir iltihap yüzünden ölebileceğidir.

Chicago Üniversitesinde sınıflarımdan birinde öğrencilerim için giyim merkezinin patronunu oynadım. Çaput ticaretinde başarılı olmak parçacık fiziğinde kariyer yapmaya benzer. Her iki durumda da olasılığı iyi kavramanız ve tvid ceketlerle ilgili işlek bir bilginiz olması gerekir. Öğrencilerden boylarını şakımalarını istedim ben de her öğrencinin boyunu bir grafiğe işledim. İki tane 142 cm.lik bir tane

147 cm.lik dört tane 157 cm.lik v.b. öğrencim vardı. 198 cm.lik bir tanesi hepsinin dışında kalıyordu (Keşke Chicago'nun basketbol takımı olsaydı!) Ortalama 170 cm.di. 166 öğrenciyi yerleştirdikten sonra 170 cm.e dek basamak basamak yükselen sonra 198 anormalliğine doğru yavaş yavaş inen zarif, çan biçimi bir eğrim oldu. Şimdi öğrencilerin boylarına ilişkin bir "dağılım eğri"m vardı ve bilimsel beklentileri doyurmak için fiziği seçmenin eğriyi çarpıtmayacağından mantıksal olarak eminsem Chicago Üniversitesi öğrencilerinin boylarını temsil eden bir örneklemim vardır. Düşey skalaları kullanarak yüzdeleri okuyabilirim; örneğin yüzde kaç öğrencinin 157 cm.le 162 cm arasında bulunduğunu söyleyebilirim. Grafiğimle, eğer bu bilmek istediğim bir şeyse, ortaya çıkacak bir sonraki öğrencinin 162 cm.le 167 cm arasında olma olasılığının yüzde 26 olduğunu da söyleyebilirim.

Şimdi elbiseler yapmaya hazırım. Eğer bu öğrenciler benim hedef kitlemse (giyim işinde bu pek olası değil) yüzde kaç elbisemin 36, 38 v.b. bedende olması gerektiğini hesaplayabilirim. Eğer bir boy grafiğim olmazsa tahmin etmek zorunda olurum ve yanlış tahmin yaparsam sezon sonunda elimde satılmamış 137 tane 46 beden elbise kalır (tabii bunun suçunu da salak ortağım Jake'in üstüne atmak zorunda kalırım.)

Atomsal süreçlerle ilgili herhangi bir durumda çözüldüğü zaman Schrödinger eşitliği öğrenci boyu eğimine benzer bir eğri oluşturur. Ancak biçim oldukça farklı olabilir. Elektronun hidrojen atomunun neresinde takıldığını –çekirdekten ne uzaklıkta olduğunu– bilmek istersek 10^{-8} santimetrede keskince düşen bir dağılım buluruz yani yaklaşık yüzde 80 olasılıkla elektronu 10^{-8} santimetrelik yarıçap içinde bulabiliriz. Bu zemin durumudur. Eğer elektronu bir sonraki enerji düzeyine uyarırsak ortalama yarıçapı yaklaşık dört kat büyük bir çan eğrisi elde ederiz. Başka süreçlerin de olasılık eğrilerini hesaplayabiliriz. Burada *olasılık* tahminlerini *olanaklılıklar*dan kesin olarak ayırt etmeliyiz. Olanaklı enerji düzeyleri çok kesin olarak bilinir ama hangi enerji durumunda elektronun bulunacağını sorarsak yalnızca sistemin tarihine dayalı bir olasılık hesaplarız. Eğer elektronun bir alt enerji düzeyinde sıçrayabileceği birden çok seçenek varsa yine olasılıkları tahmin edebiliriz; örneğin yüzde 82 olasılıkla E_1'e, yüzde 9 olasılıkla

E_2'ye v.b. Democritus "Evrende var olan her şey rastlantının ve gerekliliğin ürünüdür" derken bunu en iyi biçimde anlatmıştı. Değişik enerji oluşumları gereklilikler, olası biricik koşullardır. Ama biz yalnızca bu olanaklı durumlardan herhangi biçimde elektronun bulunma olasılığını tahmin edebiliriz. Bu bir rastlantı sorunudur.

Olasılık kavramları günümüz yaşam sigortası uzmanlarınca iyi bilinir. Ama yüzyılın başlarında klasik fizik öğrenimi görmüş fizikçileri alt üst ediyorlardı (bugün de bir çok insanı alt üst etmeyi sürdürüyorlar). Newton determinist bir dünya tanımlamıştı. Eğer bir taş atarsanız, bir roket fırlatırsanız ya da bir güneş sistemine bir gezegen yerleştirirseniz kuvvetleri ve başlangıç koşullarını bildiğiniz sürece onun nereye gideceğini tam bir kesinlikle tahmin edebilirdiniz. Kuantum kuramı hayır diyordu: başlangıç koşulları kalıtsal olarak belirsizdir. Ölçmek istediğiniz şeyin tahminleri için yalnızca olasılıklar elde edebilirsiniz: bir parçacığın yeri, enerjisi, hızı ya da her neyse. Bohr'un Schrödinger yorumu Galileo ve Newton'dan beri üç yüzyıl boyunca determinizmi yaşam tarzı olarak benimsemiş fizikçileri sarsıyordu. Kuantum kuramı, onları üst düzey yaşam sigortası uzmanlarına dönüştürmekle tehdit ediyordu.

DAĞ BAŞINDA BİR SÜRPRİZ

1927'de İngiliz fizikçi Paul Dirac, o sırada Einstein'in özel görecelik kuramı nedeniyle garip görünen kuantum kuramını genişletmeye çalışıyordu. İki kuram Sommerfeld tarafından birbiri içine sokulmuştu. Dirac, iki kuramın birlikte mutlu olmasını sağlamaya, evliliği ve geçimi denetlemeye niyetliydi. Bunu yaparken elektron için yeni, zarif bir eşitlik buldu (gariptir ona Dirac eşitliği diyoruz). Bu güçlü eşitlikten elektronların dönmesi olması ve mıknatıslık üretmesi gerektiği söylemi doğdu. Bölümün başındaki g etmenini anımsayın. Dirac'ın hesaplamaları elektronun g ile ölçülen mıknatıslığının 2.0 olduğunu gösterdi. (Daha önce verilen kesin değerlere ulaştıran inceltmeler çok daha sonradır.) Daha başka! Dirac (yaş yirmi dört falan), eşitliğiyle elektron dalga çözümünü hesaplarken garip imaları olan bir başka çözüm daha olduğunu buldu. Elektronla aynı özelliklere

ama karşıt elektrik yüküne sahip bir başka parçacık olması gerekiyordu. Matematiksel olarak bu basit bir kavramdır. Tüm küçük çocukların bildiği gibi dördün kare kökü artı ikidir ama aynı zamanda eksi ikidir çünkü eksi iki kere eksi iki de dörttür: $2x2 = 4$ ve $-2x-2 = 4$. O halde iki çözüm vardır. Dördün kare kökü artı *ya da* eksi ikidir.

Dirac'ın eşitliğinin ima ettiği simetrinin sorunu her parçacık için aynı kütlede ama zıt yükte başka bir parçacık bulunması gerektiğidir. O zaman söylenceler oluşturmayacak kadar karizmasız biri olan Dirac eksi çözümleriyle uğraştı ve sonunda doğanın eksi elektronlar gibi artı elektronlar da içermesi gerektiğini tahmin etti. Birileri *karşımadde* terimini ortaya attı. Bu karşımadde her yerde olmalıydı, ama henüz hiç kimse bir tanesini saptayamamıştı.

1932'de Carl Anderson adında genç bir Cal Tech fizikçisi atom altı parçacıkları saptamak ve fotograflamak üzere bir bulut odası inşa etti. Parçacıkların yolunu saptırmak için enerjilerinin ölçüsünü veren güçlü bir mıknatıs aygıtını çevrelemişti. Anderson bulut odasında garip bir yeni parçacık yakaladı –ya da daha doğrusu onun izini. Bu yeni garip nesneye *pozitron* adını verdi çünkü eksi yük yerine artı yükü olması dışında bir elektronun aynısıydı. Anderson'un yayını Dirac'ın kuramına hiçbir gönderme yapmıyordu ama bağlantı hemen kuruldu. Yeni bir madde biçimini, birkaç yıl önce Dirac'ın eşitliğinden fırlayan karşıparçacığı bulmuştu. İzleri kozmik ışınlar, gökadamızın uzaklarından atmosferimize çarpan parçacıklardan çıkan radyasyon yapıyordu. Anderson daha iyi veriler elde etmek için aygıtını Pasadena'dan Colorado'da havanın daha ince, kozmik ışınların daha yoğun olduğu bir dağın tepesine taşıdı.

Anderson'un *New York Times*'ın keşfi haber veren kapağındaki resmi önemli bilimsel ölçümler yapmak için donanımını bir dağın tepesine aşırmak gibi romantik bir macerayla ilk kez karşılaşan genç Lederman için esin kaynağı oldu. Karşımaddenin çok önemli olduğu ortaya çıktı; parçacık fizikçilerinin yaşamının vazgeçilmez bir parçası oldu ve daha sonraki bölümlerde ondan daha çok söz edeceğime söz veriyorum. Kuantum kuramının bir başka başarısı.

KESİNSİZLİK VE TÜM BUNLAR

1927'de Heisenberg kuantum kuramı dediğimiz büyük bilimsel devrimin tepesine tüy diken kesinsizlik ilişkilerini icat etti. Doğrusu kuantum kuramı 1940'lara dek paketlenmedi. Aslında kuantum alanı kuramı versiyonunda evrimi bugün de sürmektedir ve kuram yerçekimiyle tümüyle birleşmeden tamamlanmış olmayacaktır. Ama bizim amaçlarımız için kesinsizlik ilkesi ulaşılacak iyi bir noktadır. Heisenberg'in kesinsizlik ilişkileri Schrödinger eşitliğinin matematiksel bir sonucudur. Yeni kuantum mekaniğinin mantıksal önermeleri ya da varsayımları da olabilir. Heisenberg'in düşünceleri kuantum dünyasının tam da nasıl olduğunu anlamak için hayati olduğu için burada biraz oyalanmamız gerekiyor.

Kuantum tasarımcıları yalnızca deneycilerin yüreklerindeki aslanın, ölçümün, sayılabileceğinde direttiler. Bu kuramdan bekleyebileceğimiz tek şey ölçülebilir olayların sonuçlarını tahmin etmesidir. Bu kulağa apaçık bir şey gibi geliyor ama onu unutmak kültürsüz popüler yazarların sömürmeye bayıldıkları sözde paradokslara götürür. Ve şunu eklemem gerekir, kuantum kuramının geçmiş, şimdiki ve hiç kuşkusuz gelecekteki eleştirmenleriyle karşılaştığı yer ölçüm kuramıdır.

Heisenberg bizim bir parçacığın yeri ve devinimi hakkındaki *eşzamanlı* bilgimizin sınırlı olduğunu ve bu iki özellik için bileşik kesinsizliğimizin ilk kez $E=hf$ formülünde karşılaştığımız Planck sabiti h'yi aşması gerektiğini bildirmişti. Parçacığın yeri ve devinimi (aslında momenti) ölçümlerimiz birbiriyle ters orantılıdır. Biri hakkında ne kadar çok şey biliyorsak diğeri hakkında o kadar az şey biliriz. Schrödinger eşitliği bize bu iki etmen hakkında olasılıklar verir. Eğer bir elektronun yerini –yani son derece küçük yer kesinsizliğiyle bazı koordinatlarda olduğunu– saptayacak bir deney düzenlersek Heisenberg'in ilişkisine göre momentin olası değerlerinin yayılımı buna uygun olarak büyük olacaktır. İki kesinsizliğin ürünü (onlara sayılar atayabiliriz) her zaman Planck'ın her yerde hazır ve nazır h'sinden büyüktür. Heisenberg'in ilişkileri ilk kez ve sonsuza dek klasik yörüngeler tablosunu çöpe atmıştır. Yerleşim ya da yer kavramının kendisi artık daha az belirlidir. Newton'a ve gözümüzde canlandırabileceğimiz bir şeylere geri dönelim.

Üzerinde bir Hyundai'nin saygın bir hızda dolandığı düzgün bir yolumuz olduğunu varsayalım. Önümüzden vınlayıp geçerken belli bir andaki yerini ölçeceğimize karar veriyoruz. Aynı zamanda ne hızla gittiğini de bilmek istiyoruz. Newton fiziğinde bir nesnenin belli bir anda konumunu ve hızını saptamak, insanın herhangi bir gelecek zamanda onun tam olarak nerede bulunacağını hesaplamasına olanak verir. Ancak cetvellerimizi, saatlerimizi, flaşlarımızı ve kameralarımızı düzenlediğimizde konumu ne denli özenli ölçersek hızı ölçme yeteneğimizin o denli zayıfladığını buluruz ve bunun tersi. (Hızın, konumun değişiminin zamana bölümü olduğunu anımsayın.) Ancak klasik fizikte her iki niceliğe ilişkin keyfi kesinlikte bir doğruluğu sürekli olarak geliştirebiliyoruz. Bazı hükümet yetkililerinden daha iyi donanım geliştirmek için bazı fonlar istememiz yetiyor.

Atom evreninde tersine Heisenberg herhangi bir miktarda donanım, beceri ya da devlet bursuyla azaltılamayan temel bir bilinmezlik önerdi. İki kesinsizliğin ürününün her zaman Planck sabitini aşmasının doğanın temel bir özelliği olduğunu öne sürdü. Kulağa garip gelmesine karşın mikrodünyanın ölçülebilirliğindeki bu kesinsizliğin fiziksel bir temeli vardır. Örneğin bir elektronun konumunu çivilemeye çalışalım. Bunu yapmak için onu "görmeniz" gerekir. Yani elektrondan ışık, bir foton ışını, zıplatmak zorundasınızdır. Tamam, işte! Şimdi elektronu görüyorsunuz. Bir zaman parçasındaki yerini biliyorsunuz. Ama elektronu sıyırıp geçen bir foton elektronun hareket durumunu değiştirir. Bir ölçüm diğerini bozar. Kuantum mekaniğinde ölçüm kaçınılmaz biçimde değişiklik üretir çünkü atomsal sistemlerle uğraşıyorsunuzdur ve ölçü aygıtlarımız daha küçük, daha narin ya da daha kibar olamaz. Atomların yarıçapı bir santimetrenin on milyarda biridir ve ağırlığı bir gramın milyar kere milyarda birinin milyonda biri kadardır bu nedenle onları derinlemesine etkilemek zor değildir. Klasik bir sistemde ise ölçme işleminin ölçülen sistemi pek de etkilemediğinden emin olunabilir. Varsayalım ki su sıcaklığını ölçmek istiyoruz. Diyelim içine küçük bir termometre sokarak bir gölün ısısını değiştirmeyiz. Ama bir fincan suya şişman bir termometre daldırmak aptalca olur çünkü termometre suyun ısısını değiştirirdi. Kuantum kuramı atomsal sistemlerde ölçümü sistemin bir parçası olarak dahil etmemizi söyler.

ÇİFT YARIĞIN CAN ÇEKİŞMESİ

Kuantum kuramının sezgi karşıtı doğasının en önemli ve en öğretici örneği çift yarık deneyidir. Bu deney ilk kez Thomas Young adlı bir fizikçi tarafından 1804'de yapılmıştı ve ışığın dalga doğasının deneysel kanıtı olarak tasarlanmıştı. Deneyci diyelim sarı bir ışık demetini üzerinde çok az aralıkla iki tane çok ince yarık açtığı bir duvara yöneltti. Uzaktaki bir ekran yarıklardan sızan ışığı yakalıyordu. Young yarıklardan birini kapatınca diğer yarığın yalın, parlak, hafifçe genişlemiş bir görüntüsü ekrana yansıyordu. Ama iki yarık ta açılınca sonuç şaşırtıcıydı. Ekrandaki ışıklı alanın dikkatli bir incelenmesi eşit aralıklı bir dizi parlak ve karanlık şeritler ortaya koyuyordu. Karanlık şeritler ışığın hiç ulaşmadığı yerlerdi.

Young, şeritler ışığın bir dalga olduğunun kanıtlarıdır dedi. Neden? Onlar herhangi bir türden dalgalar birbirine çarpınca oluşan bir girişim örneğidir. Örneğin iki su dalgası tepe tepeye çarpışırsa birbirini pekiştirir ve daha büyük bir dalga yaratır. Çukur tepeye çarparsa birbirini iptal eder. Dalga düzleşir.

Young'ın çift yarık deneyini yorumlaması iki yarıktan gelen dalga biçimi karışıklıkların belli noktalarının ekrana tam birbirini iptal edecek evrede ulaştıkları biçimindeydi: birinci yarığın ışık dalgasının bir zirvesi ikinci yarıktan bir ışığın tam da çukuruna rastlıyordu. Bunun sonucu bir karanlık şeritti. Böyle iptal edişler dalga girişiminin temel göstergeleridir. İki zirve ya da iki çukur ekranda buluşursa parlak bir şerit elde ederiz. şerit örneği ışığın bir dalga görüngüsü olduğunun kanıtı olarak kabul edildi.

Şimdi ilke olarak aynı deney elektronlarla gerçekleştirilebilir. Davisson'un Bell Laboratuarlarında yaptığı gibi. Elektronlar kullanıldığında deney yine bir girişim örneği ortaya koyar. Ekran bir elektron çarptığında tıkırdayan Geiger sayaçlarıyla kaplıdır. Geiger sayaçları *parçacıkları* tararlar. Sayaçların çalıştığını anlamak için ikinci yarığın üzerine kalın bir kurşun parçası koyarız: hiçbir elektron geçemez. Şimdi eğer birkaç bin elektronun açık kalan yarıktan geçmesine yetecek kadar beklersek tüm Geiger sayaçları tıkırdar. Ama iki yarık açıksa bazı Geiger sayacı sütunları hiç tıkırdamaz!

Bir dakika. Durun bakalım. Bir yarık kapalıyken diğer yarıktan sızan elektronlar dağılıyor, bazıları sola gidiyor, bazıları düz, bazıları sağa ve ekranda kabaca tek düze bir tıkırtı örneği oluşturuyorlar; tıpkı Young'un tek yarık deneyinde sarı ışığının geniş parlak bir çizgi oluşturması gibi. Başka bir deyişle elektronlar çok ussal bir biçimde parçacıklar gibi davranmaktadır. Ama eğer kurşunu kaldırır ve bazı elektronların ikinci yarıktan geçmesine izin verirsek örüntü değişir. Karanlık çizgi yerleşimine uyan sütunlardaki Geiger sayaçlarına hiçbir elektron ulaşmaz. Şimdi elektronlar dalgalar gibi davranmaktadır. Yine de onların parçacıklar olduğunu biliriz çünkü sayaçlar tıkırdıyordur.

Belki iki ya da daha çok elektronun yarıklardan eşzamanlı geçmediğini doğrulamak için dakikadaki elektron sayısını azaltırız. Aynı örnekler. Sonuç: birinci yarıktan geçen elektronlar ikinci yarığın açık ya da kapalı olduğunu biliyorlar çünkü her durumda örüntülerini değiştiriyorlar.

Bu "zeki" elektronlar fikrine nereden geldik? Kendinizi deneycinin yerine koyun. Bir elektron tabancamız var bu nedenle yarıklara parçacıklar attığınızı biliyorsunuz. Parçacıkların hedefe, ekrana ulaştığını da biliyorsunuz çünkü Geiger sayaçları tıkırdıyor. Bir tıkırtı bir parçacık demektir. O halde ister tek isterse iki yarığınız açık olsun parçacıklarla başlayıp parçacıklarla bitiriyoruz. Ancak parçacıkların nereye konacağı bir mi yoksa iki yarığın ını açık olduğuna bağlı. O halde birinci yarıktan geçen bir parçacık ikinci yarığın açık mı yoksa kapalı ını olduğunu biliyor gibi görünüyor çünkü görünüşe göre bu bilgiye bağlı olarak yolunu değiştiriyor. Eğer ikinci yarık kapalıysa kendi kendine "Tamam" diyor "ekranda herhangi bir yere inebilirim." Eğer ikinci yarık açıksa "Ah ah!" diyor. Çizgili bir model oluşsun diye "ekranda belli bandlardan kaçınmalıyım." Parçacıklar "bilemeyeceği" için bizim dalga–parçacık belirsizliğimiz bir mantık krizi yaratıyor.

Kuantum mekaniği elektronların yarıklardan geçme ve daha sonra ekrana ulaşma olasılığını tahmin edebileceğimizi söylüyor. Olasılık bir dalgadır ve dalgalar iki yarık girişim örüntülerini sergilerler. İki yarık açık olduğunda ψ olasılık dalgaları ekranın belli yerlerinde sıfır olasılık ($\psi = 0$) sonucu verecek biçimde girişim yapabilir. Bir önceki paragraftaki insanlaştırılmış yakınma klasik bir kalıntıdır; kuantum dünyasında "Elektron hangi yarıktan geçeceğini nasıl bilir?" sorusu

ölçümle yanıtlanabilecek bir soru değildir. Elektronun nokta nokta rotası gözlemlenemez bu yüzden de "Elektron hangi yarıktan geçti?" sorusu işe yaramayan bir sorudur. Heisenberg'in kesinsizlik ilişkileri, elektronun elektron tabancası ile duvar arasındaki rotasını ölçmeye çalıştığınızda elektronun devinimini tümüyle değiştireceğinize ve deneyi bozacağınıza işaret ederek bu takıntımızı da çözer. Başlangıç koşullarını (tabancadan ateşlenen elektron) bilebiliriz; sonuçları (ekranın bir noktasına çarpan elektron) bilebiliriz; deneyin canına okumaya kalkışmadıkça A dan B'ye yolu *bilemeyiz*. Bu, atom içindeki yeni dünyanın hayaletsi doğasıdır.

Yani kuantum mekaniği çözümü Takma Kafana'dır! Onu ölçememiz yeterince mantıklı ama çevremizdeki dünyanın ayrıntılarını anlamaya çabalayan çoğu insan aklını tatmin etmez. Bazı işkence çekmiş ruhlar için kuantum bilinmezliği hâlâ yüksek bir bedeldir. Savunmamız: şimdilik işlediğini bildiğimiz tek kuram bu.

NEWTON'A KARŞI SCHRÖDİNGER

Yeni bir sezgi geliştirilmelidir. Fizik öğrencilerine klasik fizik öğretmek için yıllar harcadık, sonra çark ettik ve onlara kuantum kuramı öğrettik. Mezunların kuantum sezgisini geliştirmeleri iki ya da daha çok yıl sürdü. (Sen şanslı okur, bu dönüşü bir bölümlük aralıkta becermen bekleniyor.)

Apaçık soru hangisi doğru sorusu? Newton'un kuramı mı Schrödinger'inki mi? Zarf lütfen. Ve kazanan... Schrödinger! Newton'un fiziği büyük şeyler için geliştirilmişti; atomun içinde çalışmaz. Schrödinger'in kuramı mikro görüngüler için düzenlendi. Yine de Schrödinger'in eşitliği makroskopik koşullara uygulandığında Newton'unkilerin aynı sonuçları verir.

Klasik bir örneğe bakalım. Dünya güneşin çevresinde döner. Bir elektron –Eski Bohr dilini kullanacak olursak– bir çekirdeğin çevresinde döner. Ancak elektron özel yörüngelere sıkışmıştır. Dünya gezegeninin güneş çevresinde yalnızca belirli kuantum yörüngeleri mi olasıdır? Newton hayır derdi gezegen nerede isterse döner. Ama doğru yanıt evettir. Schrödinger eşitliğini dünya–güneş sistemine uygulaya-

biliriz. Schrödinger'in eşitliği olağan farklı yörüngeler dizisi verecektir ama onlardan çok büyük sayılarda bulunur. Eşitliği kullanarak dünyanın kütlesini (elektronun kütlesi yerine) paydaya yerleştirirsiniz öyle ki dünyanın bulunduğu yörüngesel yerleşimler, diyelim güneşten 149 milyon kilometre ötede öyle küçük olur ki (sözgelimi santimetrenin milyarda birinin milyarda biri) sonuçta sürekli sayılırlar. Tüm pratik amaçlar için Newtoncu *tüm* yörüngelerin olanaklı olduğu sonucuna varırsınız. Schrödinger'in eşitliğini alıp makro nesnelere uyguladığımızda gözlerimizin önünde $F = ma$'ya değişir. Ya da yakınlarına. Bu arada Newton'un formüllerinin büyük uzaklıklarda iyi olan ama mikrodünyada yaşayamayacak yaklaşık değerler olduğundan kuşkulanan, on sekizinci yüzyılda Roger Boscovich'di. Bu nedenle bizim doktora öğrencilerimizin mekanik kitaplarını atmaları gerekmiyor. NASA'da ya da Chicago Cubs'da bir iş bulabilirler eski güzel Newtoncu eşitliklerle roket dönüş rotalarını ya da atışları hesaplayabilirler.

Kuantum kuramında yörüngeler kuramı ya da elektronun atomun ya da bir ışının içinde ne yaptığı sorusu yararsızdır. Önemli olan bir ölçümün sonucudur ve burada kuantum yöntemleri yalnızca olası herhangi bir sonucun olasılığını tahmin edebilir. Diyelim bir hidrojen atomunda elektronun nerede olduğunu ölçerseniz sonucunuz bir sayı olabilirdi, elektronun çekirdekten uzaklığı. Bunu tek bir elektronu ölçerek değil ölçümü bir çok kez yineleyerek yaparsınız. Her defasında farklı bir sonuç elde edersiniz ve sonunda tüm sonuçlar için bir eğri grafiği çıkarırsınız. Kuramla kıyaslanabilecek olan bu eğridir. Kuram herhangi bir belli ölçümün sonucunu tahmin edemez. Benim biçki benzetmeme dönecek olursak Chicago Üniversitesi öğrencilerinin ortalama boyunun 170 cm olduğunu biliyorsak bir sonraki yeni öğrenci hâlâ 160 cm ya da 185 cm olabilir. Bir sonraki öğrencinin boyunu tahmin edemeyiz; yalnızca bir tür sigorta istatistikleri eğrisi çizebiliriz.

Bunun hayaletsi bir hal aldığı yer bir parçacığın bir engelden geçişi ya da radyoaktif bir atomun yarılanma ömrüdür. *Aynı* kurguyu bir çok kez hazırlarız. 5.00 MeV'luk bir elektronu 5.50 MeV'luk bir engele bir çok kez fırlatırız. 100'de 45 kez geçeceğini tahmin ederiz. Ama belli bir elektronun ne yapacağından emin olamayız. Biri geçer, her bakımdan aynı olan bir sonraki geçmez. Benzer deneylerin farklı

sonuçları olur. Bu kuantum dünyasıdır. Klasik bilimde deneyleri yinelemenin önemine vurgu yaparız. Kuantum dünyasında sonuçların dışında her şeyi yineleyebiliriz.

Aynı biçimde nötronu alalım; "yarı ömrü" 10.3 dakikadır, yani 1000 nötronla başlarsanız yarısı 10.3 dakikada parçalanır. Ama belli bir nötron? 3 saniyede ya da 29 dakikada bozulabilir. Onun kesin bozulma zamanı tahmin edilemez. Einstein bu fikirden nefret eder. "Tanrı evrenle barbut atmaz." demiştir. Diğer eleştirmenler her nötronun ya da her elektronun içinde bir mekanizma, bir zemberek, her nötronu farklı kılan bir "gizli değişken" bulunduğunu varsayın demişlerdir; tıpkı ortalama bir ömrü olan insanlar gibi. İnsan örneğinde düşen asansörleri, felakete götüren aşkları ya da kontrolden çıkmış bir Mersedesi katmazsanız pek de gizli olmayan –genler, tıkalı atardamarlar v.b.– ve ilke olarak bir bireyin ölüm gününü hesaplamada kullanılabilecek pek çok şey vardır.

Gizli değişken varsayımı iki nedenle temelde çürütülmüştür: elektronlar üzerinde yapılan milyarlarca deneyde böyle hiçbir değişken gösterilememiştir ve kuantum mekaniği deneyleriyle ilişkili yeni, gelişmiş kuramlar onları dışarıda bırakır.

KUANTUM MEKANİĞİ HAKKINDA ANIMSANMASI GEREKEN ÜÇ ŞEY

Kuantum mekaniğinin üç kayda değer niteliği olduğu söylenebilir: (1) Sezgi karşıtıdır (2) çalışır ve (3) Einstein ve Schrödinger'in beğenileri için kabul edilemeyen ve 1990'larda onu sürekli çalışma kaynağı yapan yönleri vardır. Bunlara teker teker değinelim.

1. Sezgi karşıtıdır. Kuantum mekaniği ayrı ayrı oluşum yerine sürekliliği geçirmiştir. Mecazi olarak bardağa dökülen bir sıvının yerine çok ince kumdur. Duyduğumuz düzgün uğultu kulak zarlarımızı döven çok büyük sayılarda atomdur. Sonra çift yarık deneyinin hayaletsiliği var, hani tartışmıştık.

Bir başka sezgi karşıtı görüngü "tünelleme"dir. Bir enerji engeline elektronlar göndermekten söz etmiştik. Klasik benzetme bir topu yokuş yukarı yuvarlamaktır. Eğer topa başlangıçta yeterince itiş

(enerji) verirseniz tepeyi aşar. Eğer başlangıç enerjisi çok düşükse top aşağı geri gelir. Ya da treni iki dehşet verici yokuş arasındaki çukurda sıkışmış bir luna park tek raylı treni düşünün. Varsayın ki tren bir yokuşu yarısına kadar çıkıyor ve gücünü yitiriyor. Geriye kayacak sonra öteki yokuşu yarıya kadar çıkacak sonra ileri geri salınacak ve çukurda sıkışacaktır. Sürtünmeyi yok edebilseydik tren iki tırmanılmaz tepe arasında hapsolup sonsuza dek salınırdı. Kuantum atom kuramında böyle bir sistem sınır durumu diye bilinir. Ancak bir enerji engeline hedeflenen ya da iki engel arasında sıkışmış elektronlara olup bitenler hakkındaki tanımımız olasılık dalgalarını da içermelidir. Dalgaların bazılarının engelin içinden "sızabileceği" (atomsal ya da çekirdeksel sistemlerde engel ya elektriksel kuvvettir, ya da güçlü kuvvet.) ve bu nedenle hapsolmuş parçacığın tuzağın dışında görüneceği yolunda sınırlı bir olasılık olduğu ortaya çıkar. Bu yalnızca sezgi karşıtı değildir büyük bir paradoks olarak da görülür çünkü engelin içinden geçen elektronun eksi kinetik enerjisi olacaktır -- bir klasik saçmalık. Ama gelişmekte olan kuantum sezgisiyle insan gözlemlenmediği ve bu yüzden de fiziğin sorunu olmadığı yanıtını verir. İnsan neyi gözlemlerse onu anlar. Tünelleme denilen bu görüngü alfa radyoaktivitesini açıklamada kullanılır. Tünel diyot denilen önemli bir katı hal elektronik aygıtın temelidir. Hayaletsi ama bu tünel etkisi çağdaş bilgisayarlar ve diğer elektronik aygıtlar için esastır.

Nokta parçacıklar, tünelleme, radyoaktivite, çift yarık ıstırabı -- tüm bunlar 1920'lerin sonlarında ve 30'larda yeni entelektüel donanımlarıyla açıklanmamış görüngüleri arayarak dolanırken kuantum fizikçilerinin gereksindiği yeni sezgilere katkıda bulundular.

2. Çalışır. 1923-1927 olaylarının bir sonucu olarak atom anlaşıldı. Böyle olduğu halde o bilgisayar öncesi günlerde yalnızca basit atomlar –hidrojen, helyum, lityum ve içinden bazı elektronlar çıkan (iyonize olan) atomlar– uygun biçimde çözümlenebildi. Bir yarma hareketi *wunderkinder*'lerden[1] biri, görecelik kuramını ondokuz yaşında anlamış olan ve yaşlı bir devlet adamı olarak fiziğin "enfant terrible[2]"i haline gelen Wolfgang Pauli tarafından gerçekleştirildi.

---

[1] *[(Alm.) Harika çocuk –çev.]*
[2] *[(Fr.) Müthiş çocuk – çev.]*

Pauli için biraz konu dışına çıkmak bu noktada kaçınılmaz. Yüksek standartları ve huysuzluğuyla Pauli, zamanında fiziğin vicdanıydı. Yoksa sadece tarafsız mıydı? Abraham Pais Pauli'nin bir keresinde ona üzerinde çalışmak için uğraştırıcı bir problem bulmada zorlandığından yakındığını bildirmiştir: "Belki de çok fazla şey bildiğim için." Övünme değil, yalnızca saptama. Asistanlarına karşı sert olduğunu tahmin edebilirsiniz. Genç yeni bir asistan, geleceğin önde gelen kuramcısı, Victor Weisskopf Zürih'te ona tanıtıldığında Pauli Weisskopf'a yukarıdan bakmış, kafasını sallamış ve mırıldanmış "Ach çok genç ve henüz tanınmamış." Birkaç ay sonra Weisskopf Pauli'ye bir kuramsal çabasını bildirmiş. Pauli bir göz atmış ve "Ach" demiş "Yanlış bile değil!" Doktoralı bir asistanına "Yavaş düşünmene aldırmıyorum." demiş. "Aldırış ettiğim düşündüğünden daha hızlı yayın yapman" Hiç kimse Pauli'den kurtulamazdı. Bir adamı asistan olarak son yıllarında tekleştirilmiş bir alan kuramı üzerine verimsiz araştırmaları için matematiksel garipliklere dalan Einstein'a tavsiye ederken Pauli şunları yazmıştı: "Sayın Einstein, Bu öğrenci iyi ama matematikle fizik arasındaki ayırımı açık olarak kavramamıştır. Öte yandan siz sayın Üstad bu ayırımı çoktan yitirmiş bulunuyorsunuz." İşte oğlumuz Wolfgang.

1924'de Pauli, Mendeleev'in elementlerin periyodik tablosunu açıklayan köklü bir ilk önerdi. Problem: Çekirdeğe artı yük ve atomun farklı olası enerji durumlarına (eski kuantum kuramında yörüngeler) elektronlar ekleyerek daha ağır kimyasal elementlerin atomlarını inşa ediyoruz. Elektronlar nereye gider? Pauli, Pauli'nin dıştalama ilkesi diye bilinir hale gelen şeyi duyurdu: hiçbir iki elektron aynı kuantum durumunu işgal edemez. Başlangıç olarak esinlendirici bir tahmin, ilkenin derin ve güzel bir simetrinin sonucu olduğu ortaya çıktı.

Bakalım Noel Baba atölyesinde kimyasal elementleri nasıl yapıyor. Bunu doğru yapmak zorundadır çünkü bunu Tanrı adına yapmaktadır ve Tanrı serttir. Hidrojen kolay. Bir proton –çekirdek– alır. En düşük olası enerji durumunu –eski Bohr kuramında (ki hâlâ resimsel olarak yararlıdır) olası en küçük yarıçaptaki yörünge– işgal edecek bir elektron ekler. Noel Baba dikkatli olmak zorunda değildir; yalnızca elektronu protonun yakınlarında herhangi bir yere bırakır ve o sonunda en düşük "zemin" durumuna yolda fotonlar saçarak "sıçrar"

Şimdi helyum. İki artı yükü olan helyum çekirdeğini toplar. İki elektron bırakması gerekir. Ve lityumla elektriksel olarak nötr atom yapmak için üç elektron ister. Soru, bu elektronlar nereye gidiyor? Kuantum dünyasında yalnızca belli durumlara izin vardır. Üç, dört, beş elektron hepsi de zemin durumunu mu dolduruyor? Bu Pauli ilkesinin işe karıştığı nokta. Hayır diyor Pauli, hiçbir iki elektron aynı kuantum durumunda olamaz. Helyumda ikinci elektronun en düşük enerji durumundaki ilk elektrona katılmasına *ancak* partnerinin tersine bir dönüşü varsa izin verilir. Lityum atomu için üçüncü elektronu eklediğimizde en düşük enerji düzeyinden dıştalanır ve ikinci en düşük düzeye gitmek zorundadır. Bunun daha büyük bir yarıçapı olduğu (yine à la Bohr kuram) böylece lityumun kimyasal etkinliğinden –yani bu yalnız elektronu kullanma ve başka atomlarla birleşme kolaylığı– sorumlu olduğu ortaya çıkar. Lityumdan sonra dört elektronlu atom berilyum gelir, onda da dördüncü elektron üçüncüye, enerji düzeylerine verilen adla söyleyecek olursak onun "kabuğunda" katılır.

Neşeyle devam ederken –berilyum, bor, karbon, azot, oksijen, neon– her kabuk dolana dek elektronlar ekleriz. Bu kabukta başka olmaz diyor Pauli. Yeni bir taneye başlayın. Kısaca kimyasal özelliklerin ve davranışların düzenliliği tümüyle Pauli ilkesi yoluyla bu kuantum iskeletinden kaynaklanır. Onyıllar önce bilimciler Mendeleev'in elementleri niteliklerine göre sıralar ve sütunlar halinde sıralamakta diretmesini küçümsemişlerdir. Pauli bu periyodikliliğin kesinlikle elektronların farklı kabukları ve kuantum durumlarıyla bağlantılı olduğunu gösterdi: ilk kabuğa iki tane uyuyordu, ikinciye sekiz, üçüncüye sekiz v.b. Periyodlar tablosunun aslında daha derin bir anlamı vardı.

Bu önemli fikri özetleyelim. Pauli kimyasal elementlerin elektron yapılarını nasıl değiştirdiklerine ilişkin bir kural icat etmişti. Bu kural kimyasal özellikleri (asal gaz, etkin metal v.b.) elektron sayısı ve durumlarına bağlayarak açıklar, özellikle başka atomlarla en kolay temas kurabilecekleri en dış kabuklardaki elektronlarınkine. Pauli ilkesinin dramatik sonucu eğer bir kabuk doluysa o kabuğa ek bir elektron eklemenin olanaksız olmasıdır. Direnen kuvvet çok büyüktür. Maddenin içine girilememesinin asıl nedeni budur. Atomlar yüzde

99.99 boş uzaydan oluştuğu halde bir duvarın içinden geçmede ciddi bir sorunu vardır. Belki bu engellenmeyi paylaşırsınız. Neden? Atomların birbirine karmaşık elektriksel çekimlerle kilitlendiği katılarda bedenimizin elektronlarının "duvar" atomlarına sokuşturulması Pauli'nin elektronların birbirine çok yakın olma yasağıyla karşılaşır. Bir mermi bir duvarı delebilir çünkü o atom–atoma bağları parçalar ve tıpkı bir rugby oyuncusu gibi kendi elektronlarına yer açar. Pauli'nin ilkesi nötron yıldızları ve kara delikler gibi garip ve romantik sistemlerde de hayati bir rol oynar. Ama konudan ayrılıyorum.

Bir kez atomları anlayınca onların moleküller, örneğin H_2O ya da NaCl yapmak için nasıl birleştikleri problemini çözeriz. Moleküller birleşen atomların elektronları ve çekirdekleri arasındaki karmaşık kuvvetlerle biçimlenirler. Kabuklarında elektronların düzenlenmesi kararlı bir molekül yaratmanın anahtarını sağlar. Kuantum kuramı kimyaya sağlam bilimsel bir temel verir. Bugün kuantum kimyası sürekli gelişen bir alandır ve moleküler biyoloji, genetik mühendisliği ve moleküler tıp gibi disiplinler ondan türemiştir. Maddi bilimde kuantum kuramı metallerin, yalıtkanların, süper iletkenlerin ve yarı iletkenlerin özelliklerinin açıklanması ve kontrolünde yardımcı olur. Yarı iletkenler kaşiflerinin esin kaynağı olarak metallerin kuantum kuramına tam not verdikleri transistörün keşfine yol açmıştır. Bu keşiften de bilgisayarlar, mikroelektronik ve de iletişim ve bilişim devrimleri doğdu. Daha sonra da tümüyle kuantum sistemleri olan maserler ve laserler geldi.

Ölçümlerimiz atom çekirdeğine ulaştığında –atomdan 100 000 kat küçük bir ölçek– kuantum kuramı bu yeni rejimde temel bir âletti. Astrofizikte yıldızsal süreçler güneşler, kırmızı devler, beyaz cüceler, nötron yıldızları ve kara delikler gibi ekzotik nesneler üretirler. Bu nesnelerin yaşam öyküleri kuantum kuramına dayanır. Toplumsal yarar açısından, hesapladığımıza göre kuantum kuramı Gayrı Safi Milli Hasılanın tüm endüstriyel güçlerinin yüzde 25'i tutarındadır. Düşünün bir kez şurada Avrupalı fizikçiler atom nasıl çalışır takıntısı içindeler ve onların çabalarından trilyonlarca dolarlık ekonomik etkinlik çıkıyor. Keşke akıllı ve ileriyi gören hükümetler kuantum teknolojisi ürünlerine araştırma ve eğitime ayrılmak üzere yüzde 0.1 vergi koysalar... Neyse, o gerçekten çalışır.

3. Problemleri vardır. Bu konu dalga fonksiyonu (psi ya da ψ) ve onun ne demek olduğuyla ilgilidir. Kuantum kuramının büyük pratik ve entelektüel başarısına karşın kuramın ne anlama geldiğini bildiğimizden emin olamayız. Rahatsızlığımız belki insan aklının içsel özelliğidir ya da sonunda bazı dahiler herkesi mutlu edecek kavramsal bir şemayla ortaya çıkacaklardır. Eğer bu sizi hasta ediyorsa üzülmeyin. Pek çok yandaşınız var. Kuantum kuramı, aralarında Planck, Einstein, de Broglie ve Schrödinger de olmak üzere bir çok fizikçiyi mutsuz etmiştir.

Kuantum kuramının olasılıksal doğasına karşı çıkan zengin bir literatür vardır. Einstein savaşı başlatmıştı ve (izlemesi kolay olmayan) büyük bir çabalar dizisi içinde kesinsizlik ilişkilerini yıkmaya çalışırken şimdi dalga fonksiyonunun "Kopenhag Yorumu" diye bilinen şeyi kurmuş olan Bohr tarafından önlendi. Bohr ve Einstein gerçekten çok çabaladılar. Einstein yeni kuantum kuramını kalbinden vuracak bir ok olan bir düşünsel deney icat ederdi ve Bohr bir hafta sonu boyunca sıkı çalışıp Einstein'ın mantığındaki yanlışı bulurdu. Einstein kötü çocuktu; bu çatışmaların çomak sokucusu. Din sınıfındaki baş belası bir çocuk gibi. ("Eğer Tanrının gücü her şeye yetiyorsa kendisinin de kaldıramayacağı kadar ağır bir kaya yaratabilir mi?") Kuantum kuramındaki paradoksları ortaya atar dururdu. Bohr, Einstein'ın karşı çıkışlarını önleyen papazdı.

Tartışmalarının çoğunun ormanda yürüyüşler sırasında geçtiğine ilişkin bir öykü anlatılır. Kocaman bir ayıyla karşılaştıklarında ne olup bittiğini düşleyebiliyorum. Bohr hemen sırt çantasından 300$'lık pompalı Reebock koşu ayakkabıları çıkarıp giyinmeye başlar. Einstein mantıklıca "Ne yapıyorsun Niels?" der "Bir ayıdan hızlı koşamayacağını biliyorsun." "Ah. Ayıdan hızlı koşmam gerekmiyor sevgili Albert" der Bohr. "Yalnızca senden hızlı koşmam gerekiyor."

1936'da Einstein kuantum kuramının olası tüm deneyleri, hiç değilse düşlenebilenleri doğru olarak tanımladığını isteksizce kabul etmişti. Sonra vites değiştirdi ve kuantum mekaniğinin çeşitli ölçüm sonuçlarının olasılığını doğru olarak verse de dünyanın tam bir tanımlaması olamayacağına karar verdi. Bohr'un savunusu Einstein'ı endişelendiren yetersizliğin kuramın bir hatası değil içinde yaşadığımız dünyanın bir niteliği olduğuydu. Bu ikisi mezara kadar kuantum

mekaniğini tartıştılar ve eminim Einstein'ın Tanrıyı adlandırdığı üzere "Yaşlı Biri" yersiz bir ilgi gösterip problemi onlar için çözmediyse hâlâ didişiyorlardır.

Einstein ile Bohr'un çatışmasını anlatmak için kitaplar gerekir; sorunu bir örnekle görüntülemeye çalışacağım. Heisenberg'in temel doktrinini anımsayalım: bir parçacığın nerede olduğu ve nereye gittiğini aynı anda ölçmeye yönelik hiçbir girişim asla tümüyle başarılı olamaz. Atomun yerini belirlemek için bir ölçüm düzenleyin, işte orada istediğiniz kadar kesin olarak. Ne kadar hızlı gittiğini görmek için bir ölçüm düzenleyin –presto, hızını bulduk. Ama ikisini birden elde edemeyiz. Bu ölçümlerin ortaya koyduğu gerçeklik deneycinin benimsediği stratejiye bağlıdır. Bu öznellik baştacı ettiğimiz neden ve sonuca ilişkin inancımıza meydan okur. Eğer bir elektron A noktasından yola çıkar ve B noktasına ulaştığı görülürse A'dan B'ye belli bir yol izlediğini varsaymak "doğal" gibi görünür. Kuantum kuramı yolun bilinemez olduğunu söyleyerek bunu yadsır. Tüm yollar olasıdır ve her birinin kendi olasılığı vardır.

Bu hayaletsi rota fikrinin yetersizliğini ortaya çıkarmak için Einstein hayati bir deney önerdi. Kavramına hak veremem ama temel fikri ortaya koymaya çalışacağım. İcat eden Einstein, Podolsky ve Rosen'in adlarından buna EPR düşünce deneyi denir. Bir parçacığın yazgısının diğerine bağlı olduğu bir, iki parçacık deneyi önerdiler. Biri yukarı doğru dönerken diğeri aşağı doğru dönecek ya da biri sağa dönüyorsa diğeri sola dönecek biçimde uçarak birbirinden uzaklaşan parçacık çiftleri oluşturmanın yolları vardır. Bir parçacığı Bangkok'a diğerini Chicago'ya yollarız. Einstein tamam dedi bir parçacık hakkında onu ölçene dek bir şey bilmediğimiz fikrini kabul edelim. A parçacığını Chicago'da ölçelim ve sağa döndüğünü keşfedelim. O halde şimdi Bangkok'da dönmesi ölçülmek üzere olan B parçacığı hakkında bir şey biliriz. Chicago ölçümünden önce sağa ve sola dönüş olasılıkları yüzde 50'ydi. Şimdi Chicago'dan sonra B parçacığının sola döndüğünü biliyoruz. Ama B parçacığı Chicago deneyinin sonucunu nasıl biliyor? Küçük bir radyosu bile olsa radyo dalgaları ışık hızıyla yol alır ve mesajın ulaşması biraz zaman alacaktır. Bu, ışık hızıyla yolculuğa bile saygısı olmayan iletişim düzeneği nedir? Einstein buna "uzaktan hayaletsi etki" dedi. EPR'nin sonucu A

olaylarının (A'da ölçüm yapma kararı) B sonucu ile ilişkisini anlamanın tek yolu kuantum kuramının sağlayamadığı daha fazla ayrıntı elde etmektir. Hah! diye bağırdı Albert, kuantum mekaniği tam değil.

Einstein EPR ile onu vurduğunda Bohr probleme saldırırken Kopenhag'da trafik bile durdu. Einstein bir suç ortağı parçacığı ölçerek Heisenberg'in kesinsizlik ilkesinin hakkından gelmeye çalışıyordu. Bohr'un son yanıtı insanın A ve B olaylarını ayıramayacağı, sistemin A, B ve ölçümü ne zaman yapacağına karar veren gözlemciyi içermek zorunda olduğu biçimindeydi. Bu bütüncül yanıtın içinde biraz Doğunun dinsel mistisizmi ve bu bağlantılar üzerine yazılmış (pek çok) kitap olduğu düşünüldü. Konu A parçacığı ve A gözlemcisi ya da tarayıcısının ölçümden önce gerçek Einsteinci varoluşlar mı yoksa geçersiz ara hayaletler mi olduğudur. Bu özel konu bir kuramsal yarıma harekatı ve (hah!) zekice bir deneyle çözüldü.

1964'de John Bell adında bir parçacık kuramcısının sayesinde EPR düşünce deneyinin değiştirilmiş bir biçimi laboratuarda gerçekten yapılabildi. Bell A ve B parçacıklarının uzun mesafe ilişkisinin farklı miktarlarını Einstein'ın ya da Bohr'un bakış açısına göre tahmin edecek bir deney düzenledi. Bell'in teoremi biraz da bir T-şörte sığabildiği için bugün de süren bir külte sahiptir. Örneğin olasılıkla Springfield'de her Perşembe öğleden sonra Bell'in teoremini tartışmak için toplanan en az bir kadın kulübü vardır. Bell'in büyük üzüntüsü teoreminin bazıları tarafından paranormal ve psişik görüngülerin "kanıtı" olarak kullanılması.

Bell'in fikri en başarılısı Alan Aspect ve arkadaşları tarafından 1982'de Paris'te gerçekleştirilen bir dizi deneye yol açtı. Deney aslında A tarayıcısı sonuçlarının B tarayıcısı sonuçlarıyla ilişkili olduğu sayıyı ölçüyordu, yani sola dönüş ve sola dönüş ya da sağa dönüş ve sağa dönüş. Bell'in analizi insanın bu karşılıklı ilişkiyi Bohr'un "olabildiğince tam" kuantum kuramı ile Einstein'ın ilişkiyi belirleyen gizli değişkenler olması gerektiği kavramı açılarından tahmin etmesine olanak veriyordu. Deney açık olarak Bohr'un analizinin doğru Einstein'ınkinin yanlış olduğunu gösterdi. Açıkça parçacıklar arasındaki bu uzun mesafe karşılıklı ilişkileri doğanın çalışma biçimiydi.

Bu çatışmayı bitirdi mi? Asla. Bugün çılgınlık derecesinde. Kuantum hayaletsiliğinin ortaya çıktığı daha ilginç yerlerden biri tam da evrenin yaratılışıdır. Yaratılışın en erken evresinde evren atom altı boyutlardaydı ve kuantum fiziği tüm evrene uygulanıyordu. Hızlandırıcıdaki araştırmama sıkı sıkıya bağlı kalacağını söylerken fizikçi kitlelerine tercüman oluyor olabilirim ama birilerinin hâlâ kuantum kuramının kavramsal kaynakları konusunda endişelenmesinden de çok memnunum.

Biz geri kalanlar içinse, biz Schrödinger, Dirac ve daha yeni kuantum alan kuramı eşitlikleriyle tepeden tırnağa silahlıyız. Tanrı parçacığına giden yol –ya da en azından onun başlangıcı– şimdi çok açık.

• Arasöz B •

DANS EDEN MOO – SHU USTALARI

SSÇ'nin (Süperiletken Süper Çarpıştırıcı) inşası için biraz tükenmez heveslenmeler ve yeniden heveslenmeler süreci içinde Senatör Bennett Johnston'un, desteği 8 milyar dolara malolacak Süper Çarpıştırıcının yazgısı için önemli biri olan Luisiana Demokrat senatörünün Washington'daki bürosunu ziyaret ediyordum. Johnston bir A.B.D. senatörü için meraklı bir adamdı. Kara delikler, zaman bükülmeleri ve diğer görüngüler üzerine konuşmaktan hoşlanırdı. Bürosuna gittiğimde masasının arkasında ayağa kalktı ve bir kitabı yüzüme doğru salladı "Lederman" diye yalvardı "bununla ilgili sana soracağım bir yığın soru var." Kitap Gary Zukav'ın *Danseden Wu Li Ustaları* kitabıydı. Konuşmamız boyunca benim "onbeş dakika"mı sonunda bir saat fizik konuşana dek uzattı. Sürekli olarak bir aralık, bir duraklama ya da Süper Çarpıştırıcı pazarlığıma giriş için kullanacağım bir cümlecik ("Protonlardan söz etmişken, şu bizim makine...) arayıp durdum. Ama Johnston aman vermedi. Aralıksız fizik konuştu. Randevu sekreteri dördüncü kez araya girdiğinde gülümsedi ve şunları dedi: "Bak, neden geldiğini biliyorum. Bana satmak istediğin şeyi anlatsaydın sana "elimden geleni yapmayı vaad edecektim. Ama bu çok daha eğlenceli oldu! Ve de elimden geleni yapacağım." Gerçekten büyük ölçüde yardımcı oldu.

Benim için bu bilgiye aç A.B.D. senatörünün merakını Zukav'ın kitabından doyurmuş olması biraz rahatsız ediciydi. Son birkaç yılda çağdaş fiziği Doğu dinleri ve mistisizmiyle açıklamaya çalışan kitaplar –*Fiziğin Tao*'su bir başka örnek– ortalığı sarmıştı. Yazarlar kendilerinden geçerek tümümüzün kozmosun parçası olduğumuz kozmosun da bizim parçamız olduğu sonucunu çıkarmaktaydılar. Hepimiz biriz! (Bu arada anlaşılmaz bir biçimde American Express

faturalarımızı ayrı ayrı gönderiyor.) Benim derdim senatörün, fizikçilerin çalıştıracağı 8 milyon dolardan fazla bir makine için önemli bir oylamanın hemen öncesinde böyle kitaplardan bazı sıkıcı fikirler edinmesiydi. Kuşkusuz Johnston bilim eğitimliydi ve bilimcileri epeyce biliyordu.

Bu tür kitapların esin kaynağı genellikle kuantum kuramı ve onun doğasında bulunan hayaletsiliğiydi. Adsız kalacak bir kitap Heisenberg kesinsizlik ilişkileri, Einstein-Podolsky-Rosen düşünce deneyi ve Bell teoremi üzerine ılımlı açıklamalar yaptıktan sonra LSD tripleri, hortlaklar ve uzun yıllar önce ölmüş ve fikirlerini New York, Elmira' dan bir ev kadınının sesini ve elyazmasını ele geçirerek ileten Seth diye bir varlığın coşkulu bir tartışmasına dalar. Açık olarak bu kitabın ve ona benzeyen diğer bir çoğunun önermesi şudur? Kuantum kuramı hayaletsi olduğuna göre neden başka garip zımbırtıları da bilimsel olarak benimsemeyelim?

Normalde bu kitaplar kitapçıların din, paranormal ya da hortlak raflarında bulunsa insan onlara aldırmaz. Ne yazık ki herhalde adlarında geçen "kuantum" ve "fizik" sözcükleri yüzünden sıklıkla bilim kategorisinde yer alıyorlar. Okur kitlesinin pek çoğunun fizik hakkındaki bilgileri okudukları bu tür kitaplardan geliyor. Buraya yalnızca ikisini, yığının en ünlülerini alacağız: *fiziğin Tao*'su ve *Danseden Wu Li Ustaları*; her ikisi de 1970'lerde yayınlandı. Haksızlık etmemek için Viyana Üniversitesinden Ph. D. unvanı olan Fritzof Capra'nın yazdığı *Tao*'nun ve bir yazar olan Gary Zukav'ın yazdığı *Wu Li*'nin pek çok insana fiziği tanıttığını ve bunun iyi olduğunu belirtelim. Ve yeni kuantum fiziği ile Hinduizm, Budizm, Taoizm, Zen ya da Hun mutfağı arasında paralellik kurmada da kesinlikle hiçbir yanlış yoktur. Capra ve Zukav pek çok şeyi de doğru anlamışlardır. Her iki kitapta da iyi fizik yazıları vardır ve bu onlara saygınlık kazandırır. Ne yazık ki bilimdeki katı, kanıtlanmış kavramlardan fizik dışındaki kavramlara ve mantıksal köprünün son derece sallantılı olduğu ya da var olmadığı kavramlara sıçrarlar.

Örneğin *Wu Li*'de Zukav Thomas Young'ın ünlü çift yarık deneyini açıklamak gibi iyi bir iş yapar. Ama sonuçları analiz edişi oldukça gariptir. Daha önce tartışıldığı gibi bir ya da iki yarığın açık olmasına bağlı olarak insan farklı foton (ya da elektron) örüntüleri elde ettiği

için deneyci kendi kendine "Parçacık kaç yarığın açık olduğunu nasıl 'biliyor'?" şorusunu sorabilir: Bu, kuşkusuz düzenek hakkında bir sorunun garip bir dile getirilişidir. Heisenberg kesinsizlik ilkesi, kuantum kuramının temeli olan bir kavram, insanın deneyi tahrip etmeden parçacığın hangi yarıktan sızdığını belirleyemeyeceğini söyler. Kuantum kuramının garip ama etkin katılığına göre böyle sorular geçersizdir.

Ama Zukav çift yarık deneyinden farklı bir mesaj çıkarır: parçacık bir mi yoksa iki yarığın mı açık olduğunu *bilmekte*dir. Fotonlar zekidir! Durun daha da iyisi var. Zukav, "Enerji olan fotonların bilgi işlediğini ve buna göre davrandığını ve bu yüzden kulağa garip de gelse organik gibi göründüğünü kabul etmekten başka seçeneğimiz yok" diye yazıyor. Bu eğlenceli, hattâ belki felsefi ama bilimden uzaklaşmış oluyoruz.

Paradoksal olarak Zukav fotonlara bilinçlilik atfetmeye hazır olduğu halde atomların varlığını benimsemeyi reddeder. "Atomlar hiçbir zaman hiçbir biçimde 'gerçek' şeyler olmamıştır" diye yazıyor. "Atomlar deneysel gözlemleri anlaşılır kılmak için inşa edilmiş varsayımsal şeylerdir. Hiç kimse, hiçbir kişi şimdiye dek bir atom görmemiştir. İşte yine bizim hanım dinleyicimiz "Hiç bir atomu gördünüz mü?" sorusuyla bize meydan okuyor. Hanımın hakkını yemeyelim, yanıtı dinlemeye istekliydi. Zukav zaten soruyu olumsuz olarak yanıtlamış. Hiç değilse yazınsal anlamda şimdi bir yana atılmış durumda; kitabı yayınlandığından bu yana küçük ahbapların güzel fotograflarını çeken tarayıcı tümelleme mikroskopu sayesinde bir çok insan atomları gördü.

Capra'ya gelince savunmalarını kuruşu ve diliyle o çok daha zekiydi ama temelde o da başka bir inanmayandı. "Yapı taşlarının basit mekanistik tablosu"nun terk edilmesi gerektiğinde diretiyordu. Kuantum fiziğinin mantıklı tanımlamalarıyla başlayıp incelikli uzantılar inşa ediyordu ama özenli deneyle kuramın nasıl içiçe geçtiğini ve her sancılı ilerlemenin ne çok kan, ter ve gözyaşına mal olduğunu tümüyle bir yana bırakarak.

Böyle yazarları rastgele görmezden gelmek beni yatıştırıyorsa gerçek şarlatanlar beni kesinlikle iptal ediyor. Aslında *Tao* ve *Wu Li*

iyi bilim kitaplarıyla çılgın bir sahtekarlar, şarlatanlar ve deliler güruhu arasında oldukça saygıdeğer bir orta yer oluşturuyorlar. O güruh, diyetinizi sumak köküyle sınırlarsanız size sonsuz yaşam vaad ederler. Dünya dışı canlıların ziyaretlerine ilişkin birinci elden kanıt sağlarlar. *Çiftçilerin Almanak*'ının Sümerce versiyonuna dayanarak göreliliğin sahteliğini ortaya koyarlar. "*New York Inquirer*"a yazıp tüm ünlü bilimcilerin zırva postalarına katkıda bulunurlar. Bu insanların çoğu küçük yeşil uzay ziyaretçileriyle söyleşisini tıka basa dolu elyazısı sekiz sayfayla bana bildiren yetmiş yaşındaki kadın gibi zararsızdır. Ancak hepsi de zararsız değildir. Bir derginin, *Physical Review*'un bir sekreteri abuk sabuk makalesinin yayınlaması reddedilen bir adam tarafından vurulup öldürülmüştü.

İnancım o ki önemli nokta şu: tüm disiplinlerin, tüm emek alanlarının bir "kurum"u vardır, ister ünlü üniversitelerdeki yaşlı fizikçiler olsun, ister fast food işinin parababaları, ister Amerikan Bar Birliğinin kıdemli görevlileri, isterse Postacıların Babalar Grubu. Bilimde gelişime giden yol devler alaşağı edildiğinde çok hızlıdır. (Burada iyi bir karışık mecaz çıkardığını biliyorum.) Böylece putları yıkanlar (entelektüel) bombalara başkaldıranlar hevesle aranır –hattâ bilim kurumunun kendisi tarafından. Kuşkusuz hiçbir kuramcı kuramının çöpe dönüştürülmesinden hoşlanmaz ve bazıları tepki bile gösterir –anlık ve içgüdüsel olarak– tıpkı siyasal kurumun bir isyan karşısında yaptığı gibi. Ama yıkma geleneği çok köklü bir biçimde kök salmıştır. Genç ve yaratıcı olanı beslemek ve ödüllendirmek bilim kurumunun kutsal bir zorunluluğudur. (İnsanın falanca hakkında ortalıkta dolaştıracağı en üzücü rapor onun yeterince genç olmadığıdır.) Bu etik –yani gence, ortodoks olmayana ve başkaldırıcıya açık olmamız gerektiği– şarlatanlara ve bilimsel olarak cahil ve özensiz gazetecileri, editörleri ve medianın diğer kapıcılarını etkileyebilen saptırıcılara bir aralık yaratır. İsrailli sihirbaz Uri Geller ya da yazar Immanuel Velikovsky ya da hattâ "elleri görmek", "psikokinezis", "yaratı bilimi", "çoğul su", "soğuk füzyon" ve pek çok başka hileli fikirle konuyu tümüyle duvarların ötesine taşıyan bazı Ph.D liler kayda değer başarılar elde etmişlerdir. Genellikle iddia, ortaya çıkarılan gerçeğin yerleşik kurumun tüm hakları ve ayrıcalıklarıyla statükoyu koruma niyetiyle bastırıldığıdır.

Bu kuşkusuz olabilir. Ama bizim disiplinimizde kurumun üyeleri bile kuruma dil uzatır. Bizim ulu patronumuz Richard Feynman "Bilim Nedir?" adlı denemesinde öğrencilerine öğüt verir: "Bilimden uzmanlardan kuşkulanmanız gerektiğini öğrenin... Bilim, uzmanların cahilliklerine inançtır." Ve sonra da: "Deneyimlerinden bir şeyler keşfeden her kuşak ileri gitmelidir ama bu geçişi saygıyla saygısızlık arasında hassas bir dengede yapmalıdır; öyle ki yarış... yanlışlarını gençlerine çok katı biçimde dayatmasın ama birikmiş bilgeliği bilgelik olmayabilecek bilginin önüne geçirsin."

Bu zarif parça, bilimin bağlarında emek harcayan hepimizin derinlemesine eğitimini ifade eder. Kuşkusuz tüm bilimciler kritik özsuyu, Feynman'ın bir konuya getirebildiği tutku ve algıyı davet edemez. Bilimcileri birbirinden farklı kılan budur ve çoğu bilimcinin kendini çok önemsediği de doğrudur. O zaman kritik güçlerini kendi çalışmalarına ya da daha kötüsü kendilerine meydan okuyan çocukların çalışmalarına yansıtmada sakat hale gelirler. Hiçbir disiplin mükemmel değildir. Ama meslekdışı insanların nadir olarak anladığı şey, belli bir disiplindeki kollektif bilim topluluğunun zeki put yıkıcıyı –eğer iyiyse– nasıl da hazır, istekli ve umarsızca benimsediğidir.

Tüm bunlardaki trajedi, şapşal sahte bilim yazarları, Einstein'ın nerede hatalı olduğunu kesin olarak bilen ve bu konuda kitap yayınlayan Wichita'lı sigorta pazarlamacısı, para kazanmak için her şeyi söyleyecek sahtekârlar –Geller'ler ya da Velikovsky'ler– değil. Kolay aldatılabilir ve bilim cahili, bu kadar kolayca kandırılan kamu oyuna verilen zarar. Bu insanlar piramitleri satın alırlar, maymun bezi enjeksiyonlarına bir servet öderler, kayısı çekirdeği çiğnerler[1] ve trenin arkasından TV kanallarının prime-time'ına sıçramış ve "bilim" adı altında çok daha kötü rahatlatıcılar satan seyyar satıcıların peşinden gitmek için her yere gider, her şeyi yaparlar.

Neden biz, yani halk bu denli zayıfız? Olası bir yanıt, sıradan halkın bilimden rahatsız, onun evrimleşme ve ilerlemesine yabancı olduğudur. Halk bilimi sarsılmaz kuralları ve inançlarıyla tek parça bir bina ve –medianın bilimcileri beyaz ceketli baston yutmuş tipler

[1] *[Arsenik içerir. çev.]*

olarak tanıtması sayesinde– bilimcileri içi geçmiş, yaşlı, damar sertliği olan statüko savunucuları olarak görür. Gerçekte bilim çok daha esnek bir şeydir. Bilim statükoyla ilgili değildir. O devrimle ilgilidir.

DEVRİMİN GÜMBÜRTÜLERİ

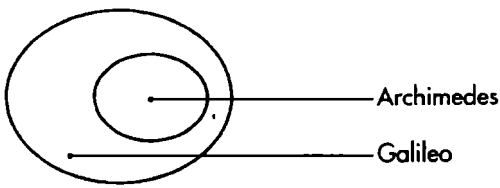
Kuantum kuramı onu bir tür din ya da mistisizmin akrabası olarak ilan eden yazarlar için hazır bir hedef haline getirmiştir. Klasik Newton'cu fizik sıklıkla güvenli, mantıksal, sezgisel olarak betimlenir. Sezgi karşıtı ve hayaletsi kuantum kuramı ortaya çıkmış ve onun "yerini almıştır" Anlaşılması zordur. Tehdit edicidir. Bir çözüm – yukarıda tartışılan bazı kitapların çözümü– kuantum fiziğini bir din olarak düşünmektedir. Neden Hinduizmin (ya da Budizmin v.b.nin) bir biçimi olarak düşünülmesin? Bu yolla basitçe mantıktan tümüyle vazgeçebiliriz.

Başka bir yol kuantum kuramını şey olarak, bilim olarak düşünmektir. Ve de bu fikre onun daha önce oluşmuş bir şeyin "yerini aldığını" dahil etmemektir. Bilim, yüzyıllarca yaşında fikirleri – özellikle de bu fikirler işe yaramışsa– rastgele fırlatıp atmaz. Burada fizikte devrimlerin nasıl ortaya çıktığını araştırmak için konudan kısa süre uzaklaşmaya değer.

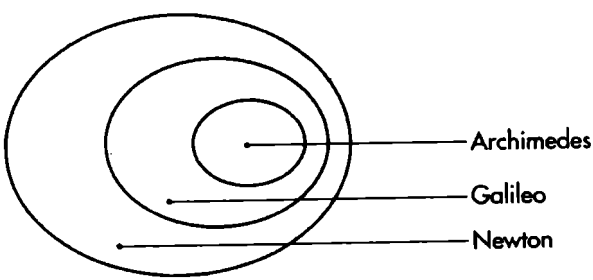
Yeni fiziğin eski fiziği alt etmesi gerekmez. Bilimde devrimler tutucu biçimde ve düşük maliyetli olarak gerçekleştirilme eğilimindedir. Sarsak felsefi sonuçları olabilir ve dünyanın nasıl işlediği hakkındaki geleneksel bilgeliği terk etmiş gibi görünebilir. Ama aslında olan şey kurulmuş dogmanın yeni bir alana genişletilmesidir.

Yaşlı Yunanalı Archimedes'i alalım. İ.Ö. 100 yılında statik ve hidrostatiğin ilkelerini özetlemişti. Statik, merdivenler, köprüler, kemerler gibi yapıların –genellikle insanın kendini rahat ettirmek için icat ettiği şeylerin– sabitliğinin incelenmesidir. Archimedes'in hidrostatik üzerine çalışması sıvılar ve yüzen ve batan şeylerle ilgiliydi, yukarı doğru yüzen, yuvarlanan şeyler, su üstünde durma, banyo küvetinde neden "Eureka!" diye bağıracağınızla filan. Bu konular ve Archimedes'in onları ele alışı bugün de iki bin yıl önce olduğu kadar geçerlidir.

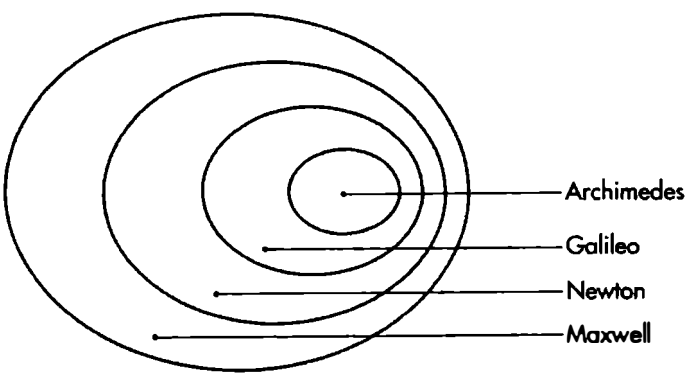
1600'de Galileo statik ve hidrostatik yasalarını inceledi ama ölçümlerini devinen nesnelere, eğik düzelmelerden yuvarlanan cisimlere, kulelerden bırakılan toplara, babasının atölyesinde ağırlık bağlanmış lavta tellerinin ileri geri sallanmalarına genişletti. Galileo'nun çalışması Archimedes'in çalışmasına eklendi ama çok daha fazlasını açıkladı. Aslında onun çalışması ay yüzeyinin özelliklerine ve Jupiter'in aylarına kadar uzandı. Galileo Archimedes'i alt etmedi. Onu içine aldı. Onların çalışmalarını resimsel olarak temsil etmemiz gerekirse şunun gibi bir şey olurdu:



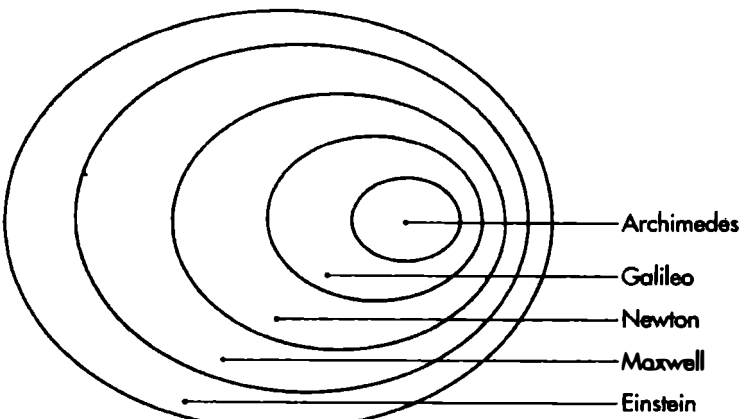
Newton Galileo'dan daha öteye gitti. Nedenlemeyi ekleyerek güneş sistemini ve günlük gelgit olaylarını inceleyebildi. Newton'un sentezi gezegenlerin ve onların aylarının devinimine yeni ölçümler ekledi. Newtoncu devrimde hiçbirşey Galileo ya da Archimedes'in katkıları üzerine herhangi bir kuşku düşürmedi ama Newton'un devrimi bu büyük sentezin konusu olan evren bölgelerini genişletti.



On sekizinci ve on dokuzuncu yüzyıllarda bilimciler normal insan deneyiminin dışındaki bir görüngüyü incelemeye başladılar. Ona elektrik deniyordu. Şimşek çakmalarının ürkütücü ortaya çıkışları dışında elektriksel görüngülerin incelenmesi gerekiyordu. (Tıpkı bazı parçacıkların bizim hızlandırıcılarımızda "imal edilmesi" gerektiği gibi). O zamanlar elektrik bugün quarkların olduğu kadar ekzotikti. Yavaş yavaş akımlar ve voltajlar, elektriksel ve manyetik alanlar anlaşıldı, hattâ kontrol altına alındı. Elektrik ve mıknatıslık yasaları James Maxwell tarafından genişletildi ve kodlandı. Maxwell ve sonra Heinrich Hertz, sonra Guglielmo Marconi, sonra Charles Steinwetz ve bir çok diğerleri bu fikirleri kullanıma soktuğu için insanın çevresi değişti. Elektrik çevremizi sardı iletişim soluduğumuz havada çıtırdadı. Ama Maxwell'in önde gidenler için saygınlığı tartışmasızdı.



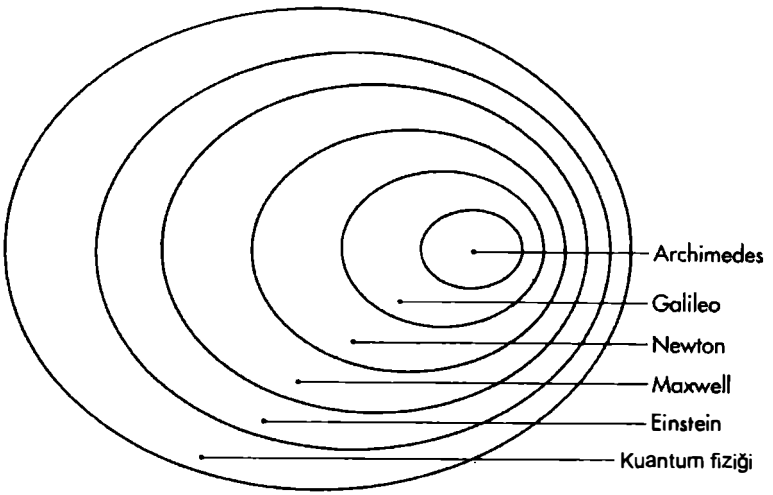
Maxwell ve Newton'un ötesinde pek bir şey yoktu –yoksa var mıydı? Einstein dikkatini Newton'cu evrenin kıyısına odakladı. Kavramsal fikirleri çok derinlere gitti; Galileo ve Newtoncu varsayımların nitelikleri onu rahatsız etti ve sonunda yeni önermeler ortaya atmaya yöneltti. Ancak şimdi onun gözlemlerinin evreni olağanüstü hızlarla devinen şeyleri içeriyordu. Böyle görüngüler 1900 öncesi evrede gözlemciler için geçersizdi ama insanlar atomları incelediği, çekirdeksel aygıtlar icat ettiği ve evrenin varoluşunun en erken anlarına bakmaya başladığı için Einstein'ın gözlemleri önemli hale geldi.



Einstein'ın yerçekimi kuramı da evrenin dinamiklerini (Newton statik bir evrene inanmıştı) ve onun başlangıçtaki kıyamet gibi bir olaydan genişlediğini eklemekle Newton'unkinden öteye gitti. Yine de Einstein'ın eşitlikleri Newton'cu dünyaya yöneltildiğinde Newton'cu sonuçlar verdiler.

O zaman şimdi her şey tamamlanmış olmuyor mu? Olmuyor! Yine de atomun içine bakmamız gerek ve bunu yaptığımızda Newton'dan çok ötede (ve Einstein'ca kabul edilemez) dünyayı atoma, çekirdeğe ve bildiğimiz kadarıyla ötesine (içine?) genişletecek kavramlara gereksindik. Kuantum fiziğine gereksindik. Hâlâ kuantum devriminde Archimedes'in hiçbir şeyi paraya çevrilmedi, Galileo satışa çıkarılmadı, Newton şişe geçirilmedi ya da Einstein'ın göreceliğinin üstüne basılmadı. Daha çok yeni bir alana bakıldı, yeni görüngülerle karşılaşıldı. Newton'un bilimi yetersiz bulundu ve zaman bütünlüğünde yeni bir sentez keşfedildi:

5.Bölümde Schrödinger eşitliğinin elektronlar ve diğer parçacıklarla uğraşmak için yaratıldığını ama onu beyzbola ve başka büyük



nesnelere uyguladığımızda kendini gözlerimizin önünde Newton'un $F=ma$'sına ya da yakınlarına dönüştürdüğünü söylediğimizi anımsayın. Antimaddeyi tahmin eden Dirac'ın eşitliği Schrödinger'in eşitliğinin ışık hızının önemli bir kesrinde devinen "hızlı" elektronlarla uğraşmak için düzenlenmiş bir "rafine edilmesi"ydi. Yine de Dirac eşitliği yavaş devinen elektronlara uygulandığında hop Schrödinger eşitliği çıkar ama büyüsel biçimde elektronun dönmesi eklenmiş olarak. Ama Newton'u dıştalamak? Asla!

Eğer ilerlemenin bu gidişi mükemmel biçimde etkinse aynı zamanda atık yarattığına da işaret etmek gerekir. Keşiflerimizle ve söndürülemez merakımızla (ve de pek çok devlet bursuyla) yeni gözlem alanları açarken veriler genellikle çoğu yanlış olan bir fikirler, kuramlar ve öneriler sepetini de kışkırtır. Cepheyi denetleyen jürinin gözünde kavramlar açısından yalnızca bir kazanan bulunur. yitirenler tarihin dipnotlarının çöplüğünde yok olurlar.

Bir devrim nasıl ortaya çıkar? On dokuzuncu yüzyılın sonlarında olduğu gibi herhangi bir entelektüel dinginlik evresinde her zaman "henüz açıklanmamış" bir dizi görüngü bulunur. Deneysel bilim gözlemlerinin hüküm süren kuramı yok etmesini umar. Sonra daha iyi

bir kuram onun yerini alacak ve ünler kazanılacaktır. Daha sık olarak ya ölçümler yanlıştır ya da geçerli kuramın daha zekice bir uygulamasının verileri açıkladığı ortaya çıkacaktır. Ama her zaman değil. Her zaman üç olasılık bulunduğundan –(1) yanlış veriler (2) eski kuram geri tepmesi ve (3) yeni kuram gereksinimi– deney, bilimi canlı bir uğraş haline getirir.

Bir devrim ortaya çıktığında bilimin evrenini genişletir ve dünya görüşümüz üzerinde bir etkisi olabilir. Bir örnek: Newton yalnızca evrensel yerçekimi yasasını yaratmamış dinbilimcileri Tanrıyı yeni bir role yerleştirmek zorunda bırakan nedensel bir felsefeyi de yaratmıştır. Newtoncu kurallar eğer başlangıç koşulları biliniyorsa herhangi bir sistemin geleceğini belirleyen matematiksel eşitlikler geliştirmiştir. Tersine atomsal dünyaya uygulanabilen kuantum fiziği, tek tek atomsal olayları kesinsizliğin keyfine bırakarak nedensel görüşü yumuşatır. Aslında gelişmeler atomaltı dünya dışında bile nedenselci Newtoncu düzenin çok fazla idealize edildiğini gösterir. Makroskopik dünyayı oluşturan karmaşıklıklara o denli sık rastlanır ki çoğu sistemler için başlangıç koşullarındaki en önemsiz değişiklik sonuçta çok büyük değişiklikler üretir. Tepeden aşağı akan su ya da salınan bir çift sarkaç kadar basit sistemler bile "kaotik" davranış sergilerler. Doğrusal olmayan dinamiklerin ya da "kaos"un bilimi bize gerçek dünyanın nedenselci olmaya bir zamanlar düşünüldüğü kadar yakın olmadığını anlatır.

Bu, bilimin ve Doğu dinlerinin ansızın bir çok nokta keşfetmesi anlamına gelmiyor. Yine eğer yazarların sunduğu yeni fiziği Doğu mistisizmiyle kıyaslayan metinlerdeki dinsel mecazlar sizin fizikteki çağdaş devrimleri takdir etmenize bir biçimde yardımcı oluyorsa onları ne olursa olsun kullanın. Ama mecazlar yalnızca mecazdır. Onlar kaba haritalardır. Ve eski bir ifadeyi ödünç alacak olursak: haritayla araziyi asla birbirine karıştırmamalıyız. Fizik din değildir. Olsaydı para kazanmak için zamanımız çok daha kolay geçerdi.

•.6.•

HIZLANDIRICILAR: ONLAR ATOMLARI EZİYORLAR DEĞİL Mİ?

SENATÖR JOHN PASTORE: Bu hızlandırıcının vaad ettikleri arasında bu ülkenin güvenliğiyle ilgili herhangi bir şey var mı?

ROBERT R. WILSON: Hayır efendim. Buna inanmıyorum.

PASTORE: Hiç mi?

WILSON: Hiç!

PASTORE: Bu açıdan hiçbir değeri yok o zaman?

WILSON: Yalnızca bizim birbirimize bakış açımızla, insanların onuruyla, kültür aşkımızla ilgisi var. İyi ressamlar, iyi heykeltraşlar, büyük şairler miyiz onunla ilgisi var. Yani ülkemizde baş tacı ettiğimiz ve onur duyduğumuz ve de o yüzden vatansever olduğumuz her şeyle. Ülkemizi savunmaya değer kılmak dışında onu savunmakla doğrudan hiçbir ilişkisi yok.

Fermilab'da bir geleneğimiz var. Her 1 Haziran'da hava ister yağmurlu ister açık olsun saat sabahın 7'sinde kadro, hızlandırıcının ana halkasının yüzey yolunda bir koşu yolunu ikiye katlayan altı kilometre boyunca koşmaya davet edilir. Her zaman antiprotonun hızlandığı yönde koşarız. Benim halka çevresinde son resmi olmayan sürem 35 dakikaydı. Fermilab'ın şimdiki yöneticisi, ardılım John Peoples, işindeki ilk yazında bir davetiye dağıttı; kadroyu 1 Haziran'da "daha genç daha hızlı bir yönetici" ile koşmaya çağırdı. Daha hızlıydı ama hiçbirimiz antiprotonlarla yarışacak kadar hızlı değildik. Çemberi bir saniyenin 22 milyonda birinde tamamlıyorlardı; bu da her antiprotonun bana 100 milyon tur bindirmesi anlamına geliyor.

Fermilab kadrosu antiprotonlar tarafından aşağılanmaya devam ediyor. Yine de beraberliği sağlıyoruz çünkü deneyleri biz düzenliyoruz. Antiprotonları aynı hızla ters yönde yarışan protonlarla tokuşmak üzere döndürüyoruz. Parçacıkların çarpıştırılma süreci bu bölümün ana konusu olacak.

Hızlandırıcıları tartışmamız biraz yoldan sapmak olacak. Bilimsel gelişme yüzyılından yüzyılına yarış arabası gibi koşuşuyorduk. Şimdi biraz tempoyu düşürelim. Burada keşiflerden hattâ fizikçilerden o kadar söz etmeyeceğiz; makinelerden söz edeceğiz. Aygıtlar Galileo' nun eğik düzleminden Rutherford'un parıltı odasına kadar bilimsel gelişmeye kaçınılmaz biçimde bağlı olmuştur. Şimdi bir aygıt başrolü alıyor. İnsan hızlandırıcının doğasını ve ona eşlik eden parçacık tarayıcıları dizisini, alanda son kırk yılın önde gelen aygıtlarını anlamadıkça son birkaç on yılın fiziğini anlayamaz. Hızlandırıcıyı anlayarak insan fizikte çok şeyi anlar çünkü bu makine fizikçilerin mükemmel hale getirmek için yüzyıllardır emek vermiş olduğu çoğu ilkeyi içinde barındırır.

Bazen Pisa'daki kuleyi ilk parçacık hızlandırıcısı, Galileo'nun çalışmalarında kullandığı (neredeyse) düşey doğrusal bir hızlandırıcı olarak düşünürüm. Ancak gerçek öykü çok daha sonra başlar. Hızlandırıcının gelişmesi kökünü bizim atomun içine inme arzumuzdan alır. Galileo bir yana, tarih alfa parçacıklarını atomu araştırmada kullanmakta uzmanlaşan Ernest Rutherford ve öğrencileriyle başlar.

Alfa parçacığı bir armağandır. Bazı doğal olarak radyoaktif malzeme kendiliğinden parçalanırken bu ağır, enerjik parçacıkları fırlatırlar. Bir alfa parçacığının tipik olarak 5 milyon elektron voltluk bir enerjisi vardır. Bir elektron volt (ev) bir tek elektron eğer 1 voltluk flaş lambası pilinin şasesinden (eksi) ucuna (artı) geçecek olursa alacağı enerjidir. Bundan sonraki iki bölümü bitirdiğimizde elektron volt santimetre, kalori ya da megabyte kadar tanıdık gelecektir. İşte devam etmeden önce bilmemiz gereken dört kısaltma:

KeV: bin elektron volt (K, kilo için)
MeV: milyon elektron volt (M, mega için)
GeV: milyar elektron volt (G, giga için)
TeV: trilyon elektron volt (T, tera için)

TeV'un ötesinde onun üssü yazımını benimseyeceğiz; 10^{12}eV bir TeV'tur. Bizim öngördüğümüz teknolojinin çalışacağı 10^{14}'ün ötesidir ve biz dış uzaydan dünyamızı bombardıman eden kozmik ışın parçacıkları içinde oluruz. Kozmik ışın parçacıklarının sayısı azdır ama enerjileri 10^{21} eV'a kadar ulaşır.

Parçacık fiziği için 5 MeV pek fazla değildir. Rutherford'un alfaları yalın olarak belki de ilk amaçlı çekirdek çarpışmasında bir azot atomunun çekirdeğini kırmaya yönelikti. Ve bu çarpışmalardan öğrenilecek olan şey yalnızca işkence çektiren ipuçlarıydı. Kuantum kuramı bize incelenen nesne ne denli küçükse o denli fazla enerjiye gereksindiğimizi söyler –Democritusun bıçağını keskinleştirmesinin eşdeğeri. Çekirdeği etkin biçimde kesmek için pek çok onlarca hattâ yüzlerce MeV enerjiye gereksiniriz. Ne kadar çok olursa o kadar iyi.

TANRI BUNU KENDİSİ DEVAM EDERKEN Mİ YAPIYOR?

Konudan felsefi bir uzaklaşma. Betimleyeceğim gibi parçacık bilimcileri biz *sapiens*'lerden herhangi biri herhangi bir şeyi yaparkenki tüm nedenlerle –merak, benlik, güç, açgözlülük, hırs– çok daha güçlü hızlandırıcıları neşeyle inşa etmeyi sürdürdü. Pek sık olarak bizden bir grup bira masasında düşüncelere daldığımızda bizim bir sonraki makinemizin –örneğin 1959'da Brookhaven'da tamamlanması yakın olan 30 GeV'lik "canavar"ın– ne üreteceğini Tanrının kendisinin bilip bilmediğini konuşuruz. Bu yeni, işitilmemiş enerjilere ulaşarak sadece kendimiz için bulmacalar mı icat etmekteyizdir? Tanrı endişe içinde Gell-Mann'ın ya da Feynman'ın veya başka bir gözde kuramcısının omuzunun üzerinden bu büyük enerjilerin ne yapacağını mı izliyordur? 30 GeV'un ne yapması gerektiğini önermek üzere yerleşik meleklerden –Newton, Einstein, Maxwell– bir komite mi topluyordur? Bu bakış açısı kuramsal tarihin sıçrayıcı doğası tarafından desteklenmektedir –sanki biz devam ederken o yapıp bitirmiş gibi. Ancak astrofizik ve kozmik ışın araştırmasındaki gelişme çabucak bize tüm bunların Cumartesi gecesi saçmalıkları olduğu konusunda güvence verir. Yukarıya bakan meslektaşlarımız evrenin 30 GeV'la, 300 GeV'la aslında 3 milyar GeV'la çok fazla uğraştığını

söylerler. Uzay astronomik (oof!) enerjili parçacıklarla yıkanmaktadır ve bugün Long Island ya da Batavia veya Tsukuba'daki sonsuz küçük bir çarpışma noktasında nadir ve ekzotik olan şey evrenin doğumundan hemen sonra sıradan, gündelik, kır çiçeği kabilinden bir olaydı.

Şimdi makinelere geri dönelim.

NEDEN BU KADAR ÇOK ENERJİ?

Bugün en güçlü hızlandırıcı, Fermilab'ın Tevatron'u, yaklaşık 2TeV'da ya da Rutherford'un alfa parçacığı çarpışmalarında yaratılan enerjinin 400 000 katı enerjide çarpışmalar üretir. İnşa edilmekte olan Süperiletken Süper Çarpıştırıcı 40 TeV'da çalışacak şekilde tasarlandı.

Şimdi 40 TeV büyük bir enerji gibi gelir ve iki parçacığın tek çarpışması söz konusu olunca öyledir de. Ama buna bir perspektif kazandıralım. Bir kibrit çaktığımızda yaklaşık 10^{21} atomu tepkimeye sokarız ve her süreç yaklaşık 10 eV serbest bırakır böylece toplam enerji yaklaşık 10^{22} eV ya da yaklaşık 10 milyar TeV olur. Süper Çarpıştırıcıda saniyede 100 milyon çarpışma olacak her biri 40 TeV serbest bırakacak toplam 4 milyar TeV –bir kibrit çakımında serbest bırakılan enerjiden daha fazla değil. Ama, işin anahtarı enerjinin herhangi bir görünen madde topağındaki milyar kere milyar kere milyarlarca parçacıkta değil birkaç parçacıkta yoğunlaşmış olmasıdır.

Tüm hızlandırıcı kompleksine –petrolle çalışan güç istasyonundan elektrik güç hatlarıyla transformatörlerin elektriksel enerjiyi mıknatıslara ve radyo frekansı çukurlarına taşıdığı laboratuara– son derece düşük maliyetle petrolün kimyasal enerjisini saniyede zavallı bir milyar ya da daha fazla protonda yoğunlaştıran dev bir aygıt olarak bakabiliriz. Eğer petrolün makroskopik miktarı her bir bileşen atomu 40 TeV enerjiye sahip olacak şekilde ısıtılsaydı ısı $4x10^{17}$ derece, dört yüz bin trilyon derece Kelvin olurdu. Atomlar bileşen quarklarına erirdi. Yaratılıştan bir saniyenin milyarda birinin milyonda birinden de az sonra tüm evrenin durumunda olduğu gibi.

O halde tüm bu enerjiyi ne yapıyoruz? Kuantum kuramı giderek daha küçük parçacıklar incelemek için giderek daha güçlü hızlandırıcılara gereksinir. İşte çeşitli ilginç yapıları kurmak için gerekli

ortalama enerjiyi gösteren bir tablo:

ENERJİ (yaklaşık)	YAPININ BOYUTU
0.1 eV	Molekül, büyük atom, 10^{-8} metre
1.0 eV	Atom 10^{-9} m.
1000 eV	Atomun özü 10^{-11} m
1 MeV	İri çekirdek 10^{-14} m
100 MeV	Çekirdek özü 10^{-15} m
1 GeV	Nötron ya da proton 10^{-16} m
10 GeV	Quark etkileri 10^{-17} m
100 GeV	Quark etkileri 10^{-18} m (daha ayrıntılı)
10 TeV	Tanrı parçacığı? 10^{-20} m

Boyut küçüldükçe gerekli enerjinin tahmin edilebileceği gibi büyüyüşüne dikkat edin. Ayrıca atomları incelemek için 1 eV'a gereksindiğinizi ama quarkları incelemeye başlamanız için 10 milyar eV gerektiğine de dikkat edin.

Hızlandırıcılar biyologların çok küçük şeyleri incelemek için kullandığı mikroskoplara benzer. Sıradan mikroskoplar yapıyı, diyelim ki kanın alyuvarlarını aydınlatmak için ışık kullanır. Mikrop avcılarının bayıldığı elektron mikroskopları, elektronun enerjisi optik bir mikroskoptaki ışığınkinden daha fazla olduğu için, çok daha güçlüdür. Elektronların daha kısa dalgaboyları bir alyuvarın inşa edildiği molekülleri "görme" olanağı verir. "Görebildiğiniz" ve inceleyebildiğiniz şeyin boyutunu belirleyen, bombardıman eden nesnenin dalga boyudur. Kuantum kuramında dalga boyu kısaldıkça enerjinin büyüdüğünü biliriz; tablomuz basitçe bu ilişkiyi gösteriyor.

1927'de Rutherford Britanya Kraliyet Topluluğundaki bir konuşmasında bir gün bilimcilerin yüklü parçacıkları radyoaktif bozulmadan sağlanandan daha yüksek enerjilere hızlandırmanın bir yolunu bulacağı umudunu dile getirmişti. Bir çok milyon volt üretebilecek makinelerin icadını öngörmüştü. Böyle makineler için salt gücün dışında bir güdülenme vardı. Fizikçiler belli bir hedefe daha çok şey fırlatma gereksinimindeydiler. Doğanın sağladığı alfa kaynakları bol

olmaktan çok uzaktı: her saniye 1 santimetrekarelik hedefe bir milyon parçacıktan daha azı yöneltilebiliyordu. Bir milyon kulağa çok gibi gelebilir ama çekirdekler hedef alanın yalnızca yüz milyonda biri kadar yer kaplarlar. Çekirdeği incelemek için en azından bin kat fazla hızlandırılmış parçacığa (bir milyar) gereksiniminiz vardır ve de söz edildiği üzere çok daha fazla enerjiye –pek çok milyon volta (fizikçiler o zaman kaç milyon olduğundan emin değildiler.) 1920' lerin sonunda bu cesaret kırıcı bir iş gibi görünüyordu yine de bir çok laboratuarda fizikçiler problem üzerinde çalışmaya başladılar. Ondan sonra olan şey gerekli büyük sayıda parçacığı en azından bir voltta hızlandıracak makineler yaratma yarışıydı. Hızlandırıcıların teknolojisindeki ilerlemeleri tartışmadan önce bazı temeller üzerine konuşmamız gerek.

ARALIK

Parçacık hızlandırma fiziğinin açıklaması basittir (dikkat edin!) Bir DieHard pilin uçlarını iki metal levhaya bağlayın (onlara da uç denir) ve onları diyelim ki otuz santim aralıkla yerleştirin. Bu düzenlemeye Aralık denir. İki ucu, havası boşaltılmış bir tenekenin içine kapatın. Aygıtı öyle düzenleyin ki elektriksel olarak yüklü bir parçacık – elektronlar ve protonlar gözde mermilerdir– aralıkta özgürce devinebilsin. Eksi yüklü bir elektron artı uca doğru memnuniyetle hücum edecek ve (pilin etiketine bakın) 12 eV'luk bir enerji kazanacaktır. Böylece Aralık bir hızlanma üretir. Eğer artı metal uç katı bir levha yerine tel örgüden yapılmışsa elektronların çoğu içinden geçip 12 eV'luk elektronlardan oluşan yönlendirilmiş bir ışın yaratır. Şimdi bir elektron volt son derece küçük bir enerji miktarıdır. Gereksindiğimiz, bir milyar voltluk bir pildir ama Sears böyle bir mal satmıyor. Yüksek voltajlara ulaşmak için kimyasal aygıtların ötesine gitmek gerekir. Ama hızlandırıcı ne denli büyük olursa olsun ister 1920'lerin Cockroft-Walton aygıtından konuşuyor olalım isterse çevresi 90 km. olan Super Çarpıştırıcıdan, temel düzenek aynı kalır – arasında parçacıkların enerji kazandığı aralık.

Hızlandırıcı normal, yasalara saygılı parçacıkları alır ve onlara ekstra enerji verir. Parçacıkları nereden buluruz? Elektronlar kolay.

Bir teli akkor olana dek ısıtırız elektronlar dökülür. Protonlar da kolay. Proton hidrojen atomunun çekirdeğidir; (hidrojen çekirdeklerinde hiç nötron yoktur) o halde tek gereksinimimiz ticari olarak elde edilebilen hidrojen gazıdır. Diğer parçacıklar hızlandırılabilir ama kararlı olmalıdırlar –yani ömürleri uzun olmalıdır– çünkü hızlandırma süreci zaman alır. Ve elektriksel olarak yüklü olmalıdırlar çünkü Aralık kesinlikle nötr bir parçacık üzerinde çalışmaz. Hızlandırma için baş adaylar protonlar, antiprotonlar, elektronlar ve pozitronlardır (anti-elektronlar). Deuteronlar ve alfa parçacıkları gibi daha ağır çekirdekler de hızlandırılabilir ve onların özel kullanımları bulunur. New York'da Long Island'da inşa halindeki olağandışı bir makine uranium çekirdeklerini milyarlarca elektron voltta hızlandıracaktır.

AĞIRLAŞTIRICI

Hızlandırma süreci ne yapar? Basit ama yetersiz yanıt, şanslı parçacıkları hızlandırdığıdır. Hızlandırıcıların ilk günlerinde bu açıklama iyi işliyordu. Daha iyi bir tanımlama onun parçacıkların *enerji*sini arttırdığıdır. Hızlandırıcılar daha güçlendikçe kısa sürede en sona, ışık hızına, yakın hızlara ulaşabildiler. Einstein'ın 1905'deki özel görelilik kuramı hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı yol alamayacağını öne sürer. Görelilik nedeniyle "hız" çok yararlı bir kavram değildir. Örneğin bir makine protonları diyelim ışık hızının yüzde 99'una hızlandırabilir oysa on yıl sonra inşa edilen pahalı bir makine ışık hızının yüzde 99.9'una ulaşabilir. Büyük iş! Gidin de bunu bir başka yüzde 0.9 için tüm o papelleri oylayacak kongre üyelerine açıklayın!

Democritusçu bıçağı bileyen ve yeni gözlem alanları sağlayan hız değildir. Enerjidir. Işık hızının yüzde 99'u hızında bir protonun yaklaşık 7GeV enerjisi vardır (Berkeley Bevatron'u 1955), oysa yüzde 99.95'lik protonunki 30 GeV'tur (Brookhaven, AGS, 1960) ve yüzde 99.999'luk protonunki 200 GeV'tur (Fermilab, 1972). O halde hız ve enerji değişimlerinin kurallarını koyan Einstein'ın göreliliği hızdan söz etmeyi saçma hale getirir. Önemli olan enerjidir. İlişkili bir nitelik yüksek enerjili bir parçacık için yöneltilmiş enerji olarak düşünülebilecek momenttir. Bu arada hızlandırılmış parçacık daha ağırlaşır çünkü $E = mc^2$ Görelilikte âtıl haldeki bir parçacığın m_0 parçacığın

"âtıl kütlesi" olarak tanımlanmak üzere $E = m_0 c^2$ ile belirtilen bir enerjisi vardır. Parçacık hızlandırılınca enerjisi, E ve bu nedenle de kütlesi artar. Işık hızına ne kadar yaklaşırsak nesne o denli ağır hale gelir ve bunun sonucunda hızını arttırmak da daha zor olur. Ama enerji yükselmeye devam eder. Bununla uyumlu olarak bir protonun âtıl kütlesi yaklaşık 16 eV'tur. O zaman 200 GeV'luk protonun kütlesi hidrojen gazı şişesinde rahatça dinlenen protonunkinden 200 kat fazladır. Bizim hızlandırıcımız aslında bir ağırlaştırıcıdır.

MONET'NİN KATEDRALİ YA DA BİR PROTONA BAKMANIN ON ÜÇ YOLU

Şimdi bu parçacıkları nasıl kullanırız? Basitçe söylersek onların çarpışmalarına neden oluruz. Bu, madde ve enerji konusunda öğrendiklerimizin temel süreci olduğu için ayrıntısına girmemiz gerekir. Makinenin çeşitli özelliklerini ve parçacıkların nasıl hızlandırıldığını ilginç de olsalar unutabilirsiniz. Ama bu kesimi anımsayın. Hızlandırıcının tüm temeli çarpışmadır.

Çekirdek altı evrenin soyut dünyasını gözlemleme ve sonunda kavrama tekniğimiz herhangi bir şeyi –örneğin bir ağacı– kavrayışımıza benzer. Süreç nedir? Önce ışığa gereksiniriz. Güneş ışığını kullanalım. Güneşten fotonlar ağaca doğru akar ve yapraklardan, kabuktan, filizlerden ve dallardan yansır ve bu fotonların bazıları göz küremiz tarafından toplanır. Fotonların nesneden tarayıcıya doğru saçıldığını söyleyebiliriz. Gözün merceği ışığı gözün arkasındaki retina üzerinde odaklar. Retina fotonları tarar ve çeşitli niteliklere göre onları gruplar: renk, gölge, şiddet. Bu bilgi düzenlenir ve on-line işlemciye, beynin görsel veriler üzerine özelleşmiş olan arka lobuna gönderilir. Sonunda on-line çalışmayan işlemci bir sonuca varır: "Aman Tanrım bir ağaç! Ne kadar güzel."

Göze gelen bilgi gözün zaten getirdiği çarpıtmaya eklenen gözlüklerden ya da güneş gözlüklerinden süzülmüş olabilir. Bu çarpıtmaları düzeltmek yukarının, beynin işidir. Şimdi gözün yerine bir kamera yerleştirelim ve bu kez bir hafta sonra büyük bir soyutlama derecesiyle ağaç bir aile saydam gösterisinde duvara yansıtılmış olarak görünür.

Ya da bir video kamera saçılmış fotonların sağladığı bilgiyi digital elektronik bilgiye dönüştürür: sıfırlar ve birler. Bununla eğlenmek için insan onu digital bilgiyi tekrar analog bilgiye –ekranda gösterilen bir ağaca– dönüştüren bir TV'ye gönderir. Eğer insan "ağacı" Ugiza gezegenindeki bilimci meslektaşlarımıza göndermek isterse digital bilgi analog bilgiye dönüştürülmeyebilir ama dünyalıların bir ağaç dediği biçim en üst düzeyde netlikte yollanabilir.

Kuşkusuz bir hızlandırıcıda bu o kadar basit değildir. Farklı türden parçacıklar farklı biçimlerde kullanılır. Yine de çekirdek çarpışmaları ve saçılmalar mecazını bir adım daha ilerletelim. Ağaç sabah, öğle, batan güneşte farklı görünür. Monet'nin, günün farklı zamanlarında çizdiği Rouen katedrali girişinin pek çok resmini görmüş olan herkes ışık kalitesinin farkının neler yaptığını bilir. Gerçek nedir? Sanatçı için katedralin pek çok gerçeği vardır. Her biri kendi gerçekliği içinde ışıldar –soluk sabah ışığı, öğle güneşinin keskin zıtlıkları ya da akşam– üstünün geç saatlerinin zengin parıltısı. Bu ışıkların her birinde gerçeğin farklı bir yönü sergilenir. Fizikçiler aynı ilkeyle çalışır. Elde ettiğimiz tüm bilgiye gereksiniriz. Sanatçı güneşin değişen ışığını kullanır. Biz farklı parçacıkları kullanırız: bir elektron nehri, bir muonlar ya da nötronlar nehri –durmadan değişen enerjilerde.

İşte nasıl çalıştığı

Bir çarpışma hakkında *bilinen* şey içine neyin girdiği ve ne çıktığı ve de nasıl çıktığıdır. Çarpışmanın bu minik hacminde ne olup biter? Çıldırtan gerçek görememezdir. Çarpışma bölgesini bir siyah kutu örtüyor gibidir. Çarpışmanın içsel mekanistik ayrıntıları hayaletsi, ışıldayan kuantum dünyasında gözlemlenemez –düşlenmesi bile çok zordur. Elimizde olan şey rol alan kuvvetlerin ve uygun olduğunda çarpışan nesnelerin yapısının bir modelidir. Neyin girip neyin çıktığını görürüz ve kutunun içinde ne olduğuna ilişkin modelimizin, örüntüleri tahmin edip edemediğini sorarız.

On yaşında çocuklar için bir Fermilab eğitim programında onları bu problemle karşı karşıya getiririz. Onlara bakmaları, sallamaları, tartmaları için bir kutu veririz. Sonra kutuya bir tahta parçası ya da üç çelik bilya gibi bir şeyler koyarız. Sonra öğrencilerden yeniden kutuyu tartmalarını, sallamalarını, eğmelerini, dinlemelerini ve bize nesneler

hakkında her şeyi söylemelerini isteriz: büyüklük, biçim, ağırlık... Bizim saçılma deneylerimiz için öğretici bir mecazdır. Çocukların ne kadar sık olarak doğruya bulduğunu görseniz şaşarsınız.

Büyüklere ve parçacıklara dönelim. Diyelim ki protonların büyüklüğünü bulmak istiyoruz. O zaman Monet'den bir tüyo alırız. Onlara değişik "ışık" biçimlerinde bakarız. Protonlar noktalar olabilir mi? Bunu bulmak için fizikçiler iki yüklü nesnenin arasındaki elektromanyetik kuvveti araştırmak üzere protonları çok düşük enerjili başka protonlarla döverler. Coulomb'un yasası bu kuvvetin uzaklığın karesiyle azalarak sonsuza dek uzandığını söyler. Hedef proton da hızlandırılmış proton da kuşkusuz artı yüklüdür ve yüklerin birbirini itmesi gibi yavaş proton kolayca hedef proton tarafından itilir. Çok yaklaşmaz. Bu tür bir "ışık"ta proton gerçekten bir noktaya, bir elektrik yükü noktasına benzer. O zaman hızlandırılmış protonun enerjisini arttırırız. Şimdi saçılmış protonların örüntülerindeki sapmalar girişin güçlü kuvvet denen şeye, şimdi protonun bileşenlerini birarada tutmaya yaradığını bildiğimiz kuvvete değmeye yetecek kadar derinlemesine olduğunu gösterir. Güçlü kuvvet Coulomb'un elektriksel kuvvetinden yüz kat daha büyüktür ama elektriksel kuvvetten farklı olarak etki alanı sonsuz değildir. Güçlü kuvvet yalnızca yaklaşık 10^{-13} santimetre uzaklığa kadar ulaşır sonra hızla sıfıra düşer.

Çarpışmanın enerjisini arttırarak güçlü kuvvet hakkında giderek daha çok ayrıntıyı su yüzüne çıkarırız. Enerji arttıkça protonların dalgaboyları (de Broglie ile Schrödinger'i anımsayın) büzülür. Ve görmüş olduğumuz gibi dalgaboyu ne kadar küçükse incelenen parçacıkta o kadar fazla ayrıntı ayırt edilebilir.

Protonun en iyi "resimler"inden biri 1950'lerde Stanford Üniversitesinden Robert Hofstadter tarafından çekildi. Orada kullanılan "ışık" protonlar değil bir *elektron* ışınıydı. Hofstadter'in takımı diyelim 800 MeV'luk elektronlardan oluşan iyi örgütlenmiş bir ışını küçük bir sıvı hidrojen fıçısına hedefledi. Elektronlar hidrojenin içindeki protonları bombardıman ettiler ve bir saçılma örüntüsü oluşturdular, elektronlar başlangıç devinimlerine göre çeşitli yönlerde çıktılar. Rutherford'un yaptığından çok daha farklı değil. Protondan farklı olarak elektron, güçlü çekirdek kuvvetine yanıt vermez. Yalnızca protondaki elektrik yüküne yanıt verir; böylece Stanford bilimcileri protondaki yük

dağılımının biçimini araştırabildiler. Sonuç olarak bu, protonun boyutunu ortaya çıkardı. Kesinlikle bir nokta değildi. Yarıçapı 2.8 x 10^{-13} santimetre olarak ölçüldü; yük merkezde zirveye çıkıyor ve bizim proton dediğimiz şeyin kenarlarında sönümleniyordu. Deney yine güçlü kuvvete aldırış etmeyen muon ışınlarıyla yinelendiğinde benzer sonuçlar elde edildi. Hofstadter 1961'de proton "fotografı" nedeniyle Nobel Ödülüyle ödüllendirildi.

1968 dolaylarında Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezinde (SLAC) fizikçiler protonları çok daha yüksek enerjide -8 ila 15 GeV- bombardıman ettiler ve büyük ölçüde farklı bir saçılma örüntüsü elde ettiler. Bu sert ışıkta proton çok farklı bir resim sundu. Hofstadter'in kullandığı görece düşük enerjili elektronlar yalnızca "bulanık" bir proton görebilmişti, protonu peltemsi küçük bir topa benzeten düzgün bir yük dağılımını. SLAC elektronları daha sert bir dalış yapmış, protonun içinde koşuşan küçük arkadaşlar bulmuştu. Bu quarkların en eski göstergesiydi. Yeni ve eski veriler tutarlıydı –Monet'nin sabah ve akşam resimleri gibi– ama düşük enerjili elektronlar yalnızca ortalama yük dağılımlarını ortaya çıkarıyordu. Yüksek enerjili elektronlarla sağlanan görüntülenme bizim protonun üç tane hızla devinen noktamsı bileşeni olduğunu gösterdi. Neden SLAC deneyi bu ayrıntıyı gösterdi de Hofstadter çalışması göstermedi? Yeterince yüksek enerjili bir çarpışma (neyin girdiği ve neyin çıktığı tarafından belirlenen) quarkları yerlerinde dondurur ve noktamsı kuvveti "duyumsar" Bu da yine kısa dalgaboyunun marifetidir. Bu kuvvet hemen geniş açılı saçılmaları (Rudherford'u ve çekirdeğini anımsayın) ve büyük enerji değişikliklerini harekete geçirir. Bu görüngünün resmi adı "esnek olmayan derin saçılma"dır. Hofstadter'in daha eski deneylerinde quark devinimi bulanıklaşmıştı ve protonlar sondaj yapan elektronların düşük enerjisi yüzünden "düzgün" ve içleri tekdüze görünüyordu. Üç tane küçük, hızla titreşen ampulün fotografını bir dakikalık poz süresinde fotoğrafladığınızı düşünün. Filmde bir tane, büyük, bulanık, ayrışmamış nesne görünecektir. SLAC deneyi kabaca daha hızlı bir poz ayarındadır kolayca sayılabilsinler diye ışık noktalarını dondurmaktadır.

Yüksek enerjili elektron saçılmasının quark yorumu çok uzak ve büyük öneme sahip olduğu için bu deneyler Fermilab'da ve CERN'de (Avrupa Çekirdek Araştırmaları Merkezi) SLAC enerjisinin on katı

enerjide (150 GeV) muonlarla ve nötronlarla yinelendi. Muonlar elektronlar gibi protonun elektromanyetik yapısını test ederler ama nötronlar hem elektromanyetik *hem de* güçlü kuvvetten etkilenmediği için zayıf kuvvet dağılımı denen şeyi test ederler. Zayıf kuvvet başka şeylerin yanında radyoaktif bozulmadan sorumlu olan çekirdek kuvvetidir. Ateşli bir yarışma içinde gerçekleştirilen bu büyük deneylerin hepsi de aynı sonuca ulaştı: proton üç quarktan oluşmaktadır. Ve quarkların nasıl dolandığına ilişkin bazı ayrıntıları öğrendik. Bizim "proton" dediğimiz şeyi onların devinimleri belirliyordu.

Her üç tür deneyin –elektron, muon ve nötrino– ayrıntılı analizi yeni tür bir parçacığı, gluonu, araştırmayı da başardı. Gluonlar güçlü kuvvetin taşıyıcılarıydı ve onlar olmaksızın veriler açıklanamazdı. Aynı analiz quarkların proton hapishanelerinde birbirleri etrafında nasıl döndüklerinin nicel ayrıntılarını sağladı. Böylesi çalışmalarla (teknik terim yapı işlevleri) geçen yirmi yıl bize protonlar, nötronlar, elektronlar; muonlar ve nötrinolar kadar fotonlar, pionlar ve antiprotonların protonlara yöneltildiği tüm çarpışma deneylerinde göz önüne alınan incelikli bir model sağladı. Bu alabildiğine Monet'dir. Belki Wallace Steven'in şiiri "Bir Karakuşa Bakmanın On Üç Yolu" konuya daha uygun düşerdi.

Görebileceğiniz gibi biz pek çok şeyi neyin girdiğini ve neyin çıktığını hesaba katarak öğreniyoruz. Kuvvetler ve bu kuvvetlerin nasıl olup da protonlar (üç quarktan yapılmış) ve mezonlar (bir quark ve bir antiquarktan yapılmış) gibi karmaşık yapılar oluşturduğunu öğreniyoruz. Bu kadar çok tamamlayıcı bilgiyle çarpışmanın aslında gerçekleştiği kara kutunun içini görememiz giderek çok daha az önemli hale geliyor.

İnsanın "tohumun içindeki tohumlar"ın dizisinden etkilenmemesi mümkün değil. Molekül atomlardan oluşur. Atomun özü çekirdektir. Çekirdek protonlardan ve nötronlardan oluşur. Proton ve nötron quarklardan oluşur. Quarklar hoop orada dur. Quarklar kırılamaz diye düşünüyoruz ama kuşkusuz emin değiliz. Yolun sonuna geldiğimizi söylemeye nasıl cesaret ederiz? Yine de –şu an için– bu noktada oybirliği var ve de her şey bir yana Democritus sonsuza dek yaşayamaz.

YENİ MADDE: BAZI REÇETELER

Şimdi bir çarpışma sırasında yer alan önemli bir süreci tartışmamız gerekiyor. Yeni parçacıklar yapabiliriz. Bu evinizin içinde her zaman olmaktadır. Şu karanlık sayfayı kahramanca aydınlatmaya çalışan lambaya bakın. Işığın kaynağı nedir? Ampulün flamanının ya da enerji tasarrufu yapıyorsanız fluoresan lambasının içindeki gaza püskürtülen elektrik enerjisinin harekete geçirdiği elektronlar. Elektronlar *foton yayarlar*. Süreç budur. Parçacık fiziğinin daha da soyut diliyle bir çarpışma süreci içindeki elektronlar bir foton yayabilir. Elektrona (duvardaki priz aracılığıyla) sağlanan enerji bir hızlandırıcı sürecinden gelir.

Şimdi genelleştirmemiz gerek. Yaratış sürecinde enerjinin korunması, moment, yük ve tüm diğer kuantum kurallarından sorumlu yasalarla sınırlıyızdır. Yine bir biçimde yeni bir parçacık yaratılmasından sorumlu nesne yaratılan parçacıkla "bağlı" olmak zorundadır. Örnek: bir proton başka bir protonla çarpışır ve yeni bir parçacık, bir pion, oluşur. Şöyle yazarız:

$$p^+ + p^+ \rightarrow p^+ + \pi^+ + n$$

Yani protonlar çarpışırlar ve bir başka proton, bir artı pion (π^+) ve bir nötron oluştururlar. Bu parçacıkların tümü güçlü kuvvet aracılığıyla birbirine bağlıdır ve bu tipik bir yaratış sürecidir. Bir başka seçenek insanın bunu bir başka protonun "etkisi altında" bir protonun bir "pi artı" ve bir nötrona ayrışması olarak görmesidir.

Bir başka yaratış türü yokolma denen nadir ve ilgi çekici bir süreç, maddeyle karşımadde çarpıştığı zaman ortaya çıkar. *Yokolma* terimi en dar sözlük anlamıyla bir şeyin var olmaktan çıkması anlamında kullanılmıştır. Bir elektron karşı parçacığı pozitronla çarpışınca parçacık ve karşıparçacık yokolur ve onların yerinde geçici olarak bir foton biçiminde enerji oluşur. Korunum yasaları bu süreci sevmez bu yüzden foton geçicidir ve hemen yerinde iki parçacık –örneğin bir başka elektronla bir pozitron– yaratması gerekir. Daha seyrek olarak foton bir muonla bir antimuona ya da hattâ bir artı protonla bir eksi antiprotona ayrışabilir. Yokolma Einstein'ın yasası $E = mc^2$'ye uygun olarak kütleyi enerjiye dönüştürmede tümüyle etkili olan tek görüngüdür. Örneğin bir nükleer bomba patladığı zaman atomsal

kütlenin yalnızca yüzde 1 kadar bir kesimi enerjiye dönüşür. Madde ve karşı madde çarpıştığında kütlenin yüzde 100'ü kaybolur.

Yeni parçacıklar yaparken temel gereksinim yeterince enerji olmasıdır ve $E = mc^2$ bizim hesap aygıtımızdır. Örneğin bir elektronla bir pozitronun çarpışmasının bir proton ve antiprotona ya da bizim onları adlandırdığımız gibi p ve p-çizgi oluşumuna neden olabileceğinden söz ederiz. bir protonun âtıl enerjisi yaklaşık 16 GeV olduğundan parçacıklar bir p/p-çizgi çifti oluştursunlar diye özgün çarpışmada enerjileri en az 2 GeV olmalıdır. Daha yüksek enerji bu sonucun olasılığını arttırır ve yeni üretilen nesnelere onların taranmasını kolaylaştıran bir kinetik enerji verir.

Karşımaddenin göz alıcı doğası onun enerji krizini çözebileceği yolunda bilim kurgu bir fikre yol açmıştır. Aslında bir kilogram karşı madde Amerika Birleşik Devletlerine bir gün yetecek enerji sağlardı. Çünkü antiprotonun tüm kütlesi (artı tam yokolmaya beraberinde götüreceği proton) $E = mc^2$ ile enerjiye dönüşür. Yanan kömür ya da petrolde kütlenin yalnızca milyarda biri enerjiye dönüşür. Parçalanma reaktörlerinde bu sayı yüzde 0.1'dir ve uzun süredir özlenen füzyon enerji kaynağında (nefesinizi tutmayın!) bu yaklaşık yüzde 0.5 olacaktır.

BOŞLUKTAN PARÇACIKLAR

Bu şeyler üzerine düşünmenin bir başka yolu tüm uzayın, boş uzayın bile, parçacıklarla, doğanın sonsuz bilgeliğinin sağladığı her tür parçacıkla yıkandığını hayal etmektir. Bu bir mecaz değil. Kuantum kuramının ima ettiklerinden biri de bu parçacıkların boşlukta ansızın var olup yok olduklarıdır. Her boy ve biçimde parçacık geçicidir. Yaratılır ve sonra çabucak kaybolur –pazar yeri gibi cıvıl cıvıl bir etkinlik. Boş uzayda, boşlukta oluştukları sürece gerçekte hiçbir şey olmaz. Bu kuantum hayaletsiliğidir ama belki bir çarpışmada ne olup bittiğini açıklamaya yardımcı olur. Burada bir çift güzel quark (özel bir tür quark ve onun antiquarkı) görünür ve kaybolur; orada bir alt quark ve onun anti alt eşi. Ve bir dakika ta orada o ne? Tamam her neyse: bir X ve bir anti X, 1993'de hakkında hiçbir şey bilmediğimiz bir şey, görünür.

Bu kaotik çılgınlığın kuralları vardır. Sıfıra, boşluğun sıfırına kuantum sayıları eklenmelidir. Bir başka kural: nesneler ne kadar ağırsa çabucak solan ortaya çıkışları o kadar seyrek olur. Boşluktan saniyenin çok küçük bir kesiminde görünmek için enerji "ödünç alırlar" sonra kaybolurlar çünkü onu Heisenberg'in belirsizlik ilişkilerinin belirlediği bir sürede geri ödemeleri gerekir. Ve işte anahtar: eğer dışarıdan enerji sağlamışsa bu boşluk kökenli parçacıkların geçici sanal görünümleri gerçek varoluşa, kabarcık odasında ya da sayaçlarda taranabilen bir varoluşa dönüşebilir. Nasıl sağlanır? Eh, hızlandırıcıdan yeni çıkmış çarşıda dolanan enerjili bir parçacığın fiyatı –yani en azından quark ya da X çiftinin âtıl kütlesi– ödemesine izin verilir, o zaman boşluğun parası geri verilmiş olur ve biz hızlandırılmış parçacığımızın bir quark –antiquark çifti yarattığını söyleriz. Tabii yaratmak istediğimiz parçacıklar ne kadar ağırsa makineden o kadar fazla enerjiye gereksiniriz. 7. ve 8. Bölümde tam da bu yolla var olan pek çok yeni parçacıkla tanışacaksınız. Bu arada "sanal parçacıklar"la dolu her yere yayılmış boşluğa ilişkin kuantum düşleminin başka deneysel sonuçları vardır; örneğin elektron ve muonların kütle ve mıknatıslığını değiştirmek gibi. "g eksi 2" deneyine geldiğimizde daha fazla açıklayacağız.

YARIŞ

Rutherford döneminin başında çok yüksek enerjilere ulaşabilecek aygıtlar yapma yarışı başladı. Çaba 1920'ler boyunca elektrik dağıtım şirketlerinden destek gördü çünkü elektrik gücü en verimli biçimde voltaj yüksekken taşınabiliyordu. Bir başka güdülenme kanser sağaltımı için enerjik X ışınlarının yaratılmasıydı. Tümörleri tahrip etmek için radyum kullanılmıştı ama son derece pahalıydı ve yüksek enerjili radyasyonun büyük bir avantaj sağlayacağı düşünüldü. Böylece elektrik şirketleri ve tıbbi araştırma enstitüleri yüksek voltaj üreteçlerinin gelişmesini desteklediler. Rutherford İngiltere'nin Metropolitan-Vickers Elektrik Şirketine meydan okuyarak her zamanki gibi başa geçti: "bize makul ölçüde bir odaya yerleştirmek üzere on milyon volt düzeyinde bir potansiyel... ve bu voltaja dayanacak havası boşaltılmış bir tüp verin."

Alman fizikçiler Alp yıldırımlarının dev voltajlarını yakalamaya çalıştılar. İki dağ zirvesi arasına 15 milyon voltluk şarjları emen ve 55 santim aralıkta iki metal küre arasında atlayan dev kıvılcımlar yaratan yalıtılmış bir kablo çektiler –görkemli ama pek kullanışlı değil. Bu yaklaşım bir bilimci aygıtı ayarlarken ölünce terk edildi.

Alman ekibinin başarısızlığı insanın güçten başka şeylere de gereksindiğini ortaya koydu. Aralığın uçları, çok iyi yalıtkan olan bir ışın tüpünün ya da boşluk odasının içine yerleştirilmeliydi. (Yüksek voltajlar, düzenleme çok iyi olmadığında yalıtkanların üzerinden kısa devre yapmayı pek severler.) Tüp aynı zamanda havasının boşaltılmasına dayanacak kadar sağlam olmalıydı. Yüksek kalitede bir boşluk temeldi; eğer tüpün içinde uçuşan çok fazla molekül olursa ışına karışacaklardı. Ve de yüksek voltaj pek çok parçacığı hızlandıracak kadar sürekli olmalıydı. Bu ve benzeri teknik problemler üzerinde 1926'dan 1933'de çözülene dek uğraşıldı.

Tüm Avrupa ve Amerika kurumları arasında rekabet çok şiddetliydi ve bilimciler kavgaya katıldılar. Berlin'de Algemeine Elektrizität Gesellschaft tarafından inşa edilen bir darbe üretici 2.4 milyon volta ulaştı ama hiçbir parçacık üretmedi. Fikir, Schenectady'de enerjiyi 6 milyon volta yükselten General Electric'e taşındı. Washington, D.C.'de Carnegie kurumunda 1928'de fizikçi Merle Tuve bir endüksiyon bobininde birkaç milyon volta ulaştı ama uygun bir ışın tüpü yoktu. Cal Tech'de Charles Lauritsen 750 000 volta dayanan bir boşluk tüpü inşa etmeyi başardı. Tuve, Lauritsen'in tüpünden edindi ve saniyede 500 000 voltluk 10^{13} (10 trilyon) protonluk bir ışın üretti, kuramsal olarak çekirdeği sondajlamak için yeterli parçacık ve enerji. Tuve aslında çekirdek çarpışmalarını başarmıştı ama 1933'de iki başka çaba onu yere sermeden önce değil.

Bir başka koşucu, Yale ve sonra da MIT'den Robert Van de Graaff'tı; elektrik yükünü sonsuz bir ipek kayışla büyük bir metal küreye taşıyan, voltajı birkaç milyon volta kadar yükselttikten sonra binanın duvarına devasa bir kıvılcım çaktırtan bir makine inşa etti. Bu şimdi de ünlü olan Van de Graaff üretecidir ve ülkenin her yerindeki lise fizik öğrencileri onu bilir. Kürenin çapını büyütmek deşarjı geciktiriyordu. Tüm küreyi kuru azot gazıyla kaplamak voltajı yükseltmeye yardım ediyordu. Sonunda Van de Graaf üreteçleri 10 milyon volt altı

kategorisinde tercih edilen makineler oldu ama fikri mükemmelleştirmek yıllar aldı.

Yarış 1920'lerin sonlarından 30'ların başlarına kadar sürdü. Kazanan burun farkıyla da olsa Rutherford'un Cavendish çetesinden John Cockcroft ve Ernest Walton çiftiydi. Vee (burada homurdanmak zorundayım) onlara bir kuramcı değer biçilmez bir yardımda bulunmuştu. Cockcroft ve Walton pek çok başarısızlıktan sonra çekirdeği sondajlamak için gerekli olduğu sezilen bir milyon volta ulaşmışlardı. Bir Rus kuramcısı George Gamow Kopenhag'da Niels Bohr'u ziyaret etmiş ve eve dönmeden önce Cambridge'e zıplamaya karar vermişti. Orada Cockcroft ve Walton'la bir tartışmaya girdi ve deneycilere oynadıkları voltajın tümüne gereksinimleri olmadığını söyledi. Yeni kuantum kuramının çekirdeğin elektriksel itmesini yenecek kadar yüksek olmayan enerjilerde bile çekirdeğe başarılı girişe izin verdiğini anlattı. Kuantum kuramının protonlara dalga niteliği verdiğini bunun da 5. Bölümde tartıştığımız gibi çekirdek yükü "engel"inde tünel açabileceğini açıkladı. Cockcroft ve Walton sonunda bunu benimsediler ve aygıtlarını 500 000 Volt için yeniden düzenlediler. Bir transformatör ve voltaj çoğaltan devresi kullanarak J.J.Thomson'un katod ışınları üretmek için kullandığı türde bir deşarj tüpünde sağlanan protonları hızlandırdılar.

Cockcroft ve Walton'un makinesinde yaklaşık saniyede bir trilyonluk proton mermileri havası boşaltılmış tüpten hızlandırıldı ve kurşun, lityum ve berilyum hedeflerine çarptılar. Yıl 1930'du ve sonunda hızlandırılmış parçacıklarla çekirdek reaksiyonları oluşturulmuştu. Lityum yalnızca 400 000 eV'luk, gerekli olduğu düşünülen milyonlarca elektron voltun çok altında enerjili protonlarla parçalandı. Tarihsel bir olaydı. Şimdi henüz en ilkel biçiminde de olsa yeni tür bir "bıçak" sağlanmıştı.

CALIFORNIA'DA BİR TARTIŞMACI VE KARIŞTIRICI

Şimdi hareket Yale'de fizik araştırmasına parlak bir başlangıç yapmış Güney Dakota'lı Ernest Orlando Lawrence'ın 1928'de gittiği California Berkeley'e kayıyor. E.D.Lawrence siklotron denilen bir makinede parçacıları hızlandırmak için kökten farklı bir teknik

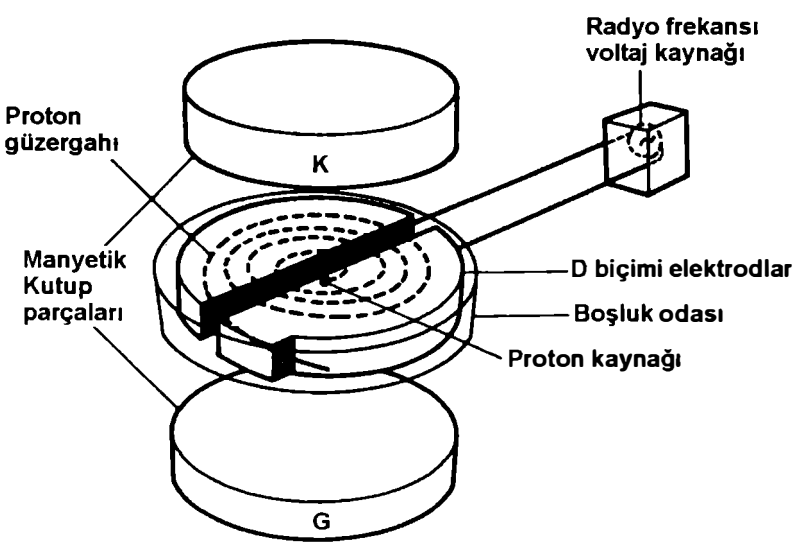
geliştirmiştir ve onun için 1939'da Nobel Ödülüyle ödüllendirildi. Lawrence kocaman voltajları ve sinir edici elektriksel kesintileriyle sarsak elektrostatik makineleri tanıyordu ve daha iyi bir yol olması gerektiğini anladı. Yüksek voltajlar olmaksızın yüksek enerjiye ulaşmanın yolları için literatürü araştırırken Norveçli bir mühendisin Rolf Wideröe'nin makalesine rastladı. Wideröe insanın bir parçacığı bir sıra üzerindeki iki açıklıktan geçirerek voltajı iki katına çıkarmadan parçacığın enerjisini iki katına çıkarabileceğini yazmıştı. Wideröe'nin fikri şimdi doğrusal hızlandırıcı dediğimiz şeyin temelidir. Açıklıklar birbiri arkasına bir doğru üzerinde yerleştirilmiştir; parçacıklar her açıklıkta enerji toplarlar.

Ancak Wideröe'nin makalesi Lawrence'e daha iyi bir fikir verdi. Neden, ılımlı voltajda tek bir aralığı tekrar tekrar kullanmasındı? Lawrence yüklü bir parçacık bir manyetik alanda devindiğinde yolunun bir çembere eğildiğini düşündü. Çemberin yarıçapı mıknatısın gücüne (güçlü mıknatısı, küçük yarıçap) ve yüklü parçacığın momentine (yüksek moment, büyük yarıçap) bağlıydı. Moment basit olarak parçacığın kütlesiyle hızının çarpımıdır. Bunun anlamı güçlü bir mıknatısın bir parçacığı minik bir çemberde devindireceği ama eğer parçacık enerji ve dolayısıyla moment kazanırsa çemberin yarıçapının büyüyeceğidir.

Büyük bir mıknatısın kuzey ve güney kutupları arasına sıkışmış bir şapka kutusu düşünün. Kutuyu pirinç ya da paslanmaz çelik gibi güçlü ama manyetik olmayan bir şeyden yapın. Havayı kutudan dışarıya pompalayın. İki tane içi boş D biçimi bakırdan yapı neredeyse kutuyu doldursun: D'lerin düz yanları açık ve küçük bir aralıkla birbirine bakıyor, yuvarlak yanları kapalı olsun. Bir D'nin artı, diğerinin eksi yüklü olduğunu, aradaki potansiyel farkın diyelim ki 1.000 Volt olduğunu varsayın. Dairenin merkezine yakın bir yerde üretilen proton demeti (nasıl üretildiğine boş verin) artı D'den eksi D'ye giden aralığa yöneltilir. Protonlar 1000 volt kazanır ve momentleri daha yüksek olduğu için yarıçaplarını büyütürler. Protonlar D'nin içini sıyırırlar ve aralığa geri döndüklerinde akıllıca bir anahtarlama sayesinde aralığın üzerinde yine bir eksi voltaj görürler. Yine hızlanırlar ve şimdi 2000 eV'ları vardır. Süreç devam eder. Protonlar açıklığı her geçişte 1000 eV kazanırlar. Moment kazandıkça ımıknatısın sıkıştırıcı gücüyle sava-

şırlar ve yollarının yarıçapı büyümeye devam eder. Sonuç, protonların kutunun merkezinden çevresine doğru bir sarmal çizmeleridir. Orada bir hedefe çarparlar, bir çarpışma oluşur ve araştırma başlar.

Siklotronda hızlandırmanın anahtarı, protonların açıklığın öbür ucunda her zaman bir eksi D görmelerini güvence altına almaktır. Kutupluluk protonların dönüşüyle tam bir eşzamanlılık içinde D'den D'ye hızla değişmelidir. Ama kendi kendinize voltajı, yolları hızlandırma sürdükçe giderek büyüyen çemberler çizen protonlarla eşzamanlı olacak biçimde alışıklaştırmak zor değil mi diye sorabilirsiniz? Yanıt hayırdır. Lawrence Tanrı vergisi zekasıyla sarmal çizen protonların daha uzayan yollarını artan hızlarıyla telafi ettiklerini keşfetti. Her yarım çemberi aynı zamanda tamamlarlar; rezonant hızlandırma diye bilinen bir süreç. Proton yörüngelerini denkleştirmek için insanın sabit frekansta almaşık bir voltaja gereksinimi vardır; radyo yayınlarında iyi bilinen bir teknoloji. Bu nedenle anahtarlı hızlandırma mekanizmasının adı: radyo frekansı üretecidir. Bu sistemde protonlar aralığın kenarına tam da karşı D maksimum eksi voltajda olduğunda ulaşırlar.



Lawrence 1929 ve 1930'da siklotron kuramı üzerinde çalıştı. Daha sonra kâğıt üzerinde D açıklığında 10 000 Volt üretilen ve protonların yüz dönüş yaptıkları bir makine tasarladı. Bu ona 1 MeV'luk proton ışınları verecekti. (10 000 Volt X 100 dönüş = 1 MeV). Böyle bir ışın "atom çekirdeklerinde çalışmak için yararlı" olacaktı. Gerçek olarak Lawrence'ın öğrencilerinden biri olan Stanley Livingston'un inşa ettiği ilk model oldukça kısa sürede ortaya çıktı ve 80 KeV'a (80 000 Volt) ulaştı. Sonra Lawrence büyük çıkış yaptı. Çekirdek parçalanması üretebilecek bir makine için kocaman bir burs (1000 $!) sağladı. Kutup parçaları (mıknatısın kuzey ve güney kutup parçaları) yirmi beş santim çapındaydı ve 1932'de makine, protonları 1.2 MeV"uk bir enerjiye hızlandırıyordu. Bunlar lityumda ve başka elementlerde Cambridge'deki Cockcroft ve Walton'un grubundan birkaç ay sonra çekirdek çarpışması üretmek için kullanıldı. İkinci sıra ama Lawrence bir puro yaktı.

BÜYÜK BİLİM VE CALIFORNIA MİSTİĞİ

Lawrence son derece enerjili ve son derece yetenekli bir tartışmacı ve sarsıcıydı. Büyük Bilimin babasıydı. Terim çok sayıda bilimcinin paylaştığı, merkezileştirilmiş, çok karmaşık ve pahalı dev tesisler demektir. Evrimi sırasında Büyük Bilim bilimci *takımları* tarafından gerçekleştirilen araştırmanın yeni yollarını yaratmıştır. Ayrıca daha sonra bahsedeceğim mükemmel sosyolojik problemler yaratmıştır. Hven laboratuarının, Uraniborg'un Lordu Tycho Brahe'den bu yana Lawrence'in eşi yoktur. Deneysel arenada Lawrence Birleşik Devletleri dünya fiziğinin önemli bir oyuncusu haline getirmiştir. California mistiğine, teknolojik aşırılıklar ve pahalı girişimler aşkına katkıda bulunmuştur. Bunlar genç California ve aslında genç Birleşik Devletler için baştan çıkarıcı meydan okumalardır.

1934'de Lawrence doksan dört santimlik bir siklotronla 5 MeV'luk deuteron ışınları üretiyordu. Bir proton ve bir nötrondan ibaret bir çekirdek olan deuteron 1931'de keşfedilmişti ve çekirdek reaksiyonları oluşturmak için protondan daha etkili bir mermi olduğu kanıtlanmıştı. 1936'da 8 MeV'luk bir deuteron ışını vardı. 1939'da yüz elli iki santimlik bir makine 20 MeV'ta çalışıyordu. 1940'da başlayan ve savaştan sonra tamamlanan bir canavarın mıknatısı 10 000 ton

ağırlığındaydı! Çekirdeğin gizlerini çözme yetenekleri yüzünden tüm dünyada siklotronlar inşa edildi. Tıpta tümörleri sağaltmak için kullanılıyorlardı. Bir tümöre yöneltilmiş parçacık ışınları kanserin içinde onu tahrip etmeye yetecek enerji depolayabiliyorlardı. 1990'larda Birleşik Devletlerde binin üzerinde siklotron hastanelerde kullanılmaktadır. Ama parçacık fiziğinin temel araştırmaları siklotronları yeni tür bir makine için terketmiştir.

SİNKROTRON: İSTEDİĞİN KADAR ÇOK DÖNÜŞ

Daha da yüksek enerjiler yaratma güdüsü şiddetlenip dünyaya yayıldı. Her yeni enerji bölgesinde yeni keşifler yapıldı. Daha da yüksek enerjilere ulaşma arzusunu arttıran yeni bulmacalar da yaratıldı. Doğanın zenginliği çekirdeksel ve çekirdekaltı mikrodün –yada gizliymiş gibi görünüyordu.

Siklotron, tasarımı yüzünden kısıtlıydı. Parçacıklar dışarıya doğru Sarmal çizdiği için yörünge sayısı doğal olarak aletin çevresiyle sınırlıydı. Daha çok yörünge ve daha büyük bir siklotrona gereksiniyordunuz. Manyetik alan tüm sarmal alanına uygulanmalıydı, bu yüzden mıknatıslar büyük... ve de pahalı olmak zorundaydı. Sinkrotron sahneye çıkıyor. Eğer parçacıkların yörüngesi dışa doğru sarmal çizecek yerde yalnızca sabit bir yarıçapta tutulabilseydi o zaman yalnızca yörüngenin dar yolu kadar mıknatıslara gereksinim olurdu. Parçacıklar enerji kazandıkça onları sabit yarıçapta bir yörüngeye hapsetmek için manyetik alan eşzamanlı olarak arttırılabilirdi. Zekice! Tonlarca demirden tasarruf edilebilirdi. Çünkü, ışına enlemesine duran manyetik kutup parçaları metrelerce olacak yerde santimetrelerce olabilirdi.

1990'lara ilerlemeden önce iki önemli ayrıntıdan söz edilmesi gerekir. Bir siklotronda yüklü parçacıklar (protonlar ya da deuteronlar) bir mıknatısın kutupları arasına sıkıştırılmış bir boşluk odasında binlerce dönüşe ulaşmış bir yol boyunca yolculuk yaparlar. Parçacıkların dağılmasını ve odanın duvarlarına çarpmasını önlemek için bir tür odaklama süreci kesinlikle gereklidir. Tıpkı bir flaş lambasından çıkan ışığı (yaklaşık olarak) paralel ışınlara dönüştüren bir mercek gibi parçacıkları sıkı bir ışın halinde sıkıştırmak için manyetik kuvvet kullanılır.

Siklotronda bu odaklama eylemi protonlar mıknatısın dış kenarına doğru devindikçe manyetik alan değişiklikleriyle sağlanır. Lawrence'ın genç bir öğrencisi ve daha sonra Fermilab hızlandırıcısını inşa eden Robert R.Wilson protonların dağılmasını önlemede manyetik kuvvetlerin ince ama hayati etkisini ilk anlayan kişidir. İlk sinkrotronlarda kutup parçaları bu kuvvetleri sağlamak üzere biçimlendirilmişti. Daha sonra özel olarak tasarlanmış dört kutuplu (iki kuzey ve iki güney kutbu) mıknatıslar parçacıkları odaklamak için kullanıldı bu arada ayrı iki kutuplu mıknatıslar onları sabit bir yörüngede döndürüyordu. Fermilab'ın Tevatron'u, 1938'de tamamlanan bir trilyon elektron voltluk bir makine, iyi bir örnektir. Parçacıklar, bir treni bir kaviste döndüren demiryolları gibi onları dairesel bir yörüngede tutan güçlü superiletken mıknatıslar tarafından döndürülür. Havası iyice boşaltılmış ışın borusu mıknatısların kuzey ve güney kutupları arasında ortalanmış 7.5 cm genişliğinde 5 cm yüksekliğinde paslanmaz çelikten (manyetik değil) oval biçimli bir tüptür. Her iki kutuplu (döndürücü) mıknatıs 640 cm. uzunluğundadır. "Dörtlüler" 150 cm boyundadır. Tübün uzunluğunu kaplamak için binden fazla mıknatıs gerekir. Işın borusu ve mıknatıs kombinasyonu 1 kilometre yarıçapında –Lawrence'un ilk 10 cm.lik modelinden epeyce değişik– bir çemberi tamamlarlar. Sinkrotron tasarımının avantajını burada görebilirsiniz. Bir çok mıknatıs gerekli ama onlar oldukça incedir, boşluk borusunu kaplamaya yetecek kadar geniş. Tevatron bir siklotron olsaydı 6.5 km. çevresi olan makineyi kaplamak için 3 km. yarıçapında kutup parçaları olan bir mıknatısa gereksinecektik.

Parçacıklar bu 6.5 km.lik yolda saniyede 50 000 dönüş yaparlar. 10 saniyede parçacıklar 3.5 milyon kilometre yapmış olurlar. Bir aralıktan –aslında bir dizi özel olarak inşa edilmiş oyuktan– her geçişlerinde bir radyo frekansı voltajı enerjiyi yaklaşık 1 MeV arttırır. Parçacıkları odaklayan mıknatıslar onların tayin edilmiş rotalarında tüm yolculuk boyunca üç milimetreden az sapmalarına olanak verir. Mükemmel değil ama yeterince iyi. Aya konmuş bir sivrisineğe tüfekle nişan alıp yanlış gözünden vurmak gibi bir şey. Protonları hızlandırırken sabit yörüngede tutmak için mıknatısların gücü protonun enerji kazanmasıyla kesin bir eşzamanlılık içinde artmalıdır.

İkinci önemli ayrıntı görelilik kuramıyla ilgilidir: protonlar, enerji-

leri 20 MeV ve daha fazla arttığında gözlenebilir derecede daha ağır hale gelirler. Bu artış Lawrence'ın keşfettiği ve sarmal çizen protonların daha uzayan yollarını hızlanarak kesinlikle telafi etmeleri demek olan "siklotron rezonansı"nı tahrip eder. Bu, dönüşün, aralıktan geçişte hızlandırıcı voltajının sabit frekansıyla eşzamanlı hale getirilmesine olanak verir. Daha yüksek enerjilerde dönüş zamanı uzar ve artık sabit bir radyo frekansı voltajı uygulanamaz. Yavaşlamayı karşılamak için uygulanan frekans azalmalıdır; bu yüzden kütleleri artan protonların yolunu çizmek için frekans modülasyonlu (FM) hızlandırıcı voltajlar kullanılır. Sinkrosiklotron, frekans modülasyonlu siklotron, hızlandırıcılarda göreliliğin etkisinin en eski örneğidir.

Proton sinkrotronu, problemi çok daha zarif bir biçimde çözdü. Biraz karmaşıktı ama parçacığın hızının (ışık hızının yüzde 99 nokta bilmem kaç.) temelde sabit olmasına dayanıyordu. Varsayın ki parçacık, aralığı radyo frekansı çevriminin hızlandırıcı voltajın sıfır olduğu kesiminde geçsin. Hızlanma yok. Şimdi manyetik alanı biraz arttıralım. Parçacık daha dar bir çembere eğilir ve aralığa biraz daha erken ulaşır; şimdi radyo frekansı hızlandıracak bir fazdadır. Böylece kütle büyür, yörünge çapı büyür ve başladığımız yere ama daha yüksek enerjiyle döneriz. Sistem kendi kendini düzeltir. Eğer parçacık çok fazla enerji (kütle) kazanırsa yarıçapı büyüyecek, aralığa daha geç varacak ve hatayı düzelten yavaşlatıcı bir voltaj görecektir. Manyetik alanı yükseltmek bizim kahraman parçacığımızın kütle enerjisini arttırma etkisine sahiptir. Bu yöntem bu bölümde daha sonra tartışılacak "faz tutarlılığı"na dayanır.

IKE VE PIONLAR

İlk hızlandırıcılardan biri bana yakındır ve onu çok severim Columbia Üniversitesinin New York, Irvington-Huston'da, Manhattan'a günü birlik gidip gelme mesafesinde bir malikanede 400 MeV'luk sinkrosiklotronu. Malikane koloni zamanlarında Alexandra Hamilton tarafından kurulmuş ve atalarının İskoçyadaki dağı Ben Nevis'in adı verilmişti. Daha sonra Du Pont ailesinin bir kolunun eline geçmiş daha sonra da Columbia Üniversitesinin olmuştu. 1947 ile 1949 arasında inşa edilen Nevis siklotronu yirmiyi aşkın yıllık çalışma süresi (1950-1972) boyunca dünyanın en üretken parçacık hızlandırı-

cılarından biriydi. Ayrıca yüz elliden fazla Ph.D. yetiştirmiştir; onların yarısı yüksek enerji fiziğinde kalmış ve Berkeley, Stanford, Cal Tech, Princeton ve bunun gibi birçok güvenilmez kurumda profesör olmuşlardı. Diğer yarısı her yere dağıldı: küçük eğitim kurumlarına devlet laboratuarlarına, bilim yönetimine, endüstri araştırmalarına, yatırım bankalarına...

Başkan (Columbia'nın başkanı) Dwight Eisenhower yeni tesisi 1950 Haziranında, güzel malikanenin –görkemli ağaçlar, çalılıklar, birkaç kırmızı tuğladan bina– Hudson Nehrine doğru inen çayırında küçük bir törenle açtığında ben öğrenciydim. Uygun nutuklar atıldıktan sonra Ike bir düğmeyi çevirdi ve oparlörden bir Geiger sayacının radyasyonu gösteren "cıvıltıları" yükseldi. Cıvıltıları benim bir parçacık sayacının yanında tuttuğum bir radyoaktif kaynak üretiyordu çünkü makine bozulmak için tam da o anı seçmişti. Ike hiçbir zaman anlamadı.

Neden 400 MeV? 1950'nin gözde parçacığı pion ya da diğer adıyla pi mezondu. Pion 1936'da bir Japon kuramsal fizikçisi Hideki Yukawa tarafından tahmin edilmişti. O günlerde büyük bir giz olan güçlü kuvvetin anahtarı olduğu düşünülüyordu. Bugün güçlü kuvveti gluonlarda arıyoruz. Ama o zamanlar protonlarla nötronlar arasında onları çekirdekte sıkıca tutmak için bir ileri bir geri uçan pionlar anahtardı ve onları yapıp incelemeye gereksinmemiz vardı. Çekirdek çarpışmalarında pionları üretmek için hızlandırıcıdan gelen parçacığın m (pion) c^2'den yani pionun âtıl kütlesinden daha büyük bir enerjisi olması gerekiyordu. Pionların âtıl kütlesini ışık hızının karesiyle çarpınca onun âtıl kütlesinin enerjisi olan 140 MeV'u buluruz. Çarpışma enerjisinin yalnızca bir kesimi yeni parçacıklar üretmeye gittiği için fazladan enerjiye gereksinimimiz vardı ve 400 MeV'ta karar kıldık. Nevis makinesi bir pion fabrikası haline geldi.

BEPPO'NUN HANIMLARI

Ama durun. Önce pionları en başta nasıl bulduğumuza ilişkin bir iki söz edelim. 1940'ların sonlarında İngiltere'de Bristol Üniversitesi bilimcileri bir alfa parçacığının bir cam levhaya sürülmüş fotoğraf emulsiyonundan geçerken yolundaki parçacıkları "etkinleştirdiğini"

ayırt ettiler. Filmi banyo ettikten sonra gümüş bromür taneciklerinin belirlediği bir iz görebilirsiniz. İz, düşük güçte bir mikroskopla kolayca ayırt edilir. Bristol grubu çok kalın emulsiyon plaklarını balonlarla neredeyse atmosferin tepesine gönderdiler, orada kozmik ışınların şiddeti deniz düzeyinden çok daha yüksektir. Bu "doğal olarak" ortaya çıkan radyasyon, Rutherford'un cılız 5 MeV'luk alfalarını çok çok aşıyordu. Pion ilk kez bu kozmik ışınlara tabi tutulmuş emulsiyonlarda 1947'de bir Brezilyalı, Cesare Letter, bir İtalyan, Guiseppe Occiallini ve Bristol'de kadrolu profesör olan C.F.Powell tarafından keşfedildi.

Yukarıdaki trionun en renklisi, arkadaşlarının Beppo dediği Occiallini'ydi. Bir amatör mağaracı ve takıntılı bir espri makinesi olarak Beppo grubun güdüleyici kuvvetiydi. Bir genç kadınlar sürüsünü mikroskop altında emülsiyonları incelemek üzere eğitmişti. Beppo'nun yakın arkadaşlarından biri olan benim tez danışmanım Gilberto Bernardini, bir gün onu Bristol'de ziyaret etmiş. Kendisine çok zor gelen kusursuz bir İngilizce'yle verilen talimatları izleyen Bernardini çabucak yolunu kaybetmiş. Sonunda bir laboratuara dalmış, içeride çok düzgün bir yığın İngiliz hanım mikroskoplara bakıyor ve Cenova doklarında bile ağza alınmayacak bir İtalyan argosuyla küfrediyorlarmış. "Ecco!" diye bağırmış Bernardini, "Beppo'nun laboratuarı bura!"

O emulsiyonlardaki izlerin gösterdiği şey yüksek hızla ortaya çıkan giderek yavaşlayan (gümüş bromür taneciklerinin yoğunluğu parçacık yavaşladıkça artar) ve sonunda duran bir parçacık, yani piondu. İzin sonunda yeni enerjik bir parçacık oluşur ve fırlar. Bir pion kararsızdır, bir mikrosaniyenin yüzde birinde bir muon (izin sonundaki yeni parçacık) ve başka bir şeye ayrışır. Bu başka şeyin emulsiyonda iz bırakmayan nötrino olduğu anlaşılmıştır. Reaksiyon $\pi \rightarrow \mu + \nu$ diye yazılır. Yani bir pion (sonunda) bir muon ve bir nötrino oluşturur. Emulsiyon hiçbir zamansal bilgi sağlamadığı için bu nadir oluşumun yarım düzinesinin izlerinin özenli analizi parçacığın ne olduğunu ve nasıl ayrıştığını anlamaya olanak vermiştir. Yeni parçacık incelenmeliydi ama kozmik ışınları kullanmak böyle olaylardan *yılda*, yalnızca bir avuç sağlıyordu. Çekirdek parçalanmaları ise yeterince yüksek enerjili hızlandırıcılar gerekiyordu.

Berkeley'de Lawrence'ın 467 cm.lik siklotronu Nevis makinesinin yaptığı gibi pionlar üretmeye başladı. Kısa zamanda Rochester'deki, Liverpool'daki, Pittsburgh'daki, Chicago'daki, Tokyo'daki, Paris'teki ve Dubna'daki (Moskova yakınlarında) sinkrosiklotronlarda pion, nötrinolar ve protonlarla olan güçlü etkileşimlerinde ve zayıf kuvvet de pionun radyoaktif bozulmasında inceleniyordu. Cornell, Cal Tech, Berkeley ve Illinois Üniversitelerindeki diğer makineler pionları üretmek için elektronları kullandılar ama en başarılı makineler proton sinkrosiklotronlarıydı.

İLK DIŞ IŞIN: BAHİSLER AÇILMIŞTIR!

İşte böyle 1950 yazında doğum sancıları çeken bir makineyleydim ve bir Ph.D. elde edip geçimimi sağlayayım diye verilere gereksinimim vardı. Oyunun adı pionlardı. Bir şeylere –karbon, bakır, çekirdekleri olan *herhangi bir şey*– Nevi makinesinden 400 MeV'luk protonlarla vurun ve pionları yaratın. Berkeley, fizikçilere Bristol'de o denli başarıyla kullanılmış olan çok duyarlı emulsiyonları nasıl pozlandırıp banyo edeceklerini gösteren Lattes'i işe almıştı. Bir emulsiyonlar destesini ışın boşluk tankına yerleştirdiler ve protonların destenin yanındaki bir hedefe vurmasını sağladılar. Emulsiyonları bir hava kilidinden geçirdiler, banyo ettiler (bir haftalık çaba) sonra onları mikroskop çalışmasına aldılar (aylar!). Tüm bu çabalar Berkeley ekibine birkaç düzine pion olayından başka bir şey vermedi. Daha kolay bir yolu olmalıydı. Sorun parçacık tarayıcılarının pionları kaydetmek için makinenin içine, güçlü hızlandırıcı mıknatıs bölgesine yerleştirilmesi zorunluluğuydu ve pratik olan tek aygıt emulsiyon destesiydi. Aslında Bernardini, Nevis makinesinde Berkeley'deki adamların yaptığına benzer bir emulsiyon deneyi planlanıyordu. Ph.D. projem için yaptığım büyük, şık bulut odası çok daha iyi bir tarayıcıydı ama bir hızlandırıcının içindeki bir mıknatısın kutupları arasına asla sığmazdı. Hızlandırıcının içindeki şiddetli radyasyonda bir parçacık tarayıcısı olarak dayanamazdı. Siklotron mıknatısıyla deney alanı arasında başıboş radyasyonu güvence altına almak için üç metre kalınlığında beton bir duvar vardı.

Doktorasını yeni vermiş biri, John Tinlot, Bruno Rossi'nin MIT'deki ünlü kozmik ışın grubundan Columbia'ya gelmişti. Tinlot

özünden fizikçiydi. Yirmisine gelmeden konser kalitesinde bir kemancıydı ama zorlu bir kararla fizik öğrenmek için kemanı bıraktı. Birlikte çalıştığım ilk genç Ph.D'ydi ve ondan pek çok şey öğrendim. Yalnız fizik değil. John'un kanında at yarışçılığı ve kumarbazlık vardı: bahisler, blackjack, barbut, rulet, poker –en çok da poker. Deneyler sırasında veriler toplanırken oynardık. Tatilde, trenlerde ve uçaklarda oynardık. Fizik öğrenmenin oldukça pahalı bir yoluydu, benim kayıpların diğer oyuncular –John'un topladığı öğrenciler, teknisyenler ve güvenlik görevlileri– tarafından dengelenirdi. Acımasızdı.

John'la ben henüz gerçekten çalışmayan hızlandırıcının tabanına oturmuş bira içip dünyayı tartışıyorduk. Ansızın "Hedeften uçuşan pionlar aslında ne oluyor" diye sordu. Dikkatli olmayı, öğrenmiştim. John atlarda olduğu kadar fizikte de kumarcıydı. "Şey eğer hedef makinenin içindeyse [ve de öyle olmak zorundaydı, hızlandırılmış protonları siklotronun dışında nasıl yakalayacağımızı bilmiyorduk.] güçlü mıknatıs onları her yöne saçıyordur" diye dikkatlice yanıtladım.

JOHN: *Bazıları* makineden çıkıp kalkan duvara çarpıyordur.

BEN: Tabii ama her yerde.

JOHN: Neden bulmuyoruz?

BEN: Nasıl?

JOHN: Manyetik izleme yaparız.

BEN: Bu işe yarar [Cuma akşamı saat 8'di.]

JOHN: Ölçülmüş manyetik alanlar tablomuz var mı?

BEN: Sanırım eve gitmem gerekecek.

JOHN: Şu kocaman kahverengi ambalaj kâğıtlarını kullanacağız ve pionların izlerini tek tek bir çizelgede çizeceğiz.

BEN: Pazartesi mi?

JOHN: Sen sürgülü cetvel işini yaparsın [bu 1950'de oluyordu] ben de yolları çizerim.

Eh Cumartesi sabahın 4'ünde siklotronların kullanılma biçimini değiştirecek köklü bir keşif yapmıştık. Hızlandırıcının içindeki bir

hedeften akla yakın yönlerde ve enerjilerde –40, 60, 80 ve 100 MeV'u kullandık– çıkan seksen ya da daha fazla kurgusal parçacığı izlemiştik. Şaşkınlık içinde parçacıkların "her yere" gitmediğini gördük. Bunun yerine siklotron mıknatısının kenarındaki ve ötesindeki manyetik alan yüzünden makinenin etrafında sıkışık bir ışın halinde dönüyorlardı. "Saçak alan odaklanması" diye bilinir hale gelen şeyi keşfetmiştik. Büyük kâğıt tabakalarını döndürerek –yani özel bir hedef yerleşimi belirleyerek– benim yepyeni bulut odama yöneltmek üzere 60 MeV çevresinde verimli bir enerji bandında pion ışını elde edebildik. Tek engel makineyle benim prenses odanın arasında kalan beton duvardı.

Kimse keşfimizi sezinlemedi. Pazartesi sabahı yöneticinin bürosunun önünde üstüne atlamak için kamp kurmuştuk. Üç basit isteğimiz vardı: (1) makine içinde yeni bir hedef yerleşimi, (2) siklotronun ışın boşluk odasıyla dış dünya arasında iki buçuk santimlik paslanmaz çelik levhanın ortaya çıkan pionlar üzerindeki etkisini en aza indirmek üzere daha ince bir pencere ve (3) üç metre kalınlığında beton duvarda tahminimize göre yaklaşık on santime yirmibeş santimlik yeni bir delik. Tüm bunlar düşük rütbeli bir öğrenciyle bir doktoralıdan!

Yöneticimiz Profesör Eugene Booth Georgia'lı bir beyefendi ve bir Rodos üslupçusu olduğu için nadiren "Lanet olsun!" derdi. Bizim için bir istisna yaptı. Tartıştık, açıklamalar yaptık, yaltaklandık. Zafer tabloları çizdik. Ünlü olacaktı! Bir dış pion ışınını hayal edin, dünyada ilk kez!

Booth bizi sepetledi ama öğle yemeğinden sonra tekrar çağırdı. (Strikninin arseniğe üstünlüğünü tartışıyorduk.) Bernardini içeri daldı ve Booth fikrimizi bu tanınmış misafir profesörle tartıştı. Benim tahminim Booth'un Georgia ağzıyla anlattığı ayrıntıların Gilberto'ya çok fazla geldiğiydi çünkü bir kez bana "Bus, Buths, şo Amerikan adlarını kim söyleyebilir ki?" diye içini dökmüştü. Ancak Bernardini bizi tipik Latin abartısıyla destekledi ve biz işe koyulduk.

Bir ay sonra –tıpkı ambalaj kâğıtlarındaki taslaklar gibi– hepsi çalıştı. Birkaç gün içinde benim bulut odam dünyadaki tüm öteki laboratuarların toplamından daha fazla pion saptamıştı. Her fotografta (her dakika bir fotograf çekiyorduk) altı ila on güzel pion izi vardı.

Her üç ya da dört fotograftan birinde bir pion izinde onun bir muon ve "başka bir şey"e ayrışırken çizdiği bir dolaşıklık vardı. Ben pion parçalanmasını tezimde kullandım. Altı ay içinde dört ışın inşa ettik ve Nevis, pionların özellikleri için bir veri fabrikası olarak tam üretime geçti. İlk fırsatta John'la ben Saratoga'daki yarışlara gittik ve orada John yemek ve dönüş benzin paramızı yatırdığı sekizinci yarışta 1'e 28'lik bir voli vurdu. Bu herifi gerçekten seviyordum.

Siklotron işindeki herkesin atladığı saçak alan odaklamasından kuşkulanmak için John Tinlot'un olağanüstü bir sezgisi olsa gerekti. Rochester Üniversitesinde profesör olarak mükemmel bir kariyer sürdürdü ama kırk üç yaşında kanserden öldü.

KONUDAN BİR SOSYAL BİLİM SAPMASI: BÜYÜK BİLİMİN KÖKENİ

II.Dünya Savaşı, II. D.S. öncesi bilimsel araştırmayla II.D.S. sonrası bilimsel araştırma arasında hayati bir sınır oluşturdu. (Ne biçim çelişkili bir cümle bu?) Ama aynı zamanda a-tom araştırmasında yeni bir evreyi de belirledi. Bazılarını sayalım. Savaş teknolojide ileri bir adım attırdı, bunun çoğu Avrupa'nın yaşadığı gibi yakınlardaki patlamaların gümbürtüsüyle rahatsız olmayan Birleşik Devletlerde odaklandı. Radar, elektronik, (doğru adını kullanmak gerekirse) çekirdek bombası gibi savaş gelişmelerinin tümü bilimle mühendislik arasındaki işbirliğinin –bütçe kaygılarıyla kısıtlanmadığı sürece– neler yapabildiğinin örneklerini oluşturdu.

Savaş sırasında A.B.D.'nin bilim politikasını yönlendiren Vannevar Bush Başkan Franklin D.Roosevelt'e sunduğu incelikli bir raporda bilimle hükümet arasındaki yeni ilişkiyi dile getirdi. Ondan sonra A.B.D. hükümeti bilimlerde temel araştırmaları desteklemeye girişti. Temel ve uygulamalı araştırma desteği o denli hızlı tırmandı ki 1930'ların başlarında E.O.Lawrence'ın elde etmek için o kadar çok uğraştığı 1000$'lık fona gülebiliyoruz. Enflasyon da eklense bu miktar 1990'da temel araştırmaya yapılan federal destek yanında sönük kalır –12 milyar dolar! II.Dünya Savaşı aynı zamanda Avrupa'dan bir bilimci göçmen selinin A.B.D'deki araştırma patlamasında hayati bir rol aldığını da gördü.

1950'lerin başında yirmi kadar üniversite çekirdek fiziğinde en uçta araştırmalar yapma yeteneğinde hızlandırıcılara sahipti. Çekirdeği daha iyi anladıkça cephe daha büyük –daha pahalı– makinelerin gerektiği çekirdek altı evrene kaydı. Devir birleşme devri haline geldi –bilimsel evlenmeler ve kazanımlar devri. Dokuz üniversite Long Island, Brookhaven'da bir hızlandırıcı laboratuarı inşa etmek ve yönetmek üzere birleştiler. 1952'de 3 GeV'luk ve 1960'da 30 GeV'luk bir makine gerçekleştirdiler. Princeton Üniversitesiyle Pennsylvania Üniversitesi Princeton yakınlarında bir proton makinesi inşa etmek için bir araya geldiler. MIT ile Harvard 6 GeV'luk bir elektron makinesini, Cambridge Elektron Hızlandırıcısını inşa ettiler.

Yıllar içinde konsorsiyum büyüdükçe ön cephe makinelerinin sayısı azaldı. "İçeride ne var?" sorusuna yanıt vermek ve gerçek atomları –bizim kütüphane benzetmemizdeki sıfır ve bir'i– araştırmak için daha da yüksek enerjiye gereksiniyorduk. Yeni makineler önerildiğinde fonları serbest bırakmak için eskiler devre dışı bırakılıyordu ve Büyük Bilim (cahil fikir sahiplerinin sıklıkla küfür gibi kullandığı bir terim[1]) daha da büyüyordu. 1950'lerde insan yılda iki ilâ dört bilimciyle yılda iki ya da üç deney yapıyordu. Daha sonraki onyıllarda işbirlikleri giderek büyüdü; deneyler kısmen çok daha karmaşık tarayıcılar inşa etme gereksinimi yüzünden daha uzun sürmeye başladı. 1990'larda tek başına Fermilab'daki Çarpıştırıcı Tarama Tesisi on iki üniversite, iki ulusal laboratuar ile Japonya ve İtalya'daki kurumlardan gelen 360 bilimci ve öğrenciyi kapsamıştır. Çalışma çizelgesi bir yıllık ya da daha uzun süreli sürekli –Yılbaşında, Dört Temmuzda bir de herhangi bir şey bozulduğunda verilen aralar dışında– veri toplamaya yayılmıştır.

Bir masaüstü biliminden kilometreler çapında hızlandırıcılara dayanan bilime evrimi denetleyen A.B.D. hükümetiydi. II.Dünya Savaşı bomba programı Atom Enerjisi Komisyonunu (AEK), nükleer silah araştırma, üretim ve stoklamasını gözleyen bir sivil örgütü ortaya çıkardı. Ona ayrıca bir ulusal emanet olarak çekirdek ve daha sonra parçacık fiziği haline gelen temel araştırma için fon oluşturma ve

---

[George Orwell'in 1984 adlı romanındaki diktatör Büyük Birader ima ediliyor olsa gerek. -çev.]

gözleme görevi de verildi.

Democritus'un a-tom olgusu, denetim sağlamak için Atom Enerjisi Ortak (Temsilciler Meclisi ve Senato) Komisyonu oluşturan Kongre salonlarına kadar ulaştı. Komitenin halen, hükümet yeşili kitapçıklar halinde yayınlanan oturumları bilim tarihçileri için bir bilgi Fort Knox'udur. Burada insan E.O.Lawrence, Robert Wilson, I.I.Rabi, J. Robert Oppenheimer, Hans Bethe, Enrico Fermi, Murray Gell-Mann'ın ve nihai parçacık araştırmasının nasıl gittiğine –ve yeni bir makinenin neden gerekli olduğuna– ilişkin sorulara sakince yanıt veren birçoklarının ifadelerini okur. Bu bölümün başında Fermilab'ın gözalıcı kurucu yöneticisi Robert Wilson'la, Senatör John Pastore arasındaki alış veriş bu yeşil kitapların birinden alınmıştır.

Alfabe çorbasını tamamlayalım; AEK EAGA'ya (Enerji Araştırma Geliştirme Ajansı) dönüşmüş, ondan da atom ezicilerin çalıştığı ulusal laboratuarları denetleyen ED (A.B.D. Enerji Departmanı) doğmuştur. Şu anda A.B.D.de böyle beş yüksek enerji laboratuarı vardır: SLAC, Brookhaven, Cornell, Fermilab ve şu anda inşa halindeki Süperiletken Süper Çarpıştırıcı laboratuarı.

Hızlandırıcı laboratuarları genellikle hükümetindir ama SLAC'de Stanford'un olduğu gibi bir üniversite ya da Fermilab'da olduğu gibi bir üniversiteler ve kurumlar konsorsiyumu tarafından yönetilir. Yönetici kuruluş bir yönetici atar ve sonra dua eder. Yönetici laboratuarı yönetir, tüm önemli kararları verir ve sıklıkla çok uzun süre bu işte kalır. Fermilab yöneticisi olarak 1979'dan 1989'a kadar benim temel görevim Robert R. Wilson'ın hayalini gerçekleştirmekti: Tevatron'un, ilk süperiletken hızlandırıcının, inşası. Ayrıca bir proton-antiproton çarpıştırıcısı ve 2 TeV dolaylarında oluşacak kafa kafaya çarpışmaları gözlemlemek için çok karmaşık tarayıcılar yapmamız gerekiyordu.

Fermilab'ın yöneticisiyken araştırma sürecinden hayli endişe duydum. Öğrenciler ve genç doktoracılar Rutherford'un öğrencilerinin, kuantum kuramının kurucularının, Nevis siklotronunun döşemesinde problemler üzerine ter döken benim küçük meslektaş grubumun yaşadığı keyfi, öğrenmeyi, yaratma deneyimini nasıl yaşayacaktı? Ama laboratuarda olup bitenlere ne kadar çok bakarsam kendimi o kadar iyi hissettim. ÇTT'yi ziyaret ettiğim geceler (yaşlı Democritus

orada olmadığı zaman) öğrencileri deneylerini sürdürürken son derece heyecanlı buldum. Dev bir ekranda bilgisayar tarafından vardiyadaki bir düzine ya da daha fazla fizikçi için anlaşılır kılınmak üzere yeniden inşa edilmiş olaylar parıldıyordu. Bazan bir olay "yeni fiziği" öylesine ima ederdi ki işitilebilir bir nefes kesilmesi duyardınız.

Her büyük araştırma işbirliği beş ila on kişilik bir çok gruptan oluşur: bir ya da iki profesör, birkaç doktoralı ve birkaç öğrenci. Profesör kalabalığın arasında kaybolmasınlar diye civcivlerine göz kulak olur. Başlangıçta aygıtı tasarlama, inşa etme ve sınama işini hallederler. Sonra veri analizine sıra gelir. Bu çarpıştırıcı deneylerinde öyle çok veri vardır ki büyük kısmının bir sonraki probleme saldırmadan önce bir grubun bir analizi bitirmesini beklemesi gereklidir. Her bir genç bilimci olasılıkla profesörünün önerisiyle grup liderleri konseyinde bir uzlaşma elde etmiş özgül bir problem seçer. Ve problemler boldur. Örneğin proton antiproton çarpışmalarında W^+ ve W^- parçacıkları ürediğinde sürecin kesin biçimi ne olur? W'lar ne kadar enerji alırlar? Hangi açıyla yayılırlar? Ve benzeri. Bu ilginç bir ayrıntı ya da güçlü ve zayıf kuvvetlerin hayati düzenekleri için bir ipucu olabilir. 1990'ların en önemli görevi üst quarkı bulmak ve özelliklerini ölçmektir. 1992'nin ortalarına kadar bu araştırma, Fermilab'ın ÇTT'sinde dört alt grubun işbirliği içinde dört bağımsız analiz yapmalarıyla gerçekleştirildi.

Burada genç fizikçiler kendi başlarınadır, karmaşık bilgisayar programları ve yetersiz aygıtların kaçınılmaz saptırmalarıyla boğuşurlar. Problemleri doğanın nasıl işlediğine ilişkin geçerli bir sonuç çıkarmak, mikrodünyanın yapbozu için bir parça daha geliştirmektir. Kocaman bir destek grubunun avantajına sahiptirler: yazılım uzmanları, kuramsal analiz uzmanları, deneme kabilinden sonuçlar için destekleyici kanıt arama sanatı uzmanları. Çarpışmalardan fırlatılan W'ların yolunda ilginç bir çizik varsa o aygıtın bir kusuru mudur (mecazi olarak mikroskopun merceğinde bir çizik)? Yazılımda bir hatâ mıdır? Yoksa gerçek mi? Ve eğer gerçekse meslektaş Harry, Z parçacıkları analizinde benzer bir sonuç bulmaz mıydı? –ya da belki de Marjorie geri tepme fırlatmaları analizinde?

Büyük Bilim, yalnızca parçacık fizikçilerinin bölgesi değildir. Astronomlar kozmos hakkında geçerli sonuçlar elde etmek için

gözlemlerini bir havuzda toplarken dev teleskopları paylaşırlar. Oşinograflar sonarlar, dalma çanları ve özel kameralarla incelikli olarak donatılmış araştırma gemilerini paylaşırlar. Genom araştırması mikrobiyologların Büyük Bilim programıdır. Kimyacılar bile kütle Spektrometrelerine, pahalı boya laserlerine ve kocaman bilgisayarlara gereksinirler. Kaçınılmaz olarak her disiplinde bilimciler gelişme kaydetmek için gerekli pahalı tesisleri paylaşırlar.

Tüm bunları söyledikten sonra genç bilimciler için bir masaüstü deneyinin çevresinde akranları ve bir profesörle kümelenip daha geleneksel biçimlerde çalışabilmelerinin son derece önemli olduğunu vurgulamam gerekir. Orada bir düğmeyi açmak, ışıkları yakmak ve eve gidip düşünmek, uyuma olanağı bulmak gibi muhteşem bir fırsat yakalayacaklardır. "Küçük bilim" de bilginin ilerlemesine çok büyük katkılarda bulunan keşif, çeşitlilik ve yenilik kaynağı oluşturur. Bilim politikamızda uygun dengeyi yakalamalı ve her iki olasılığın da var olmasına şükretmeliyiz. Yüksek enerji uygulayıcılarına bakınca insan lahavle çekebilir ve yapayalnız bilimcinin halk tipi laboratuarında renkli sıvıları birbirine karıştırarak oturduğu güzel eski günleri arzu edebilir. Çekici bir görüntü ama bizi hiçbir zaman Tanrı Parçacığına götürmez.

MAKİNELERE DÖNÜŞ: ÜÇ TEKNİK BULUŞ

Temelde sınırsız (yani bütçeler hariç sınırsız) enerjilere dek hızlandırmaya izin veren çoğu teknik buluş arasında üç tanesine yakından bakacağız.

Birincisi bir Sovyet dehası V.I.Veksler ve bağımsız ve eşzamanlı olarak bir Berkeley fizikçisi Edwin McMillan tarafından keşfedilen *faz kararlılığı* kavramıydı. Bizim her yerde hazır ve nazır Norveçli mühendisimiz Rolf Wideröe, bağımsız olarak fikrin patentini aldı. Faz kararlılığı bir mecazla anlatılacak kadar önemlidir. İki tane yarı küresel çok küçük düz dipleri olan eş tas düşünün. Tasın birini ters çevirin ve küçük düz dibine bir top yerleştirin. İkinci bir topu ters çevrilmemiş tasın dibine yerleştirin. Her iki top da hareketsizdir. Her ikisi de kararlı mıdır? Hayır. Test her topa bir dürtme yapmaktır. 1 No.lu top tasın dışına yuvarlanır, durumunu kökten değiştirir. Bu

kararsızdır. 2.No.lu top yanda biraz yükselir dibe geri döner öteki yana taşar ve denge konumu çevresinde salınır. Bu kararlıdır.

Hızlandırıcılardaki parçacıkların matematiğinin bu iki konumla çok ortak yanı vardır. Eğer küçük bir bozukluk –örneğin bir parçacığın bir kalıntı gaz atomuyla ya da arkadaş parçacıkla zarif çarpışması– devinimde büyük değişikliklere neden olursa, hiçbir temel kararlılık yoktur ve er ya da geç parçacık kaybolur. Öte yandan eğer bu etkileşimler ideal yörünge çevresinde küçük salınımsal dolaşmalara neden olursa elimizde kararlılık vardır.

Hızlandırıcıların tasarımındaki ilerleme (şimdi ileri derecede bilgisayarlaştırılmış) analitik çalışma ile çoğu II.Dünya Savaşı sırasında gelişmiş radar teknolojisi üzerine inşa edilmiş dahice aygıtların mükemmel bir karışımıdır. Faz kararlılığı kavramı, radyo frekansı (rf) elektriksel kuvveti uygulayarak, bir çok makineyi tamamlamıştı. Bir hızlandırıcıda faz kararlılığı, bir parçacık bir aralığa parçacığın rotasında hafif bir değişiklik yaratmak üzere hafifçe yanlış zamanda ulaşsın diye hızlandırıcı radyo frekansını ayarladığımızda oluşur; bir dahaki kez parçacık aralığa çarpar, hatâ düzeltilir. Daha önce sinkrotronla ilgili olarak verilmiş bir örnek. Gerçekte olup biten hatânın aşırı düzeltilmesidir ve parçacığın radyo frekansına göreceli fazı, iyi hızlandırmanın sağlanacağı ideal bir faz etrafında salınır, tasın dibindeki top gibi.

İkinci buluş Brookhaven Laboratuarı 3 GeV'luk Cosmotron hızlandırıcısını tamamladığında ortaya çıktı. Hızlandırıcı grubu 10 GeV'luk bir makinenin tasarlandığı Cenevre'deki CERN laboratuarından meslektaşlarından bir ziyaret bekliyorlardı. Buluşmaya hazırlanan üç fizikçi önemli bir keşif yaptılar. Stanley Livingston (Lawrence'ın bir öğrencisi), Ernest Courant ve Hartland Snyder yeni bir kedi yavrusu kuşağıydı: hızlandırıcı kuramcıları. *Güçlü odaklama* diye bilinen bir ilkeyi ortaya koydular. Bu ikinci buluşu betimlemeden önce parçacık hızlandırıcılarının karmaşık ve bilimsel bir disiplin haline gelmiş olduğu noktasını vurgulamam gerekir. Anahtar fikirleri gözden geçirerek sorunları çözer. Bir aralığımız ya da bir radyo frekansı çukurumuz vardır ve bu parçacığa her geçişte enerjisinin artışını verir. Onu tekrar tekrar kullanmak için ıknatıslar kullanarak parçacıkları yaklaşık bir çemberin içine yönlendiririz. Bir hızlandı-

rıcıda parçacıkların ulaşabileceği maksimum enerjiyi iki etmen belirler: (1) mıknatısın sağladığı en büyük yarıçap ve (2) bu yarıçapta olası en güçlü manyetik alan. Daha yüksek enerji makineleri inşa etmek için yarıçapı büyütürüz, maksimum manyetik alanı daha güçlü yaparız ya da her ikisini birden.

Bir kez bu parametreler oluşturulduğu zaman parçacıklara çok fazla enerji vermek onları mıknatısın dışına yöneltir. 1952'deki siklotronlar parçacıkları 1 000 MeV'tan daha fazla hızlandıramıyordu. Sinkrotronlar parçacıkları sabit bir yarıçapa yöneltmek üzere manyetik alanlar sağlıyordu. Sinkrotron mıknatısının hızlandırma çevriminin başlangıcında (şırınga edilen parçacığın düşük enerjisine uysun diye) çok düşük güçle başladığını ve giderek maksimum değerine doğru arttığını anımsayın. Makine simit biçimindedir ve bu dönemde yapılan değişik makinelerde simidin yarıçapı 300 santimden 15 metreye kadar değişiyordu. Ulaşılabilen enerji 10 Gev'a kadardı.

Brookhaven'daki zeki kuramcıları meşgul eden problem matematiksel mükemmelliği olan manyetik alanlarda değişiklik göstermeden devinen ideal bir parçacığa yakın bir biçimde parçacıkların nasıl sıkıca demetlenmiş ve kararlı tutulabileceğiydi. Geçişler bu denli uzun olduğu için son derece küçük bozukluklar ya da manyetik mükemmellikten sapmalar parçacığı ideal yörüngeden uzağa yöneltebiliyordu. Işınımız anında kayboluyordu. Bu nedenle kararlı hızlandırma koşullarını sağlamamız gerekiyordu. Matematik yeterince karmaşıktı, gırgır birinin dediği gibi "bir hahamın kaşlarını kıvırmak" kadar zor.

Güçlü odaklama, parçacıkları yönelten manyetik alanları parçacıkları ideal yörüngeye daha yakın tutmak üzere biçimlendirmeyi içerir. Anahtar fikir, kutup parçalarını, parçacık üzerindeki manyetik kuvvetler ideal yörünge etrafında minik genliklerde hızlı salınımlar yapacak biçimde uygun eğrilere yerleştirmektir. Bu kararlılıktır. Güçlü odaklamadan önce simit biçimli boşluk odalarının 50 ila 100 santim genişlikte olması gerekiyordu; bu da aynı büyüklükte mıknatıs kutuplarını gerektiriyordu. Brookhaven buluşu mıknatısın boşluk odasının büyüklüğünü 7.5 ila 12.5 santime düşürme olanağı verdi. Sonuç? MeV başına hızlandırılmış enerji maliyetinde müthiş bir tasarruf.

Güçlü odaklama ekonomiyi değiştirdi ve hemen neredeyse 60 metre yarıçapında bir sinkrotron inşa etmeyi düşünülebilir kıldı. Daha sonra diğer parametre, manyetik alanın gücü üzerinde konuşacağız. Parçacıkları yönlendirmek için demir kullanıldığı sürece bu 2 tesla'yla, demirin morarmadan destekleyebileceği en güçlü manyetik alanla sınırlanmıştı. Güçlü odaklama için buluş sözcüğü uygun bir tanımlama oluyor. Onun ilk uygulanışı Robert Wilson tarafından Cornell'de inşa edilen 1GeV'luk bir makine olan Quick'ti. Brookhaven'ın AEK'na güçlü odaklanmış bir proton makinesi teklifinin iki sayfalık bir mektup olduğu söylenir. (Burada bürokrasinin artışından ağlaşabiliriz ama hiçbir işe yaramaz.) Bu onaylandı ve sonucu Brookhaven'da 1960'da tamamlanan AGS diye bilinen 30 GeV'luk bir makine oldu. CERN 10 GeV'luk zayıf odaklı bir makine planlarını iptal etti ve Brookhaven'ın güçlü odaklama fikrini aynı fiata 25 GeV'luk güçlü odaklı bir hızlandırıcı inşa etmek için kullandı. 1959'da onu çalıştırdılar.

1960'ların sonlarına doğru işkence edilmiş kutup parçaları kullanma fikri ayrışmış bir işlev kavramına yol açmıştı. Biri "mükemmel" bir kılavuz mıknatıs kurar ve odaklama işlevini ışın tüpünün çevresine simetrik olarak yerleştirilmiş dört kutuplu bir mıknatısa ayırır.

Matematiği kullanarak fizikçiler karmaşık manyetik alanların parçacıkları nasıl yöneltip odakladığını öğrendiler; daha çok sayıda kuzey ve güney kutupları olan mıknatıslar –altı kutuplu, sekiz kutuplu, on kutuplu– parçacık yörüngeleri üzerinde kesin kontrol uygulamak üzere tasarlanmış karmaşık hızlandırıcı sistemlerin parçaları haline geldi. 1960'lardan bu yana bilgisayarlar makinelerdeki akımları, voltajları, basınçları ve ısıları çalıştırma ve kontrol etmede giderek daha önemli bir hal almışlardır. Güçlü odaklanmış mıknatıslar ve bilgisayar otomasyonu 1960'ların ve 1970'lerin dikkate değer makinelerinin inşasına olanak vermiştir.

İlk GeV'luk (milyar elektron volt) makine 1952'de Brookhaven'da çalışmaya başlayan ve alçakgönüllü Cosmotron adı verilen makineydi. Cornell 1.2 GeV'luk bir makineyle onu izledi. İşte o dönemin öteki yıldızları...

HIZLANDIRICI	ENERJİ	YER	YIL
Bevatron	6 GeV	Berkeley	1954
AGS	30 GeV	Brookhaven	1960
ZGS	12.5 GeV	Argonne (Chicago)	1964
"200"	200 GeV	Fermilab	1972 (1974'de 400 GeV'a yükseltildi)
Tevatron	900 GeV	Fermilab	1983

Dünyanın başka yerlerinde Saturne (Fransa, 3 GeV), Nimrod (İngiltere, 10 GeV), Dubna (SSCB, 10 GeV), KEK PS (Japonya, 13 GeV), PS (CERN / Cenevre, 25 GeV), Serpuhkov (SSCB, 70 Gev), SPS (CERN / Cenevre, 400 GeV) vardı.

Üçüncü buluş Cal Tech fizikçisi Matt Sands'e atfedilen bir kavram olan *kaskatlı hızlandırma*'dır. Sands, insan daha yüksek enerjilere giderken her şeyi aynı makine içinde yapmanın verimsiz olduğuna karar verdi. Her biri özel bir enerji aralığına, diyelim 0 dan 1 MeV'a, 1 den 100 MeV'a v.b, ayarlanmış bir farklı hızlandırıcılar dizisi tasarladı. Farklı aşamalar, spor bir arabanın, her biri hızı ortalama koşullarda bir sonraki aşamaya yükseltmeye yarayan vitesleriyle karşılaştırılabilirdi. Enerji yükseldikçe hızlanmış ışın daha dar bir hal alır böylece enlemesine boyutlar daha küçük ve daha ucuz mıknatıslar gerektirirler. Kaskat fikri 1960'lardan beri tüm makinelere egemen olmuştur. En yüksek temsilcileri Tevatron (beş aşama) ve Texas'da yapım halindeki Süper Çarpıştırıcıdır (altı aşama).

DAHA BÜYÜK OLAN DAHA İYİ MİDİR?

Bir önceki teknik görüşler tartışması sırasında yitmiş olabilecek bir nokta bunların siklotronların ve sinkrotronların büyük olmasına katkıda bulunuşudur. Wideröe ve Lawrence, daha eski öncülerin inandığı gibi parçacıkları yüksek enerjilere hızlandırmak için devasa voltajlar üretilmesine gerek olmadığını ortaya koydular. Parçacıklar sadece bir dizi aralıktan geçirilir ya da tek aralığın yeniden kullanıldığı dairesel

bir yörünge düzenlenir. Ancak böyle dairesel yörüngelerde iki parametre vardır: mıknatıs gücü ve dönen parçacıkların yörüngesinin yarıçapı. Hızlandırıcı inşacıları istedikleri enerjiyi elde etmek için bu iki etmeni ayarlarlar. Yarıçap büyük ölçüde parayla sınırlıdır. Mıknatıs gücü teknolojiyle. Eğer manyetik alanı arttıramıyorsak enerjiyi arttırmak için çemberi daha büyük yaparız. Süper Çarpıştırıcıda her ışında 20 TeV üretmek istediğimizi biliyoruz. Ne kadar güçlü bir mıknatıs inşa edebileceğimizi de biliyoruz (ya da bildiğimizi sanıyoruz). Buradan tüpün çevresinin ne uzunlukta olması gerektiğini tahmin edebiliriz: 85 km.

DÖRDÜNCÜ BULUŞ: SÜPERİLETKENLİK

Ta 1991'de Hollanda'lı bir fizikçi belli metallerin son derece düşük ısılara –Kelvin ölçeğinde mutlak sıfırın (-273 santigrat derece) sadece birkaç derece üzerine– dek soğutulduğunda elektriğe tüm dirençlerini yitirdiğini bulmuştu. Bu ısıda bir tel halka bir akımı hiç enerji kullanmaksızın sonsuza dek taşıyacaktı.

Evlerinizde elektrik gücü yardımsever güç şirketinden bakır teller aracılığıyla sağlanır. Teller akımın akışına gösterdikleri sürtünme direnci nedeniyle ısınırlar. Bu ısı harcaması güç kullanır ve faturanıza eklenir. Motorlardaki, üreteçlerdeki ve hızlandırıcılardaki geleneksel elektromıknatıslarda bakır teller manyetik alan üreten akımları taşırlar. Bir motorda manyetik alan akım taşıyan tel demetlerini döndürür. Motorun ısısını duyumsayın. Bir hızlandırıcıda manyetik alan parçacıkları döndürür ve odaklar. Mıknatısın bakır telleri ısınır ve genellikle kalın bakır sargılardaki deliklerden geçen güçlü bir su akımıyla soğutulurlar. Paranın nereye gittiğine ilişkin bir fikir versin diye Fermilab hızlandırıcısının 1975 elektrik faturası 15 milyon dolardı ve bunun yüzde 90 kadarı 400 GeV'luk ana halkadaki mıknatısların çalışmasına harcanıyordu.

1960'ların başlarında teknik bir buluş ortaya çıktı. ekzotik metallerin yeni alaşımları devasa akımları taşır ve büyük manyetik alanlar üretirken kırılgan süperiletkenlik durumunu sürdürebiliyorlardı. Tüm

bunlar sıradan metaller için gerekli olan mutlak sıfırın 1-2 derece üzerindeki çok zor ısılar yerine daha uygarlaşmış 5-10 derece üzerinde oluyordu. Helyum 5 derecede gerçek bir sıvıdır (bu ısıda başka her şey katılaşır) böylece pratik süperiletkenlik koşulları ortaya çıkar. büyük laboratuarların çoğu bakır yerine niobium –titanium ya da niobium3–kalay gibi bu tür alaşımlardan oluşmuş teller kullanmaya ve tellerin çevresini süperiletkenlik ısısını elde etmek için sıvı helyumla sarmaya başladılar.

Parçacık tarayıcıları –örneğin bir baloncuk odasını sarmak– için büyük mıknatıslar inşa edildi ama hızlandırıcılar için değil çünkü onlar parçacıklar enerjilerini arttırdıkça manyetik alanın gücünün büyümesini gerektiriyordu. Mıknatıslardaki değişen akımlar sürtünme etkileri (anafor akımları) oluşturuyordu ve bu da normalde süperiletkenlik durumunu bozuyordu. Fremilab Robert Wilson'un yönetiminde başı çekmek üzere 1960'larda ve 1970'lerde bu probleme pek çok araştırma yöneltildi. Wilson'un ekibi 1973'de süperiletken mıknatısları R&D'de başlattı; kısa süre sonra özgün "200" hızlandırıcısı çalışmaya başladı. Güdülenmelerden biri dönemin petrol krizinin elektrik gücü maliyetinde patlama yapmasıydı. Diğeri Cenevre'de üslenmiş Avrupa konsorsiyumunun CERN'iyle rekabetti.

1970'ler Birleşik Devletler'de araştırma fonları açısından zayıf yıllardı. II.Dünya Savaşından sonra araştırmada dünya liderliği kesin olarak bu ülkedeydi çünkü dünyanın geri kalan kısmı savaşın sarstığı ekonomilerini ve bilimsel alt yapılarını yeniden kurmakla uğraşmaktaydı. 1970'lerin sonlarına doğru denge yeniden kurulmuştu. Avrupalılar 400 GeV'luk bir makineyi, daha iyi fonlara sahip ve araştırmanın kalitesini belirleyen pahalı tarayıcılarla donatılmış Süper Proton Sinkrotronunu (SPS), inşa ediyorlardı. (Bu makine uluslararası işbirliği ve yarışmada yeni bir dönemin başlangıcını belirledi. 1990'larda Avrupa ve Japonya bazı araştırma alanlarında Birleşik Devletler'den ilerideydiler ve çoğu başka alanlarda da pek geride değildiler.)

Wilson'un fikri eğer insan değişken manyetik alanlar problemini çözerse bir süperiletken halkasının belli bir yarıçapta daha yüksek enerjiye çevrilecek çok daha güçlü manyetik alanlar oluştururken devasa elektrik gücü miktarlarını tasarruf edebileceğiydi. Ücretli izinli olduğu bir yılı (sonradan bunu uzatıp sürekli olarak kaldı) Fremilab'da

geçiren bir Cal Tech profesörü Alvin Tollestrup'tan yardım alarak Wilson değişen akımın ve alanların nasıl yerel ısınma oluşturduğunu çok ayrıntılı olarak inceledi. Araştırma diğer laboratuarlarda da sürdü; özellikle de Fermilab grubuna yüzlerce model inşa etmede yardım eden İngiltere'deki Rutherford laboratuarında. Metalurjistler ve madde bilimcilerle çalıştılar ve 1973 ile 1977 arasında problemi çözmeyi başardılar. İnsan model mıknatısları sıfır akımdan 10 saniyede 5000 ampere tırmandırabiliyordu ve süperiletkenlik sebat ediyordu. 1978-79'da mükemmel özellikleri olan 640 santimlik mıknatıslar üreten bir üretim bandı kuruldu ve 1983'de Tevatron Fermilab grubunun bir süperiletken "art ateşleyicisi" olarak çalışmaya başladı Enerji 400 GeV'tan 900 GeV'a çıktı güç harcaması 60 megawattan 20 megawata düştü bunun da çoğu sıvı helyum üretmeye harcanıyordu.

Wilson 1973'de R&D programına başlarken Birleşik Devletler'de yıllık süperiletken üretimi birkaç yüz kiloydu, Femilab'ın 60 000 kiloluk süperiletken metal tüketimi üreticileri harekete geçirdi ve endüstrinin durumunu kökten değiştirdi. Bugün en büyük tüketiciler tıbbi tanı için manyetik rezonans görüntüleme (MRI) aygıtları yapan firmalardır. Fermilab bu yıllık 500 milyon dolarlık endüstriden minik bir onur payı alabilir.

KOVBOY LABORATUAR YÖNETİCİSİ

Fermilab'ın kendisi kadar övgüye hak kazanan adam bizim ilk yöneticimiz, sanatçı / kovboy / makine tasarımcısı Robert Rathbun Wilson'dır. Karizmaya bak! Wilson at sırtında gezdiği ve okulda çok çalışıp bir Berekeley bursu kazandığı Wyoming'de büyüdü. Berkeley'de E.O.Lawrence'ın bir öğrencisiydi.

Daha önce bu Rönesans insanının Fermilab'ı inşa ederkenki mimari becerilerinden söz etmiştim. Wilson 1967'de Fermilab'ın kurucu yöneticisi oldu ve yedi ışın hatlı 200 GeV'luk (nitelikleri böyle belirlenmişti) bir makine inşa etmek için 250 milyon dolarlık bir tahsisat aldı. İnşaat 1968'de başladı; 5 yıl sürecekti ama Wilson makineyi zamanından önce 1972'de tamamladı. 1974'de düzenli olarak on dört ışın hattıyla 400 GeV'ta çalışıyordu ve başlangıçtaki tahsisattan 10 milyon dolar artmıştı –tüm bunlar bir A.B.D. devlet kuruluşunda

görülebilecek en zarif mimariyle birlikte. Geçenlerde eğer Wilson bizim savunma bütçemizi geçen on beş yıl boyunca aynı beceriyle yönetiyor olsaydı Birleşik Devletler'in şimdi düzenli bir bütçe fazlasının tadını çıkarıyor ve tanklarımızın sanat dünyasında konuşuluyor olacağını hesapladım.

Bir öyküye göre Fermilab Wilson'un aklına ilk kez 1960'larda Paris'te bir becayiş profesörüyken düşmüş. Bir gün kendini Grande Chaumière'de bir grup başka sanatçıyla birlikte bir halk çizim seansında güzel, kıvrımlı bir çıplak modeli çizerken bulmuş. Birleşik Devletler'de "200" tartışılmaktayımış ve Wilson postasında okuduklarından hoşlanmamışmış. Diğerleri göğüsler çizerken Wilson ışın tüpleri için çemberler çizmiş ve onları hesaplarla süslemiş. İşte adanımışlık.

Wilson mükemmel değildi. Fermilab'ı inşa ederken kestirmeler yaptı ve hepsi başarılı değildi. Bir geçidi yaptırmanın ona fazladan bir yıla (1971'de bitirmiş olacaktı) ve 10 milyon dolara mal olduğundan acı acı yakınmıştı. Süperiletken çalışması için federal fonun yavaş temposu onu çılgına döndürdü ve 1978'de tiksindirdi ve ayrıldı. Onun ardılı olmam istendiğinde onu görmeye gittim. İşi kabul etmez ve yapmazsam peşimi bırakmamakla tehdit etti. At üzerindeki Wilson tarafından kovalanmak düşüncesi çok fazla geldi. Bu yüzden işi aldım ve üç zarf hazırladım.

BİR PROTONUN YAŞAMINDA BİR GÜN

Bu bölümde açıklanmış olan her şeyi ardışık beş (antimaddeyi yaptığımız iki halkayı da saymak isterseniz yedi) makinesi olan Fermilab'ı betimleyerek gözünüzün önünde canlandırabiliriz. Fermilab her biri tıpkı birey yaşamının türün evrimini yinelemesi (ya da her neyi yineliyorsa onu yinelemesi) gibi enerji ve karmaşıklık açısından bir basamak yukarıda olan beş farklı hızlandırıcının karmaşık bir koreografisidir.

Önce hızlandıracak bir şeye gereksinimimiz vardır. Ace Hırdavatçılığa koşar ve bir basınçlı hidrojen gazı şişesi satın alırız. Hidrojen atomu bir elektron ve bir protonluk basit bir çekirdekten ibarettir. Bu şişenin içinde Fermilab'a bir yıl yetecek kadar proton bulunur.

Maliyet: eğer şişeyi geri götürürseniz yaklaşık yirmi dolar. Kaskattaki ilk makine 1930'ların tasarımı olan Cockcroft-Walton elektrostatik hızlandırıcısından daha aşağı değildir. Fermilab hızlandırıcıları dizisinin en eskisi olmasına karşın çok büyük ve parlak toplarla ve simit biçimi halkalarla süslenmiş, fotografçıların fotografını çekmekten çok hoşlandığı en fütürist görünüme sahiptir. Cockcroft-Walton içinde bir kıvılcım elektronu atomdan ayırır; başlangıçta âtıl halde artı yüklü bir proton bırakır. Makine sonra protonları hızlandırır bir doğrusal hızlandırıcı ya da doğhız[1] olan ikinci makinenin girişine yöneltilmiş 750 KeV'luk bir ışın yaratır. Doğhız protonları aşağı onları 200 MeV'a çıkaracak 152 metre uzunluğunda bir radyo frekansı çukurları (aralık) dizisine gönderir.

Bu saygın enerjide manyetik döndürme ve odaklama yoluyla "hızlandırıcı"ya, protonları çevrede döndüren ve enerjilerini 8 GeV'a çıkaran bir sinkrotrona aktarılırlar. Düşünün bir: bu noktada ilk GeV hızlandırıcı olan Berkeley Bevatron'undan daha yüksek enerjiler üretmiş bulunuyoruz ve daha iki halkamız var. Bu proton yükü sonra ana halkaya, neredeyse yedi kilometre çevresi olan ve 1974-1982 arasında 400 GeV'ta, tasarlandığı resmi enerjinin iki katında çalışan "200" makinesine enjekte edilir. Ana halka Fermilab kompleksinin dolap beygiridir.

1983'de Tevatron devreye girdiğinde ana halkanın işi biraz daha kolaylaştı. Şimdi o protonları yalnızca 150 GeV'a yükseltir ve sonra onları ana halkayla aynı boyutlarda ve onun birkaç metre altında bulunan süperiletken Tevatron halkasına aktarır. Tevatron'un geleneksel uygulamasında süperiletken mıknatıslar 150 GeV'luk parçacıkları her dönüşte 700 KeV'tan saniyede 50 000 dönüş yaptırarak yaklaşık 25 saniyede 900 GeV'a ulaşana dek taşırlar. Bu sırada 5 000 amperlik akımla güçlendirilmiş mıknatıslar alan güçlerini eski demir mıknatısların sağlayabildiğinin yaklaşık iki katı olan 4.1 teslaya yükseltmiştir. Ve 5 000 amperi korumak için gerekli enerji yaklaşık sıfırdır! Süperiletken alaşımları teknolojisi durmadan gelişmektedir. 1990'da 1980 Tevatron teknolojisi o denli gelişmişti ki Süper Çarpıştırıcı 6.5 teslalık

---

[Linear accelerator sözcüklerinden türetilmiş linac karşılığı kullanıldı. – çev.]

alanlar kullanacak ve CERN teknolojiyi niobium alaşımları için sınır olabilecek bir noktaya –10 teslaya– doğru zorlamak için çok sıkı çalışmaktadır. 1987'de yalnızca sıvı azot soğutmasına gerek duyan seramik madde bazlı yeni bir tür süperiletken keşfedildi. Bir maliyet azalmasının yakın olduğuna ilişkin umutlar doğdu ama gerekli güçlü manyetik alanlar henüz ortada yok ve hiç kimse bu yeni malzemelerin niobium titaniumun yerini alıp alamayacağını ve ne zaman alacağını kestiremiyor.

Tevatron'da 4.1 sınırdır ve şimdi protonlar elektromanyetik kuvvetler tarafından onları makineden on dört kadar ışına bölündükleri bir tünele getiren bir yörüngeye fırlatılırlar. Burada deney ekipleri deneyleri için hedefler ve tarayıcılar sağlamışlardır. Bin kadar fizikçi sabit hedef programında çalışır. Makine dönemler halinde çalışır. Tüm hızlandırmayı yapmak yaklaşık 30 saniye sürer. Işın deneycileri deneyleri için çok yüksek bir oranda parçacıkla boğmamak için bir 20 saniye daha dökülür. Bu dönem her dakika yinelenir.

Dış ışın çok sıkı biçimde odaklanmıştır. Ben ve meslektaşlarım bir proton ışınının elde edildiği, odaklandığı ve yaklaşık 2500 metre döndürülüp çeyrek milimetre kalınlığında, bir jilet kalınlığında bir hedefe gönderildiği "Proton Merkezi"nde bir deney düzenleriz. Protonlar ince kenarla çarpışır. Haftalar boyunca her günün her dakikasında bir proton püskürtüsü onun genişliğinin küçük bir kesrinden fazla sapmadan bu hedefe çarpar.

Tevatron'u kullanmanın bir başka tarzı, çarpıştırıcı tarzı, tamamen farklıdır ve onu ayrıntılı olarak tartışacağız. Bu tarzda enjekte edilmiş protonlar Tevatron'un kıyısında, zamanı gelince p-çizgi kaynağından gelen ve halkaya zıt yönde gönderilen antiprotonları bekleyerek 150 GeV'ta dolanırlar. Her iki ışın da Tevatron'un içinde olduğu zaman mıknatısları tırmandırmaya ve her iki ışını hızlandırmaya başlarız. (Bunun nasıl çalıştığına ilişkin daha fazla bilgi az sonra.)

Bu düzenin her evresinde bilgisayarlar mıknatısları ve radyo frekansı sistemlerini kontrol eder, protonları sıkıca demetlenmiş ve kontrol altında tutarlar. Algılayıcılar akımlar, voltajlar, basınçlar, ısılar, protonların yerleri ve en son Dow Jones endeksi hakkında bilgiler verirler. Bir arıza ışını boşluk tüpünün dışına ve tüpü saran

mıknatıs yapısının içine yollayabilir çok ince ve çok pahalı bir delik açılmasına yol açabilir. Bu asla olmamıştır – hiç değilse şimdilik.

KARARLAR, KARARLAR: PROTONLARA KARŞI ELEKTRONLAR

Burada epeydir proton makinelerinden söz ettik ama protonlar gidilecek tek yol değildir. Protonların güzel yanı hızlandırılmalarının oldukça ucuz olmasıdır. Onları binlerce milyar elektron volta hızlandırabiliriz. Süper Çarpıştırıcı protonları 20 trilyon elektron volta hızlandıracaktır. Aslında yapabileceğimizin hiçbir kuramsal sınırı yoktur. Öte yandan protonlar öteki parçacıklarla –quarklar ve gluonlar– doludur. Bu çarpışmaları pis ve karmaşık hale getirir. Bazı fizikçilerin noktamsı a-tomumsu elektronları hızlandırmayı yeğlemesinin nedeni budur. Nokta oldukları için onların çarpışmaları protonlarınkinden daha temizdir. Olumsuz yanı kütlelerinin düşük olması bu yüzden de hızlandırılmalarının zor ve pahalı olmasıdır. Düşük kütleleri bir çember çevresinde dönerken büyük miktarlarda elektromanyetik radyasyona neden olur. Radyasyon yitimini önlemek için çok daha fazla güç uygulanmalıdır. Hızlandırma açısından bu radyasyon bir kayıp olduğu halde bazı araştırmacılar için bir yan ürün nimetidir çünkü çok şiddetlidir ve dalga boyu çok kısadır. Çoğu dairesel elektron hızlandırıcıları aslında bu sinkrotron radyasyonunu üretmeye ayrılmışlardır. Müşterileri arasında büyük moleküllerin yapısını incelemek için şiddetli foton ışınlarını kullanan biologlar, x ışını litografisi yapan elektronik çip yapımcıları, malzemelerin yapısını inceleyen sıkıştırılmış madde bilimcileri ve başka uygulamacı tipler bulunur.

Bu enerji yitiminin üstesinden gelmenin bir yolu doğrusal bir hızlandırıcı kullanmaktır; Stanford'da 1960'larda inşa edilmiş 3 kilometre uzunluğundaki doğhız gibi. Stanford makinesi başlangıçta monster [canavar – çev.] sözcüğünden "M" diye adlandırılırdı ve zamanına göre sıradışı bir makineydi. Stanford kampüsünden, San Andreas Fault'a 400 metre uzaklıktan başlar ve San Fransisco körfezine doğru uzanır. Stanford Doğrusal Hızlandırıcı Merkezi varlı-

ğını kurucusu ve ilk yöneticisi Wolfgang Panofsky'nin güdüsüne ve coşkusuna borçludur. J.Robert Oppenheimer zeki Panofsky ile aynı derecede zeki ikiz erkek kardeşinin Princeton'a birlikte başladıklarını, her ikisinin de yıldızlara özgü akademik başarılar elde ettiğini ama birinin ötekinden kıl payı daha iyi olduğunu anlatır. Oppenheimer o zamandan sonra "Zeki" Panofsky ve "Aptal" Panofsky diye adlandırılmaya başladıklarını söyler. Hangisi hangisidir? "Bu bir sır!" der Wolfgang. Gerçeği söylemek gerekirse çoğumuz ona Pief deriz.

Fermilab'la SLAC arasındaki fark apaçıktır. Biri protonlar yapar diğeri elektronlar. Biri daireseldir öteki düz. Ve biz bir doğrusal hızlandırıcının düz olduğunu söylediğimiz zaman düz demek isteriz. Örneğin varsayalım ki üç kilometrelik düz bir yol inşa ediyoruz. Gözlemciler onun düz olduğuna ilişkin bize güvence verirler ama değildir. Dünyanın çok hafif eğimini izler. Gezegenin yüzeyinde duran bir gözlemci için o düz görünür ama uzaydan bakılırsa o bir yaydır. Oysa SLAC'daki ışın tüpü *düzdür.* Dünya mükemmel bir küre olsaydı doğhız dünya yüzeyine üç kilometrelik bir teğet olurdu. Elektron makineleri dünyada çoğalmıştır ama SLAC elektronları 1966'da 20 GeV'a ve 1987'de 50 GeV'a hızlandırmasıyla en olağanüstüsü olarak kalmıştır. Sonra Avrupa'lılar onu geçtiler.

HEDEFLERE KARŞI ÇARPIŞTIRICILAR

Tamam seçenekler için bu kadar yeter. Protonları ya da elektronları hızlandırabilirsiniz ve onları çemberler içinde ya da düz çizgiler halinde hızlandırabilirsiniz. Ama verilecek bir karar daha vardır.

Geleneksel olarak insan manyetik hapishanelerin gözetiminden ışınları alır ve onları her zaman boşluk tüpleri içinde çarpışmanın yer alacağı bir hedefe taşır. Çarpışmaların analizinin çekirdekaltı dünya hakkında nasıl bilgi sağladığını açıklamıştık. Hızlandırılmış parçacık belli miktarda bir enerji getirir ama onun ancak küçük bir kesri küçük uzaklıklardaki doğayı araştırmada ya da $E=mc^2$ yoluyla yeni parçacıklar üretmede kullanılır. Moment korunumu yasası giren enerjinin bir kısmının korunacağını ve çarpışmaların son ürünlerine verileceğini söyler. Örneğin eğer devinim halindeki bir otobüs duran bir kamyona

çarparsa hızlanan otobüsün enerjisinin çoğu metal levha, cam ve kauçuğu ileri fırlatmaya gidecektir. Bu, kamyonu tümüyle yok edecek enerjiden düşülür.

Eğer 1 000 GeV'luk bir proton âtıl haldeki bir protona çarparsa doğa, hangi parçacık çıkarsa çıksın olay protonunun ileriye doğru momentine eşit ileriye doğru yeterince devinimi olması gerektiğinde ısrar eder. Bunun yeni parçacıklar yapmak için geriye yalnızca 42 GeV bıraktığı ortaya çıkmıştır.

1960'ların ortalarında eğer kafa kafaya çarpıştırılmak üzere her biri hızlandırıcı ışının tam enerjisine sahip iki parçacık elde edilebilirse olağandışı daha şiddetli bir çarpışma elde edeceğimizi fark ettik. Çarpışmaya hızlandırıcının enerjisinin iki katı getirilecekti toplam başlangıç momenti sıfır olduğundan (çarpışan nesnelerin eşit ama zıt yönlü momentleri) *onun tümü* kullanılabilecekti. Bu nedenle 1 000 GeV'luk bir hızlandırıcıda her biri 1 000 GeV'luk iki parçacığın kafa kafaya çarpışması hızlandırıcının sabit hedef modelinde çalıştığı zamanki 42 GeV'a göre yeni parçacıklar üretmek için 2 000 GeV serbest bırakacaktır. Ancak bir cezası vardır. Bir makineli tüfekle bir binanın kenarı kolayca vurulabilir ama birbirine ateş eden iki makineli tüfekle mermilerin yarı yolda birbirlerini vurması çok daha zordur. Bu size bir çarpışan ışın hızlandırıcısını çalıştırmanın nasıl da uğraştırıcı olduğu konusunda bir fikir verir.

KARŞIMADDE YAPMAK

Stanford'un başlangıç çarpıştırıcısını 1973'de Stanford Pozitron-Elektron Hızlandırıcı Halkası sözcüklerinden SPEAR adlı çok üretken bir hızlandırıcı izledi. Burada elektron ışınları üç kilometre uzunluğunda doğrusal bir hızlandırıcıda 1-2 GeV arasında bir enerjiye hızlandırılıyor sonra küçük bir manyetik depolama halkasına enjekte ediliyordu. Carl Anderson'un parçacıkları, pozitronlar, bir dizi reaksiyonla üretilir. Önce yoğun elektron ışını, başka şeyler yanında yoğun bir foton ışını üretmek için bir hedefe fırlatılır. Yüklü parçacık artıkları yüksüz fotonları etkilemeyen mıknatıslar tarafından süpürü-

lür. Böylece temiz bir foton ışını elde edilir ve ince bir hedefe örneğin platine çarptırılır. En sık oluşan sonuç fotonun saf enerjisinin bir elektron ve pozitrona dönüşmesidir; her biri fotonun başlangıç enerjisi eksi elektron ve pozitronun âtıl kütlesini paylaşırlar.

Bir mıknatıs sistemi pozitronların bir kesimini toplar, sonra bunlar elektronların dingince dolanıp durduğu bir depolama halkasına enjekte edilir. Pozitron ve elektron selleri zıt elektrik yükleri olduğundan mıknatıs içinde ters yönde eğilirler. Eğer bir sel saat yönünde giderse diğeri saatin tersi yönünde gider. Sonuç apaçıktır: kafa kafaya çarpışmalar. SPEAR bir çok önemli keşif yaptı, çarpıştırıcılar popüler oldu ve dünyada bir şiirsel (?) kısaltmalar salgını zincirlerinden boşaldı. SPEAR'den önce ADONE (İtalya, 2 GeV) vardı; SPEAR'den (3 GeV) sonra DORIS (Almanya, 6 GeV) oldu; sonra da PEP (yine Stanford, 30 GeV), PETRA (Almanya, 30 GeV), CESR (Cornell, 8 GeV), VEPP (SSCB), TRISTAN (Japonya, 60- 70 GeV), LEP (CERN, 100 GeV) ve SLC (Stanford, 100 GeV). Çarpıştırıcıların iki ışının enerjisi toplamıyla sınıflandırıldığına dikkat edin. Örneğin LEP'in her ışını 50 GeV'tu; bu yüzden 100 GeV'luk bir makineydi.

1972'de CERN'in Cenevre'deki öncü Kesişen Depolama Halkası (KDH) tesisi proton-proton çarpışmalarına olanak verdi. Burada iki bağımsız halka birbirinin çevresinde dolanır, protonlar her halkada zıt yönde giderler ve sekiz farklı kesişme noktasında kafa kafaya çarpışırlar. Elektronlar ve protonlar gibi madde ve karşımadde aynı halkada dolanabilir çünkü mıknatıslar onları zıt yönde dolaştırırlar ama protonları birbirine çarptırmak için ayrı halkalar gerekir.

KDH'de her halka daha geleneksel CERN hızlandırıcısı PS'den gelen 30 GEV'luk protonlarla doldurulur. KDH sonunda çok başarılıydı. Ama 1972'de ateşlendiğinde "yüksek ışıltı"lı çarpışma noktalarında saniyede yalnızca birkaç bin çarpışmaya ulaşmıştı. "Işıltı" saniyede çarpışma sayısını tanımlamak için kullanılan bir terim ve KDH'nin başlangıçtaki sorunları iki makineli tüfeğin (iki ışının) mermilerini çarpıştırma zorluğunu ortaya koydu. Sonunda makine saniyede 5 milyon çarpışmadan fazlasına geliştirildi. Fizik için bazı önemli ölçümler yapıldı ama KDH en çok çarpıştırıcılar ve tarama tekniklerine ilişkin değerli bir öğrenme deneyimi sağladı. KDH hem teknik hem de görünüm olarak zarif bir makineydi –tipik bir İsviçre

üretimi. 1972 tatilim boyunca orada çalıştım ve sonraki onyıl boyunca sık sık geri döndüm. Cenevre'yi "Barış için Atomlar" konferansı için ziyaret eden I.I.Rabi'yi bir geziye götürdüm. Hızlandırıcının zarif tuneline girdiğimizde Rabi'nin ağzı açık kaldı ve "Ah. Patek Philippe!" dedi.

Tüm çarpıştırıcıların en zoru, protonları antiprotonlarla kapıştıran çarpıştırıcı, Novosibirsk Sovyet Bilim kentinde çalışan ünlü Rus Gershon Budker'in bir icadıyla mümkün oldu. Budker Amerikalı arkadaşı Wolfgang Panofsky ile yarışarak Rusya'da elektron makineleri inşa ediyordu. Sonra operasyonu Novosibirsk'e, Sibirya'da yeni bir üniversite araştırma topluluğuna taşındı. Onun dediği gibi Panofsky aynı şekilde Alaska'ya taşınmadığı için rekabette haksızlık vardı ve değişiklik yapmaya zorlanmıştı.

Novosibirsk'te 1950'lerde ve 60'larda Budker Sovyet endüstrisine araştırmasını sürdürebileceği malzeme ve para karşılığında küçük hızlandırıcılar satarak başarılı bir kapitalist sistem uyguladı. Hızlandırıcılarda çarpışan öğelerden biri olarak antiprotonları ya da p-çizgileri kullanmak çok çekici bir öngörüydü ama onların nadir bir mal olduğunun ayırdındaydı. Onların bulunacakları tek yer, tabii $E = mc^2$ yoluyla üretildikleri yüksek enerjili çarpışmalardı. Onlarca GeV'luk bir makinede çarpışma artıkları arasında birkaç p-çizgi bulunur. Elverişli çarpışma oranlarına ulaşmak için saatlerce biriktirmeleri gerekir. Ama p-çizgiler bir çarpışma hedefinden doğduklarında her yöne doğru devinirler. Hızlandırıcı bilimcileri bu devinimleri asıl doğrultu ve enerjileri (en doğrusu!) ve de boşluk odasındaki olası uzayı doldurmaya eğilimli gereksiz yan yol devinimleri olarak betimlemeyi severler. Budker'in gördüğü şey onların devinimlerinin yan yol bileşenlerini "sakinleştirme" ve p-çizgileri depolarken çok daha yoğun bir ışın halinde sıkıştırma olasılığıydı. Bu karmaşık bir işti. Yeni ışın kontrolü, mıknatıs kararlılığı ve çok yüksek boşluk düzeylerine ulaşılmalıydı. Antiprotonlar depolanmalı, soğutulmalı ve hızlandırma için çarpıştırıcıya enjekte edilmeye yetecek hale gelmeden önce on saatten fazla biriktirilmeliydi. Şiirsel bir fikirdi ama program Budker'in Sibirya'daki sınırlı kaynakları için çok fazla karmaşıktı.

Simon Van der Meer sahnede; CERN'de bu soğutma tekniğini

1970'lerin sonlarında geliştiren ve ilk proton-antiproton çarpıştırıcısı için ilk p-çizgi kaynağının inşasına yardım eden Hollanda'lı bir mühendis. CERN'in 400 GeV'luk halkasını hem depolama hem çarpışma aygıtı olarak kullandı ve ilk p/p-çizgi çarpışmaları 1981'de devreye girdi. Van der Meer "en uygun soğutma"yla Rubbia'nın tasarladığı ve daha sonra tartışacağımız W^+, W^- ve Z^0 parçacıklarının keşfiyle sonuçlanan programa katkısı nedeniyle 1985 Nobel Ödülünü Carlo Rubbia'yla paylaştı.

Carlo Rubbia öyle renklidir ki bütün bir kitabı hak eder ve de en azından bir kitabı bulunmaktadır. (Gary Traubes'ın *Nobel Düşleri* onun hakkındadır.) Enrico Fermi'nin öğrencisi olduğu Pisa'daki saygın Scuola Normale'nin en zeki mezunlarından biri olan Carlo hiç yavaşlamayan bir dinamodur. Nevis'te, CERN'de, Harvard'da, Fermilab'da, yeniden CERN'de ve yeniden Fermilab'da çalıştı. Bu kadar çok yolculuk yaptığından "gidiş" ve "dönüş" bilet yarılarını değiş tokuş etmek için karmaşık bir maliyet düşürme şeması icat etmişti. Bir keresinde onu hepsi batıdan doğuya sekiz biletle emekli olacağına inandırdım. 1989'da Avrupa konsorsiyumu laboratuarının altı yıldır proton-anti proton çarpışmalarında önde olduğu sırada CERN'in yöneticisi oldu. Ancak 1987-88'de Fermilab CERN şemasında önemli gelişmeler kaydedip kendi antiproton kaynağını çalıştırmaya başlayınca Tevatron yeniden liderliği ele geçirdi.

P-çizgiler ağaçtan toplanmaz, onları Ace Hurdacılıktan da satın alamazsınız. 1990'larda Fermilab dünyanın en büyük antiproton hazinesidir ve onlar bir manyetik halkada depolanırlar. A.B.D Hava kuvvetleri ve Rand Şirketinin geleceğe yönelik bir çalışması bir miligram (bir gramın binde biri) antiprotonun ideal bir roket yakıtı olacağını ortaya koydu çünkü o iki ton petrole eşdeğer enerji içerecekti. Fermilab antiproton üretiminde dünya lideri olduğu için (saatte 10^{10}) bir miligram elde etmek ne kadar sürecektir? Bu hızla, yirmi dört saatlik çalışmayla birkaç milyon yıl. Teknolojide bir takım inanılmaz derecede iyimser gelişmeler bunu bir kaç bin yıla indirebilirdi. Bu nedenle Fidelity'nin P-çizgi tahvillerine para yatırmamanızı öneririm.

Fermilab çarpıştırıcı şeması aşağıdaki gibi çalışır. 120 GeV'ta çalışan eski 400 GeV'luk hızlandırıcı (ana halka) her iki saniyede bir bir hedefe protonlar fırlatır. Yaklaşık 10^{12} protonun her çarpışması doğru

enerjiyle doğru yönde giden 10 milyon kadar antiproton yapar. Her p-çizgiyle birlikte binlerce istenmeyen pion, kaon ve başka artıklar vardır ama bunların tümü kararsızdır ve er ya da geç yok olurlar. P-çizgiler işlemlendikleri, örgütlendikleri ve sıkıştırıldıkları demet bozma halkası denen manyetik bir halkaya odaklanırlar sonra da biriktirme halkasına aktarılırlar. Her iki halkanın da çevresi yaklaşık 150 metredir ve p-çizgileri 8 GeV'ta, yükseltici hızlandırıcıyla aynı enerjide depolar. Yeniden hızlandırıcı kompleksine enjekte etmeye yetecek kadar p-çizgi biriktirmek beş ilâ on saat sürer. Depolama ince bir olaydır çünkü tüm aygıtlarımız maddeden yapılmıştır (başka neden olacaktı ki?) ve p-çizgiler karşımaddedir. Maddeyle temasa geçerlerse –yokolma. Bu yüzden p-çizgileri boşluk tüpünün merkezine yakın bir yörüngede tutmak için titiz olmanız gerekir. Ve de boşluğun kalitesi olağandışı olmalı –teknolojinin satın alabileceği en iyi "hiç"

Yaklaşık on saat biriktirme ve sürekli sıkıştırmadan sonra p-çizgileri yeniden geldikleri hızlandırıcıya enjekte etmeye hazırızdır. Bir NASA uzay uçuşunu anımsatan bir yordamla gergin bir geriye sayım her voltajın, her akımın, her mıknatısın ve her anahtarın doğru olduğunu güvence altına almak için devam edip durur. P-çizgiler eksi yükleri nedeniyle saatin tersi yönde döndükleri ana halkaya zıplatılırlar. 150 GeV'a hızlandırılırlar ve yine manyetik el çabukluğuyla Tevatron superiletken halkasına aktarılırlar. Burada az önce yükselticiden ana halka yoluyla enjekte edilmiş protonlar alışılmış saat yönünde yorulmaksızın dönerek sakince beklemektedir. Şimdi altı kilometre uzunluğundaki halkada zıt yönlerde dönen iki ışınımız vardır. Her ışın altı parçacık demetinden ibarettir; her demette yaklaşık 10^{12} proton ve biraz daha az sayıda p-çizgi bulunur.

Her iki ışın da ana halkada kendilerine verilen 150 GeV'tan Tevatron'un tam enerjisi olan 900 GeV'a hızlandırılır. Son aşama "sıkıştırma"dır. Işınlar aynı küçük tüpte zıt yönde döndükleri için hızlanma evresinde kaçınılmaz olarak birbirlerini kesmişlerdir. Ancak yoğunlukları o denli düşüktür ki parçacıklar arasında pek az çarpışma olur. "Sıkıştırma" özel superiletken mıknatısları enerjiyle yükler ve ışın çaplarını gazoz pipetinden (birkaç milimetre) insan saçına (mikronlar) indirir. Bu, parçacıkların yoğunluğunu çok arttırır. Şimdi ışınlar birbirini kestiğinde her geçişte en az bir çarpışma olur. Mıkna-

tıslar çarpışmaların tarayıcıların merkezinde yer alması için çekiştirilir. Gerisi onlara kalmış.

Biz kararlı bir işleyiş sağladıktan sonra tarayıcılar açılır ve veri toplamaya başlarlar. Tipik olarak bu on ila yirmi saat sürer, bu arada eski ana halkanın yardımıyla daha fazla p-çizgi toplanır. Zamanla proton ve antiproton demetleri tükenmiş ve daha yaygın bir hal alır bu da olay oranını düşürür. Işıltı (saniyede çarpışma sayısı) yüzde 30'a düştüğünde ve eğer biriktirme halkasında depolanmış yeterince p-çizgi varsa ışınlar boşaltılır ve bir başka NASA geriye sayımı başlar. Tevatron çarpıştırıcısını yeniden doldurmak yaklaşık yarım saat alır. Enjekte edilmek için uygun sayı yaklaşık 200 milyar antiprotondur. Bunlar saniyede yaklaşık 100 000 çarpışma üretmek üzere elde edilmesi daha kolay olan yaklaşık 500 milyar protonla karşı karşıya getirilir. 1990' larda tasarlanan tüm gelişmeler bu sayıları yaklaşık on katına çıkaracaktır.

1990'da CERN p/p-çizgi çarpıştırıcısı emekliye ayrıldı; alanı iki güçlü tarayıcısıyla Fermilab tesisine bıraktı.

KARA KUTUYU GÖZLEMEK: TARAYICILAR

Yüksek enerjili parçacıkların yarattığı çarpışmaları gözlemleyerek, ölçerek ve analiz ederek çekirdekaltı evren hakkında bir şeyler öğreniriz. Rutherford çinko sülfid ekranlara çarpan alfa parçacıklarının oluşturduğu parıltıları görüp sayabilsinler diye ekibini karanlık bir odaya kilitlemişti. Parçacık sayma tekniklerimiz o zamandan bu yana, özellikle II.Dünya Savaşı sonrası dönemde, önemli ölçüde gelişmiştir.

II.Dünya Savaşından önce bulut odası temel bir aygıttı. Anderson onu pozitronu keşfetmek için kullandı ve dünya çevresindeki kozmik ışın laboratuarlarında yer aldı. Benim Columbia'ya alınışım Nevis siklotronuyla çalışacak bir bulut odası inşa etmek içindi. Tam anlamıyla turfanda bir mezun olduğum için bulut odalarının inceliklerinden habersizdim ve Berkeley, Cal Tech, Rochester ve benzeri öteki yerlerdeki uzmanlarla rekabet ediyordum. Bulut odaları mızmız aygıtlardır, "zehirlenme"ye –parçacık izlerini belirleyen damlacıklarla rekabete giren istenmeyen damlacıklar oluşturan saf olmayışlara– yatkındırlar.

Columbia'da bu iğrenç tarayıcılarla hiç kimsenin hiçbir deneyimi yoktu. Ben tüm literatürü okudum ve tüm boş inançları benimsedim: camı sodyum hidroksitle temizle ve üç kez damıtılmış suyla yıka; kauçuk diyaframı yüzde 100 metil alkolle kaynat; doğru büyülü sözleri söyle Birazcık duanın hiçbir zararı yok.

Umutsuzluk içinde bulut odamı kutsasın diye bir haham bulmaya çalıştım. Ne yazık ki yanlış hahamı seçtim. Ortodokstu, çok dindardı ve bulut odam için bir *brucha* (İbranice: "kutsama") isteyince bir bulut odasının ne olduğunu öğrenmek istedi. Ona bir fotograf gösterdim ve benim önerdiğim zındıklık onu çileden çıkardı. Denediğim ikinci adam bir Tutucu hahamdı; resmi görünce bulut odasının nasıl çalıştığını sordu. Açıkladım. Dinledi, başını salladı, sakalını sıvazladı ve sonunda üzgün bir biçimde sadece yapamayacağını söyledi. "Şeriat..." O zaman bir Reformcu hahama gittim. Evine vardığımda tam da Jaguar XKE'sinden çıkıyordu. "Haham efendi benim bulut odam için bir brucha söyler misiniz?" diye yalvardım. "Brucha mı?" diye yanıtladı. "Brucha da ne?" Böylece kaygılara düştüm.

Sonunda büyük test için hazırdım. Bu noktada her şey iyi gitmeliydi ama oda her çalıştırıldığında yoğun beyaz duman elde ettim. Tam bu evrede Gilberto Bernardini, gerçek bir uzman Columbia'ya geldi ve omuzumun üzerinden bakmaya başladı. "Şordaki pirinç çubuk ne, odaya giren?" diye sordu.

"O benim radyoaktif kaynağım" dedim "İzler yapmak için ama tüm elde ettiğim beyaz duman."

"Çek onu dışara."

"Dışarı mı çekeyim?"

"Si, si, dışara."

Böylece dışarı çektim ve birkaç dakika sonra izler! Odanın içinde damlayan minik damlacıklardan güzel dalgalı ipçikler. Gördüğüm en güzel manzara. Olup biten şey benim miliküri kaynağının odayı iyonlarla dolduracak kadar kuvvetli olması her bir iyonun da kendi damlasını geliştirmesiydi. Sonuç: yoğun, beyaz duman. Bir radyoaktif kaynağa gereksinimim yoktu. Çevremizdeki uzayın her yerinde var olan kozmik ışınlar kibarca yeterince radyasyon

sağlıyorlardı. Ecco!

Bulut odasının çok üretken bir aygıt olduğu ortaya çıktı çünkü insan içinden geçen parçacıkların yolu boyunca oluşan minik damlacıkların bıraktığı izlerin fotografını çekebiliyordu. Onu bir manyetik alanla donatmak izlerin bir yay çizmesine neden oluyordu ve bu eğrinin yarıçapını ölçmek bize parçacıkların momentini veriyordu. İzler doğruya ne denli yakın olursa (daha az eğim) parçacıklar o denli enerjiliydi. (Lawrence'ın siklotronunda moment kazanan ve daha büyük çemberler çizen protonları anımsayın.) Pionların ve muonların özellikleri üzerine değişik veriler sağlayan binlerce fotograf çektik. Bulut odası –benim Ph.D.'min ve işimde kalabilmemin kaynağı olarak değil de bir aygıt olarak bakıldığında– her fotografta bir düzine kadar izi gözlememize olanak veriyordu. Pionların odadan geçmesi saniyenin milyarda biri kadar sürer. İçinde belki de yüz fotografta bir ortaya çıkacak çarpışmanın oluşabileceği yoğun bir malzeme plağı sağlayabiliriz. Resimler yalnızca dakikada bir tane çekilebildiği için veri biriktirme hızı daha da kısıtlı olur.

KABARCIK, KABARCIK, ZAHMET VE DERT

Bir sonraki gelişme 1950'lerin ortasında o zaman Michigan Üniversitesinde bulunan Donald Glaser tarafından keşfedilen kabarcık odasıydı. İlk kabarcık odası küçük bir sıvı eter yüksüğüydü. Fermilab' dan 1987'de emekli edilen 4,5 metrelik canavara dek sıvı hidrojen odalarının evrimi California Üniversitesinden ünlü Luis Alvarez tarafından gerçekleştirildi.

Sıvı, sıklıkla da pıhtılaşmış, hidrojen dolu bir odada içinden geçen parçacıklar boyunca minik kabarcıklar oluşur. Kabarcıklar kaynama başlangıcını gösterir ve bu sıvı içindeki basıncın ani ve bilerek yaratılmış düşmesine bağlıdır. Bu düşme sıvıyı hem ısıya hem de basınca bağlı olan kaynama noktasının üzerine çıkarır. (Dağ köşkünüzde yumurta kaynatmanın zorluğunu yaşamışsınızdır. Dağ tepesinin düşük basıncında su 100 derece santigradın altında pekala kaynar.) Temiz bir sıvı ne denli sıcak olursa olsun kaynamaya direnecektir. Örneğin derin bir kapta biraz yağı ısıtın, eğer her şey gerçekten temizse kaynamayacaktır. Ama içine tek bir patates parçası atın patlayıcı bir kaynama

oluşur. Bu nedenle kabarcıklar oluşturmak için iki şey gerekir: kaynama noktası üzerinde ısı ve bir kabarcık oluşmasını kolaylaştıracak bir tür saflık bozucu. Kabarcık odasında sıvı basınçtaki ani düşüşle aşırı ısınır. Yüklü parçacık sıvının atomlarıyla bir çok yumuşak çarpışmalarıyla bir uyarılmış atomlar izi bırakır ki bunlar da basınç azaltıldıktan sonra kabarcıklar için ideal çekirdeklerdir. Olay parçacıkla tekne içindeki bir proton (hidrojen çekirdeği) arasında bir çarpışma oluşursa ortaya çıkan tüm yüklü parçacıklar da görünür hale gelirler. Ortam bir sıvı olduğu için yoğun plaklar gerekmez ve çarpışma noktası açıkça görülebilir. Dünya çevresindeki araştırıcılar kabarcık odalarındaki çarpışmaların milyonlarca fotograflarını çekmişlerdir ve bunların analizine otomatik gözden geçiriciler yardımcı olmuştur.

İşte çalışma biçimi. Hızlandırıcı, bir parçacık ışınını kabarcık odasına ateşler. Eğer bu yüklü bir parçacık ışınıysa on ya da yirmi iz odayı doldurmaya başlar. Parçacıkların geçişinden sonraki bir milisaniye içinde bir piston hızla hareket eder, basıncı düşürür ve böylece de kabarcık oluşumu başlar. Bir milisaniye ya da daha fazla gelişme süresinden sonra bir flaş patlar film hareket eder ve biz yeni bir çevrime hazır oluruz.

Glaser'in (kabarcık odası için Nobel Ödülünü almış ve hemen bir biolog olmuştur) bir bardak biranın üzerindeki köpüğü büyütmek için içine tuz dökme hilesini inceleyerek kabarcık çekirdekleri oluşturma fikrini geliştirdiği söylenir. Michigan'da Ann Arbor'un barı Tanrı Parçacığının izini sürmede en başarılı aygıtlardan birini böyle yumurtlamıştır işte.

Çarpışma analizi için iki anahtar vardır: mekan ve zaman. Bir parçacığın uzaydaki rotasını kaydetmek isteriz ve de kesin geçiş süresini. Örneğin bir parçacık tarayıcıya gelir, durur, parçalanır ve ikinci bir parçacık oluşturur. Duran bir parçacığa iyi bir örnek durma olayından bir saniyenin milyonda biri kadar ya da daha kısa bir süreyle ayrılan bir elektrona parçalanan bir muondur. Tarayıcınız ne denli duyarlıysa o denli fazla bilgi. Kabarcık odaları olayın mekan analizi için mükemmeldirler. Parçacıklar izler bırakır ve kabarcık odalarında bu iz üzerindeki noktaları yaklaşık bir milimetre duyarlılıkla saptayabiliriz. Ama kabarcık odaları asla zaman bilgisi vermezler.

Parıltı sayaçları parçacıkları hem mekan hem zaman olarak saptayabilir. Özel plastik yapılarıyla kendilerine bir yüklü parçacık çarptığında bir ışık flaşı üretirler. Sayaçlar ışığı tutan siyah plastikle sarılmıştır ve her minik ışık flaşı parçacığın geçişine işaret eden sinyali keskince belirlenmiş bir elektronik vuruma dönüştüren bir ışık çoğaltıcıya geçirilir. Bu vurum bir elektronik saat vurumları dizisi üzerine bindirildiğinde bir parçacığın varışı saniyenin milyarda bir kaçı kesinliğinde kaydedilebilir. Eğer bir dizi parıltı şeridi kullanılırsa bir parçacık ardarda bir kaçına çarpar ve onun uzaydaki yolunu betimleyen bir dizi vurum bırakır. Mekan saptaması sayacın boyutuna bağlıdır ki tipik olarak saptamayı 6 – 7 santimlik bir kesinlikle yapar.

Büyük bir buluş, orantılı tel odasıydı (OTO), CERN'de çalışan verimli bir Fransızın, Georges Charpak'ın buluşu. II.Dünya Savaşında bir Direniş kahramanı ve toplama kampı mahpusu olan Charpak parçacık tarama aygıtları alanında seçkin bir kaşif haline geldi. Dahice basit bir aygıt olan OTO'sunda bir çok ince tel birkaç milimetre aralıkla bir çerçeveye gerilir. Tipik olarak çerçeve 60 santime 120 santimdir ve birkaç yüz tane altmış santimlik tel yüz yirmi santimlik kenarlar arasındaki açıklığı doldurur. Voltajlar öyle düzenlenmiştir ki bir parçacık bir telin yanından geçtiğinde telin içinde bir elektrik vurumu oluşturur ve bu vurum kaydedilir. Çarpılan telin kesin yeri rotadaki bir noktayı belirler. Vurum süresi bir elektronik saatle kıyaslanarak saptanır. Daha ileri inceltmelerle yer ve zaman saptamaları yaklaşık 0.1 milimetre ve 10^{-8} saniye duyarlıkla yapılabilir. Hava geçirmez ve uygun bir gazla doldurulmuş bir kutuya yerleştirilmiş bir çok çerçeveyle parçacıkların rotaları kesin olarak saptanabilir. Oda yalnızca kısa bir zaman aralığında etkin olduğu için rastgele zemin olayları bastırılır ve çok yoğun ışınlar kullanılabilir. Charpak'ın OTO'ları 1970'den beri her büyük parçacık fiziği deneyinin parçası olmuştur. 1992'de Charpak keşfi için Nobel Ödülüyle ödüllendirildi. (tek başına!).

Tüm bu farklı parçacık algılayıcıları ve başkaları 1980'lerin karmaşık tarayıcılarında birleştirilmiştir. Fermilab'daki ÇTT tarayıcısı en karmaşık sistemlerin tipik bir örneğidir. Üç kat yüksekliğinde 5000 ton ağırlığında ve 60 milyon dolara inşa edilmiş olup Tevatronun içinde protonlarla antiprotonların kafa kafaya çarpışmalarını gözlem-

lemek için tasarlanmıştır. Burada incelikli olarak tasarlanmış bir kurulumda parıltı sayaçlarını ve telleri de içeren 100 000 algılayıcı bilgi sellerini elektronik vurumlar halinde, verileri örgütleyen, filtreden geçiren ve sonunda gelecekteki analiz için kaydeden bir sisteme gönderir.

Böylesi tüm tarayıcılarda olduğu gibi gerçek zamanda –yani hemen– ele almak için çok fazla bilgi vardır; bu yüzden veriler dijital biçimde kodlanıp manyetik banda kaydedilmek üzere düzenlenir. Bilgisayar hangi çarpışmaların "ilginç" olduğuna hangilerinin olmadığına karar vermek zorundadır; çünkü Tevatronda saniyede 100 000 çarpışmadan fazlası oluşur ve bunun 1990'ların başlarında saniyede bir milyon çarpışmaya çıkması beklenmektedir. Şimdi bu çarpışmaların çoğu ilgi çekmez. Mücevherler bir protonun içindeki bir quarkın gerçekten bir antiquarkla ya da hattâ p-çizgi içindeki bir gluonla çarpıştığı çarpışmalardır. Bu sert çarpışmalar nadirdir.

Bilgi işlem sisteminin belli bir çarpışmayı inceleyip yazgısal kararı vermesi (bu olay ilginç mi?) için saniyenin milyonda birinden az zamanı vardır. İnsanlık için bu akıl durduran bir hızdır ama bir bilgisayar için değil. Her şey görecelidir. Büyük kentlerden birinde bir salyangoz çetesi bir kaplumbağaya saldırıp soymuş. Sonradan polise ifade verirken kaplumbağa: "Bilmiyorum" demiş "Her şey o kadar hızlı gelişti ki!"

Elektronik karar vermeyi hafifletmek için aşamalı bir olay seçimi sistemi geliştirilmiştir. Deneyciler bilgisayarları çeşitli "tetikler"le, sisteme hangi olayları kaydedeceğini söyleyen göstergelerle programlarlar. Örneğin yaygın bir tetik, tarayıcıya büyük miktarda enerji boşaltan bir olaydır çünkü yeni görüngülerin yüksek enerjilerde ortaya çıkması düşük enerjilerden daha olasıdır. Tetikleri düzenlemek soğuk terler döktüren bir iştir. Onları çok gevşek tutarsanız kayıt teknolojisinin yeteneğini ve mantığını boğarsınız. Çok sıkı tutarsanız bazı yeni fizikleri kaçırırsınız ya da tüm deneyi bir hiç için yapmış olursunuz. Bazı tetikler çarpışmadan doğan bir elektron izlenirken "düşer"ler. Bir başka tetik bir parçacık püskürtüsünün darlığıyla tatmin olacaktır v.b. Tipik olarak bir tetiği aşmasına izin verilen on ya da yirmi farklı çarpışma olayı yapısı vardır. Bu tetiklerden geçen toplam olay sayısı saniyede 5000 ila 10 0000 olabilir ama şimdi olay

hızı "düşünmek" ve adayları daha dikkatle incelemek –şey yani bilgisayarın incelemesi– için yeterince düşüktür (saniyenin her on binde birinde bir). Bu olayı gerçekten kaydetmek istiyor musun? Görüntüleme saniyede yaklaşık on olay kalana dek dört ya da beş aşamada devam eder.

Bu olayların her biri tüm ayrıntısıyla manyetik banda kaydedilir. Sıklıkla olayları reddettiğimiz evrelerde diyelim ki yüz olayda birlik bir örneklem önemli bir bilginin yitirilip yitirilmediğini belirlemek için gelecekte incenlemek üzere kaydedilir. Tüm veri edinme sistemi (VES) ne istediklerini bildiklerini düşünen fizikçileri memnun etmek için sıkı çalışan elektronik mühendisleri ve oh evet yarıiletkenlere dayalı ticari mikroelektronikte bir devrimin kutsal olmayan birlikteliklerı sayesinde gerçekleşir.

Tüm bu teknolojinin dahileri sayılamayacak kadar çoktur ama benim öznel görüşüme göre önde gelen kaşiflerden biri Columbia'nın benim yetiştiğim Nevis Laboratuarının bir tavanarasında çalışan utangaç bir elektronik mühendisidir. William Sippach kendisini yöneten fizikçilerden çok ileridedir. VES'i biz belirledik o tasarladı ve yaptı. Çok sık olarak sabahın üçünde ona telefon eder onun (sorun çıktığında hep *onun*du) elektroniğinde ciddi bir kısıtlamayla karşılaştığımızı haykırırdım. O sakince dinler ve bir soru sorardı: "On altıncı rafın kapağının içinde bir mikro anahtar görüyor musun? Onu etkinleştir sorununuz çözülecektir. İyi geceler." Sippach'ın ünü yayıldı ve tipik bir haftada New Haven, Palo Alto, Cenevre ve Novosibirsk'ten gelen ziyaretçiler Bill'le konuşmak için uğrarlardı.

Sippach ve karmaşık sistemleri geliştirmeye yardım eden başka bir çokları ilk parçacık tarayıcıları için devrelerin keşfedildiği 1930'lardan ve 40'lardan gelme büyük bir geleneği sürdürdüler. Bunlar da ilk dijital bilgisayarların anahtar bileşeni oldular. Onlar da daha iyi hızlandırıcıları ve tarayıcıları doğurdular ve onlar da...

Tarayıcılar tüm bu olayda temel çizgilerdir.

NE BULDUK: HIZLANDIRICILAR VE FİZİK GELİŞİYOR

Şimdi hızlandırıcılar hakkında bilmeyi gereksindiğiniz her şeyi – belki fazlasını– biliyorsunuz. Aslında çoğu kuramcıdan daha fazlasını biliyor olabilirsiniz. Bu eleştiri değil yalnızca bir olgu. Daha önemli olan bu yeni makinelerin bize dünya hakkında ne söyledikleri.

Söz ettiğim gibi 1950'lerin sinkrosiklotronları bizim pionlar hakkında daha çok şey öğrenmemize olanak verdi. Hideki Yukawa' nın kuramı bir parçacığı bir parçacıksal kütleyle değiş tokuş etmenin protonları protonlara, protonları nötronlara ve nötronları nötronlara bağlayan güçlü bir çekici karşı kuvvet yaratacağını öne sürmüştü. Yukawa bu değiş tokuş edilen parçacığın (pion) kütlesini ve ömrünü tahmin etti.

Pionun 140 MeV'luk bir âtıl kütle enerjisi vardır ve 1950'lerde dünya çevresindeki üniversite kampüslerinde bulunan 400 ila 800 MeV'luk makinelerde bolca üretildi. Pionlar muonlara ve nötrinolara parçalanırlar. 1950'lerin büyük bulmacası olan muon, elektronun ağır bir türü gibiydi. Richard Feynman her bakımdan aynı biçimde davranan yalnızca biri ötekinden iki yüz kez daha ağır olan iki cisim üzerinde çok uğraşan önde gelen fizikçilerden biriydi. Bu gizemin çözülmesi tüm çabamızın anahtarlarından biri, Tanrı Parçacığının kendisine giden bir ipucudur.

İkinci kuşak makineler kuşaksal bir sürpriz ürettiler: çekirdeği *milyar* voltluk parçacıklarla dövmek "farklı bir şey" yapıyordu. Bir hızlandırıcıyla özellikle de son sınav yakınken yapabileceklerinizi gözden geçirelim. Temelde insan dehasının bu bölümde betimlenen kapsamlı donanımı –çağdaş hızlandırıcıların ve parçacık tarayıcılarının gelişmesi– bizim iki tür şey yapmamıza olanak vermiştir: nesneleri *saçmak* ya da –işte "farklı bir şey" bu *–yeni nesneler üretmek*

1. *Saçma.* Saçma deneylerinde olay parçacıkların çarpışmadan sonra çeşitli yönlere nasıl uçuştuğuna bakarız. Saçma deneyinin son ürünü için kullanılan teknik terim açısal dağılımdır. Kuantum fiziği kurallarına göre analiz edildiğinde bu deneyler parçacıklar saçan

çekirdek hakkında bize epeyce şey söylerler. Hızlandırıcıdan gelen parçacığın enerjisi arttıkça yapı daha netleşmiş olur. Böylece çekirdeklerin bileşimini –nötronları ve protonları ve onların nasıl düzenlendiğini ve de düzenlerini sürdürmek için nasıl titreştiklerini– öğreniriz. Protonlarımızın enerjisini daha da arttırırsak protonların ve nötronların içini "görebiliriz". Kutu içinde kutu.

Bir şeyleri basitleştirmek için hedef olarak tek protonlar (hidrojen çekirdekleri) kullanabiliriz. Saçına deneyleri bir protonun büyüklüğü ve artı elektrik yükünün nasıl dağıldığı hakkında bilgi verir. Zeki bir okur sondanın –hedefe çarpan parçacığın– kendisinin de kargaşaya yol açıp açmayacağını soracaktır; yanıtı evet. Bu yüzden değişik sondalar kullanırız. Radyasyondan gelen alfa parçacıkları hızlandırıcıdan fırlayan protonlar ve elektronlar türetir sonra da biz ikincil parçacıkları kullanırız: elektronlardan türeyen pionları. 1960'larda ve 70'lerde bunu daha iyi yaptıkça bombardıman edici parçacıklar olarak üçüncül parçacıklar kullanmaya başladık; pionların parçalanmasından türeyen muonlar sondalar haline geldi ve de aynı kaynaktan gelen nötrinolar ve daha bir çokları.

Hızlandırıcı laboratuarı çeşitli ürünleriyle bir hizmet merkezi haline geldi. 1980'lerin sonlarında Fermilab'ın satış elemanları olası tüketicilere aşağıdaki sıcak ve soğuk dönen ışınların sağlanabileceği reklamını yaptılar; protonlar, nötronlar, pionlar, kaonlar, muonlar, nötrinolar, antiprotonlar, hiperonlar, kutuplaştırılmış (tümü aynı yönde dönüş yapan) protonlar, etiketlenmiş (enerjilerini biliriz) fotonlar ve eğer göremiyorsanız isteyin!

2. *Yeni parçacıklar üretme.* Burada amaç yeni bir enerji bölgesinin yeni, daha önce hiç görülmemiş parçacıkların yaratılmasına yol açıp açmadığını görmektir. Eğer yeni bir parçacık varsa onunla ilgili her şeyi bilmek isteriz –kütlesini, dönmesini, yükünü, ailesini filân. Ömrünü ve hangi başka parçacıklara parçalanacağını da bilmeye gereksiniriz. Kuşkusuz adını ve parçacık dünyasının büyük mimarisinde oynadığı rolü de bilmemiz gerekir. Pion kozmik ışınlarda keşfedildi ama kısa sürede bulut odalarının alnından tam gelişmiş olarak fırlamadığını bulduk. Olup biten şey şu: dış uzaydan kozmik ışın protonlarının azot ve oksijen çekirdekleriyle çarpıştıkları (bugün daha fazla kirleticilerimiz de var) dünyanın atmosferine girerler ve bu

çarpışmalardan pionlar yaratılır. Kozmik ışın çalışmalarında K^+ ve K^- denen parçacıklar ve lambda (Yunan harfi Λ) denen nesneler gibi başka birkaç garip nesne de ayırt edilmiştir. 1950'lerin ortalarında başlayıp 1960'larda alabildiğine yayılan daha güçlü hızlandırıcılar ortaya çıktığında çeşitli ekzotik parçacıklar yaratıldı. Yeni nesne damlamaları kısa sürede sele dönüştü. Çarpışmalarda sağlanan muazzam enerjiler bir, beş, on değil yüzlerce yeni parçacığın var olduğunu ortaya çıkardı; felsefelerimizin çoğunda düşlenemeyecek kadar çok Horatio! Bu keşifler grup çabalarıydı, Büyük Bilimin ve deneysel parçacık fiziğinde teknoloji ve tekniklerin mantar gibi bitmesinin meyveleriydi.

Her yeni nesneye bir ad verildi; genellikle bir Yunan harfi. Tipik olarak altmış üç buçuk bilimcinin işbirliğinde oluşan keşifçiler yeni nesneyi bildirirler ve bilinen olabildiğince çok özelliğini –kütle, yük, dönme, ömür ve başka kuantum özelliklerinin uzun bir listesi– verirler. Sonra Go'ya geçerler, iki yüz dolar biriktirirler, bir ya da iki tez yazarlar ve seminerler, konferans makaleleri sunmak ve de terfi ettirilmek üzere davet edilmeyi beklerler. En çok da izlenmeyi ve başkalarının, özellikle de aygıtsal saptırmaları en aza indirgeyecek başka teknikler kullanarak sonuçlarını desteklediğinden emin olmayı arzu ederler. Yani herhangi bir belli hızlandırıcı ve onun tarayıcıları olayları belli bir biçimde "görme" eğilimindedirler. İnsanın olayın farklı bir göz dizisiyle desteklenmesine gereksinimi vardır.

Kabarcık odası parçacıkları keşfetmede güçlü bir teknik olarak hizmet etmişti çünkü kapalı bir karşılaşmanın bir çok ayrıntısı görülüp ölçülebilirdi. Elektronik tarayıcıların kullanıldığı deneyler genellikle daha özgül süreçlere yönelikti. Bir kez bir parçacık onaylanmış nesneler listesine girince özgül çarpışmalar ve ömrü –tüm yeni parçacıklar kararsızdı– ve parçalanma biçimi gibi diğer özellikleri üzerine veriler sağlamak için özgül aygıtlar tasarlanabilirdi. O neye ayrışır? Bir lambda bir proton ve bir piona parçalanır; bir sigma bir lambda ve bir piona v.b. Tablo haline getir, düzenle, verilerin içinde boğulmamaya çalış. Çekirdekaltı dünya giderek daha derin karmaşıklık sergilediği için bunlar sağlıklılığın temel çizgileriydi. Güçlü kuvvet çarpışmalarında yaratılan tüm Yunan harfli parçacıklara ortak olarak *hadronlar* dendi –Yunanca ağır– ve sözcüğün tam anlamıyla yüzlerce

hadron vardı. Bizim istediğimiz bu değildi. Tek, minik, kesilemez bir parçacık yerine Democritusçu bir a-tom arayışı yüzlerce ağır, çok kesilebilir parçacık ortaya çıkarmıştı. Felaket! Bizim biyoloji meslektaşlarımızdan ne yapacağımızı bilmediğimiz zaman ne yapacağımızı öğrenmiştik: sınıflandır! Teslim olup bunu yaptık. Bu sınıflandırmanın sonuçları –ve sonrası– bir sonraki bölümde ele alınıyor.

ÜÇ FİNAL: ZAMAN MAKİNESİ, KATEDRALLER VE YÖRÜNGE ÇİZDİREN HIZLANDIRICI

Bu bölümü hızlandırıcı çarpışmalarında aslında ne olup bittiğine ilişkin yeni bir görüşle kapatıyoruz. Bu görüş aklımıza astrofizikçi meslektaşlarımız sayesinde gelir. (Fermilab'da yan gelip yatan küçük ama çok neşeli bir astrofizikçi grubu vardır.) Bu insanlar dünyanın 15 milyar yıl kadar önce kıyamet gibi bir patlamada, Büyük Patlamada, yaratıldığı konusunda bize güvence verirler; bizim de onlardan kuşkulanmak için hiçbir nedenimiz yok. Yaratılıştan sonraki en erken anlarda bebek evren ağır bir megalomani içinde bile olsak yeniden üretmeyi düşleyebileceğimizin iki katı daha yüksek enerjilerle (bunun ısı eşdeğerleriyle) birbirine çarpan asal parçacıkların oluşturduğu sıcak, yoğun bir çorbaydı. Ama evren genişlerken soğuyordu. Bir noktada, yaratılıştan yaklaşık 10^{-12} saniye sonra, sıcak evren çorbasındaki parçacıkların ortalama enerjisi 1 trilyon elektron volta ya da 1 TeV'a, Fermilab'ın Tevatron'unun her ışında ürettiği enerjiye düştü. Bu nedenle hızlandırıcılara zaman makineleri olarak bakabiliriz. Tevatron, protonların kafa kafaya çarpışması sırasında kısa bir an için tüm evrenin "bir saniyenin milyonda birinin milyonda biri" yaşındaykenki davranışını yinelemektedir. Eğer her anın fiziğini ve o ana bir önceki anın verdiklerini bilirsek evrenin evrimini hesaplayabiliriz.

Bu zaman makinesi uyarlaması astrocular için gerçekten bir problemdir. Normal koşullar altında biz parçacık fizikçileri hızlandırıcıların erken evreni nasıl taklit ettiğiyle eğlenir ve övünür ama ilgilenmezdik. Ancak son yıllarda bağlantıyı görmeye başladık. Zamanda daha da gerilerde enerjilerin 1 TeV'dan –şu andaki hızlandırıcı envanterimizin sınırı– belirgin biçimde daha büyük olduğu yerde gereksindiğimiz bir sır yatmaktadır. Bu daha eski, daha

sıcak evren Tanrı parçacığının inine giden bir ipucu taşımaktadır.

Zaman makinesi olarak hızlandırıcı –astrofizik bağlantısı– göz önüne alınacak bir görüş. Bir başka bağlantı kovboy hızlandırıcı inşacısı Robert Wilson'dan gelir. Şöyle yazmıştı:

> İyi bilindiği üzere [Fermilab'ın tasarlanmasında] hem estetik hem de teknik kaygılar ayrılmaz bir biçimde iç içe geçmişti. Ben ayrıca katedralle hızlandırıcı arasında garip bir benzerlik de bulurum: Bir yapının uzayın durmadan yücelen yüksekliklerine ulaşmasına niyetlenilmiştir; diğerinin enerjinin buna uyan yüksekliklerine ulaşmasına. Her iki yapının da estetik çekiciliği öncelikle kesin olarak tekniktir. Katedralde onu sivri kemer inşaatının işlevselliğinde görürüz; basınç ve ona karşı direnç öylesine canlı ve güzel ifade edilmiştir, öylesine dramatik biçimde kullanılmıştır ki. Hızlandırıcıda da teknik bir estetik vardır. Yörüngelerin bir sarmallığı vardır. Elektriksel bir baskı ve manyetik bir karşı direnç vardır. Her ikisi de nihai anlatıma ulaşana dek hep yukarı doğru bir dalga ve işlev içinde çalışırlar ama bu kez ışıldayan parçacıklardan bir ışının enerjisinde ifade bulurlar.
>
> Böyle büyülenerek katedral binasının içine biraz daha yakından baktım. Katedral inşacılarının topluluğuyla hızlandırıcı inşacılarının topluluğu arasında çarpıcı bir benzerlik buldum: Her ikisi de cesur buluşçulardı, her ikisi de ulusal sınırlarda ateşli yarışmacılardı ama yine de her ikisi de temelde uluslararasıcıydılar. Büyük Maître d'Oeuvre'ü St.Denis'li Suger Cambridge'li Cockroft'la ya da Notre-Dame'ın Sully'sini Berkeley'li Lawrence'la ve de Villard de Honnecourt'u Novosibirsk'li Budler'le kıyaslamayı seviyorum.

Buna yalnızca şu daha derin bağlantıyı ekleyebilirim: hem katedraller hem de hızlandırıcılar bir inanç nedeniyle büyük masraflarla inşa edilirler. Her ikisi de ruhsal kalkınma, aşkınlık ve dua dolu bir inanç sağlar. Kuşkusuz katedrallerin tümü çalışmaz.

İşimizde en parlak anlardan biri bu özel günde patronların ekranlara bakarak yönetim masasında oturdukları kalabalık kontrol odasındaki bir sahnedir. Her şey yerindedir. O kadar çok bilimci ve mühendisin o kadar yıllık emeği hidrojen şişesinden çıkıp karmaşık iç

organlardan geçerken izlenen bir ışın olarak yumurtadan çıkmak üzeredir:.. Θ çalışıyor! Işın! Yaşasın demenizden daha kısa süre içinde plastik bardaklara şampanyalar konur, tüm yüzlerde zafer şenliği ve coşku yazılıdır. Kutsal benzetmemizde papazlar, rahipler, kardinaller ve vazgeçilmez kambur sunağın çevresinde gergince çalışıp çalışmayacağını görmek için dikilirken son hayvan başı biçimli oluk ağzını yerleştiren işçileri görürüm.

Bir hızlandırıcının GeV'ları ve diğer teknik yakıştırmaları kadar estetik nitelikleri de söz konusu edilmelidir. Binlerce yıl sonra arkeologlar ve antropologlar kültürümüzü hızlandırıcılarımızla yargılayabilirler. Her şey bir yana onlar uygarlığımızın şimdiye dek inşa ettiği en büyük makinelerdir. Bugün Stonehenge'i ya da Piramitleri ziyaret ediyor ve önce onların güzelliğine ve de onları inşa etmedeki teknolojik başarıya hayran kalıyoruz. Ama onların bilimsel bir amacı da vardır; onlar astronomik cisimleri izlemek için kaba "gözlemevleri"ydiler. O halde eski kültürlerin evreni anlamak ve onunla uyum içinde yaşamak çabasıyla göklerin devinimlerini ölçmek için nasıl da büyük yapılar dikmeye yöneldikleri karşısında da saygıyla durmamız gerekir. Piramitlerde ve Stonehenge'de biçim ve işlev yaratıcılarının bilimsel gerçekleri aramasına izin vermek için birleşmiştir. Hızlandırıcılarımız bizim piramitlerimiz, bizim Stonehenge'lerimizdir.

Üçüncü finalin Fermilab'ın adını aldığı adamla, Enrico Fermi'yle, 1930'ların 40'ların ve 50'lerin en ünlü fizikçilerinden biriyle ilgili olması gerekir. İtalya'da doğmuştu ve Roma'daki çalışması hem deneyde hem de kuramda parlak gelişmelerle doluydu ve de istisnai öğrencilerden oluşmuş bir kalabalık çevresinde toplanmıştı. Adanmış ve doğuştan yetenekli bir öğretmendi. 1938'de Nobel Ödülü'yle ödüllendirildi; o da bu fırsatı faşist İtalya'dan kaçmak için kullandı ve A.B.D.ye yerleşti.

Bilinen ünü II.Dünya Savaşı sırasında Chicago'da ilk zincirleme reaksiyonlu pili inşa eden ekibi yönetmesiyle başlar. Savaştan sonra Chicago Üniversitesinde yine hem kuramcı hem de deneyci öğrencilerden parlak bir grup topladı. Fermi'nin hem Roma döneminden hem de Chicago döneminden öğrencileri dünya çevresine yayılmış ve her yerde en üst mevkileri ve ödülleri kazanmışlardır. Eski bir Aztek atasözü "İyi bir öğretmen kaç tane öğrencisinin Nobel Ödülü

kazandığından bellidir." der.

1954'de Fermi Amerika Fizik Birliğine emeklilik söylevini verdi. Bir saygı ve hiciv karışımıyla yakın gelecekte dünya çevresinde bir yörüngede uzayın doğal boşluğunu kullandıran bir hızlandırıcı inşa edeceğimizi öne sürdü. Ayrıca neşeyle bunun A.B.D. ve SSCB'nin birleşik askeri bütçesiyle inşa edilebileceğini ekledi. Süpermıknatıslar ve benim cep maliyet hesaplayıcısını kullanarak 10 trilyon dolara malolan 50 000 TeV elde ettim, toptan alım indirimleri hariç. Dünyanın aklını başına toplamak için hızlandırıcıların içinde kılıç şakırdatmaktan daha iyi bir yöntem var mı?

• ARASÖZ C •

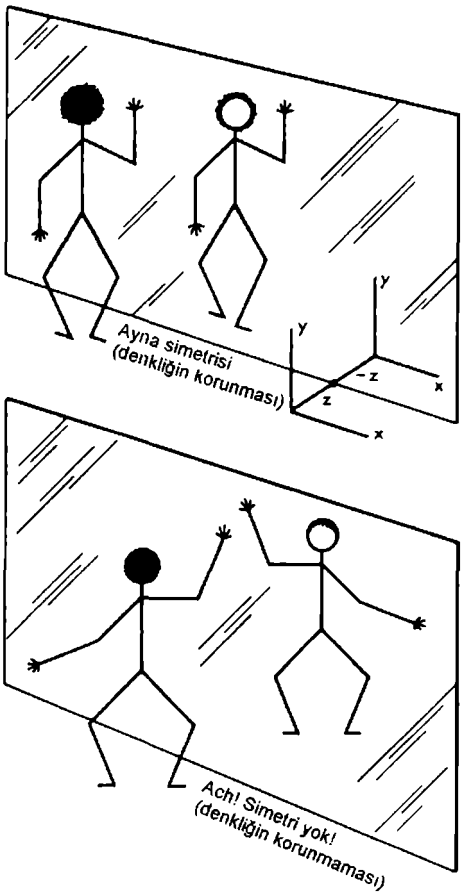
DENKLİĞİ BİR HAFTA SONU NASIL DA İHLAL ETTİK. VE TANRIYI KEŞFETTİK

Tanrının zayıf bir solak olduğuna inanamam.

– Wolfgang Pauli

Kendinize bir aynada bakın. Fena değil ha? Sağ elinizi kaldırdığınızı ve aynadaki imgenizin de sağ elini kaldırdığını hayal edin! Ne? Olamaz. Sol demek istiyorsun! Eğer yanlış el kalkarsa kesinlikle şoka girersiniz. Bildiğimiz kadarıyla insanlarda bu asla olmaz. Ama eşdeğer bir eylem muon denen temel bir parçacıkla olmaktadır.

Ayna simetrisi laboratuarda defalarca test edilmiştir. Ayna simetrisinin bilimsel adı denkliğin korunmasıdır. Bu, önemli bir keşfin ve aynı zamanda gelişmenin, çoğu kez nefis bir kuramın çirkin bir olgu tarafından nasıl da katledildiğini içerdiğinin öyküsüdür. Her şey Cuma öğle yemeğinde başladı ve bir sonraki Salı sabahı sabahın 4'ünde bitti. Doğanın nasıl davrandığına ilişkin çok derin bir anlayışın (zayıf) bir yanlış anlayış olduğu ortaya çıktı. Birkaç yoğun veri toplama saatinden sonra evrenin inşa ediliş biçimine ilişkin anlayışımız sonsuza dek değişmişti. Zarif kuramların yanlışlığı kanıtlanınca düşkırıklığı oluşur. Doğa umduğumuzdan daha sarsak, daha kasvetli görünür. Ama depresyonumuz her şey bilindiğinde daha derin bir güzelliğin ortaya çıkacağı inancıyla hafifler. Ve böylece bu, Hudson üzerindeki Irvingston'da New York kentinin otuz kilometre kuzeyinde 1957 Ocağındaki birkaç gün içinde denkliğin çöküşüyle ilgiliydi.



Fizikçiler simetriyi severler çünkü matematiksel ve sezgisel bir güzelliği vardır. Sanatta simetri Taç Mahal ya da bir Yunan tapınağıyla örneklenebilir. Doğada deniz kabukları, basit hayvanlar ve çeşitli kristaller çok güzel simetrik örüntüler sergilerler, insan bedeninin neredeyse mükemmel iki yanlı simetrisi gibi. Doğanın yasaları yıllardır, hiç değilse Ocak 1957'den öncesine kadar kesin ve mükemmel zannedilen zengin bir simetriler dizisi göstermiştir. Onlar kristalleri, büyük molekülleri, atomları ve parçacıkları kavramamızda çok yararlı olmuşlardır.

AYNADAKİ DENEY

Bu simetrilerden birine ayna simetrisi ya da denkliğin korunması adı verilir ve doğanın –fizik yasalarının gerçek dünyadaki ve aynadaki olaylar arasında fark gözetmeyeceğini öne sürer.

Kayıtlara geçsin diye vereceğim matematiksel olarak doğru ifade, doğanın yasalarını tanımlayan eşitliklerin tüm nesnelerin z koordinatlarını $-z$ ile değiştirdiğimizde değişmeyeceğidir. Eğer z ekseni bir düzlemi belirleyen bir aynaya dikse bu yer değiştirme tam da bir sistem aynada yansıdığı zaman olanları oluşturacaktır. Örneğin siz ya da bir atom bir aynanın önünde 16 birimseniz ayna aynanın öte yanında 16 birimin imgesini gösterecektir. z koordinatını $-z$'yle değiştirmek bir ayna imgesi oluşturur. Ancak eğer eşitlikler bu yer değiştirmeden etkilenmiyorsa (örneğin eğer z koordinatı eşitlikte her zaman z^2 olarak ortaya çıkıyorsa) ayna simetrisi geçerlidir ve denklik korunur.

Eğer laboratuarın bir duvarı bir aynaysa ve laboratuardaki bilimciler deneyleri gerçekleştiriyorlarsa o zaman onların ayna imgeleri de bu deneylerin ayna imgelerini gerçekleştireceklerdir. Hangisinin gerçek laboratuar hangisinin ayna laboratuar olduğuna karar vermenin bir yolu var mı? Alice bazı nesnel testlerle kendisinin nerede (aynanın önünde mi arkasında mı) olduğunu bilebilir miydi? Bir deneyin video bandını izleyen tanınmış bir bilimciler komitesi onun gerçek mi yoksa ayna laboratuarda mı gerçekleştirildiğini söyleyebilirler miydi? Aralık 1956'da şaşmaz yanıt hayırdı. Bir uzmanlar topluluğunun gerçek laboratuarda yönetilen deneylerin ayna imgesini izliyor olduklarını kanıtlamasının hiçbir yolu yoktu. Burada dikkatli bir masum "Ama bakın bu filmdeki bilimcilerin tümünün düğmeleri ceketlerinin sol yanında. Bu ayna görüntüsü olsa gerek." diyebilir. Bilimciler "Hayır" diye yanıtlar "bu sadece bir alışkanlık; doğa yasalarında hiçbir şey düğmelerin sağ tarafta olmasını dayatmıyor. Tüm insan yapmacıklıklarını bir yana atmamız ve filmimizde fizik yasalarına aykırı bir şey olup olmadığını görmemiz gerekir."

Böylece Ocak 1957'den önce ayna imgesi dünyada böyle hiçbir ihlal görülmemişti. Dünya ve onun ayna imgesi doğanın eşit derecede geçerli tanımlanmalarıydı. Ayna uzayda görülen her şey ilke olarak ve

uygulamada laboratuar uzayında yinelenebilirdi. Denklik yararlıydı. Molekülsel, atomsal ve çekirdeksel durumları sınıflandırmamıza yardım ediyordu. Ayrıca işten de tasarruf sağlar. Eğer mükemmel bir insan çıplak ve yarısı düşey bir paravanın arkasında olarak durursa paravanın arkasında ne olduğu hakkında epeyce fazla şey bilirsiniz. Bunlar denkliğin şiiridir.

Ocak 1957 olaylarının daha sonra adlandırıldığı üzere "denkliğin yıkılışı", fizikçilerin nasıl düşündüğünün, şoka nasıl uyum sağladıklarının, kuram ve matematiğin ölçüm ve gözlem rüzgarlarının önünde nasıl eğildiğinin özlü bir örneğidir. Bu öyküde pek de tipik olmayan şey keşfin hızı ve görece basitliğidir.

SHANGHAI CAFE

Cuma, 4 Ocak, öğlen 12. Cuma bizim geleneksel Çin yemeği günümüzdür ve Columbia Üniversitesi Fizik Bölümü fakültesi Profesör Tsung Dao Lee'nin ofisinin dışında toplanırız. Onla on beş arasında fizikçi grup halinde 120'inci Caddedeki Pupin Fizik Binasından aşağı, 125'inci Caddeyle Broadway'in kesiştiği köşedeki Shanghai Cafe'ye gideriz. Yemekler 1953'de Lee Chicago Üniversitesinden oldukça yeni bir Ph.D. ile kuramsal bir superstar olarak yükselen bir ünle Columbia'ya geldiğinde başladı.

Cuma öğle yemeklerini niteleyen şey bazen üçü dördü aynı anda olan ve çok tatmin edici kış kavunu çorbası höpürtüleriyle ve yılan etli phoenix, karides köftesi, deniz hıyarı ve kuzey Çin mutfağının 1957' de henüz moda olmamış ekzotikliklerine övgülerle kesilen sınırsız gürültülü söyleşilerdi. Daha yokuşu inerken bu Cuma konunun denklik ve Washington'da Standartlar Bürosunda bir deney yürüten Columbia'lı meslektaşımız C.S.Wu'dan gelen taze haberler olacağı belliydi.

Ciddi öğle tartışması içine girmeden önce T.D.Lee öğle yemeği menüsünü saygılı garson yöneticinin sunduğu küçük bir not defterinde düzenleme biçimindeki haftalık ayinini tamamladı. T.D. bir Çin menüsünü çok havalı bir tarzda düzenlerdi. Bu bir sanat biçimiydi. Menüye bakar, not defterine bakar, garsona aristokrat Çincesiyle bir

soru fırlatır, kaşlarını çatar, kalemini defterin üzerine yerleştirir, özenle birkaç simge çizer. Başka bir soru, bir simgede değişiklik, ilahi yardım için kabartmalarla süslü teneke tavana bir bakış sonra da hızlı bir yazı sağanağı. Son bir gözden geçirme: her iki el not defterinin üzerine bırakılmış birinin parmakları açık diğeri kalemin dibini tutmakta. Her şey tamam mı? Yin ve yang, renk, doku ve çeşni uygun bir denge içinde mi? Defter ve kalem garsona verilir ve T.D. söyleşinin içine dalar.

"Wu telefon etti ve ön verilerinin devasa bir etkiyi işaret ettiğini söyledi!" dedi heyecanla.

Bir duvarı bir ayna olan laboratuara (Tanrı'nın yarattığı gibi gerçek dünyaya) geri dönelim. Bizim normal deneyimimiz aynaya ne tutarsak tutalım laboratuarda ne deney yaparsak yapalım –saçma, parçacıklar üretme, Galileo'nunki gibi yerçekimi deneyleri– tüm ayna laboratuar yansımaları laboratuara egemen olan aynı doğa yasalarına uyacaktır. Şimdi denkliğin ihlalinin nasıl gösterileceğini görelim. El yeğlemesine yönelik en basit nesnel test, Twilo gezegeni sakinleriyle iletişebildiğimiz bir konu sağlak bir makine vidasını kullanır. Yarık ucuna yüzünüzü döndüğünüzde vidayı "saat yönünde" döndürün. Eğer vida bir tahta blokta ilerlerse o sağlak diye tanımlanır. Doğal olarak ayna imgesi solak bir vida gösterecektir çünkü aynadaki adam onu saatin tersi yönüne çevirecek ama o hâlâ ilerleyecektir. Şimdi varsayın ki (bazı Uzay Yolu evrenlerinde olduğu gibi) öyle garip bir dünyada yaşıyoruz ki solak bir vida yapmak olanaksızdır – fizik yasalarına aykırıdır. Ayna simetrisi yıkılacaktır; sağlak bir vidanın ayna imgesi var olamayacaktır ve de denklik ihlal edilecektir.

Bu, Lee ile Princeton'daki meslektaşı Chen Ning Yang'ın zayıf kuvvet süreçleri için yasanın geçerliliğini sınamayı nasıl önerdiklerine giriştir. Bir sağlak (ya da solak) parçacığın eşdeğerine gereksiniriz. Makine vidası gibi bir *devir*le *devinim* yönünü birleştirmemiz gerekir. Dönen bir parçacık göz önüne getirin – ona muon diyelim. Kendi ekseni çevresinde dönen bir silindir gibi düşünün onu. *Devri* vardır. Silindir-muonun uçları aynı olduğu için saat yönünde mi yoksa saatin

tersi yönünde mi döndüğüne söyleyemeyiz. Bunu anlamak için silindiri sizinle sizin önde gelen muhalifinizin arasına yerleştirin. Siz onun sağa, saat yönünde döndüğüne yemin ederken o da sola döndüğünde diretecektir. Ve tartışmayı sona erdirmenin hiçbir yolu yoktur. Bu denkliği koruyan bir durumdur.

Lee ile Yang'ın dehası dönen parçacığın parçalanmasını inceleyerek (incelemek istedikleri) zayıf kuvveti ortaya çıkarma içindi. Muonun bir parçalanma ürünü bir elektrondur. Doğanın elektronların silindirin yalnızca bir ucundan çıkmasını dayattığını varsayın. Bu bize bir *yön* verir. Ve artık dönüşün *yönünü* –saat yönünde ya da saatin tersi yönde– belirleyebiliriz çünkü bir uç belirlenmiştir (elektronlar buradan çıkmaktadır). Bu uç makine vidasının sivri ucunun rolünü oynamaktadır. Elektrona göre dönme yönü makine vidasının sivri ucuna göre dönme yönünde olduğu gibi sağlaksa sağlak bir muon tanımlarız. Şimdi *eğer* bu parçacıklar her zaman sağlaklığı belirleyecek biçimde parçalanırsa ayna simetrisini ihlal eden bir parçacık sürecimiz olur. Bu eğer muonun dönme eksenini aynamıza paralel olarak yerleştirirsek görülebilir. Ayna imgesi solak bir muondur – *ki o da yoktur.*

Wu'ya ilişkin söylentiler Christmas tatilinden önce başlamıştı ama Yılbaşından sonraki Cuma Fizik Bölümünün tatillerden sonraki ilk biraraya gelişiydi. 1957'de benim gibi Columbia'da bir profesör olan Chien Shiung Wu çok donanımlı bir deneysel bilimciydi. Uzmanlığı çekirdeklerin radyoaktif parçalanmasıydı. Öğrencilerine ve doktoralı yardımcılarına karşı sert, son derece enerjik, sonuçlarını değerlendirmede dikkatliydi ve yayınladığı verileri nedeniyle çok takdir edilen biriydi. Öğrencileri (tabii arkasından) onu Generalissimo Mme. Chiang Kai-shek diye adlandırırlardı.

Lee ve Yang 1956 yazında denkliğin korunması konusunda birbirleriyle çekişirken Wu neredeyse ansızın harekete geçti. Çalışma nesnesi olarak kararsız bir madde olan Cobalt-60 çekirdeğini seçti. Cobalt-60 çekirdeği kendiliğinden bir nikel çekirdeği, bir nötrino ve bir artı elektrona (bir pozitrona) değişir. İnsanın "gördüğü" şey cobalt çekirdeğinin ansızın bir artı elektron fırlattığıdır. Bu tür radyoaktivite beta parçalanması olarak bilinir çünkü ister eksi ister artı olsun süreç

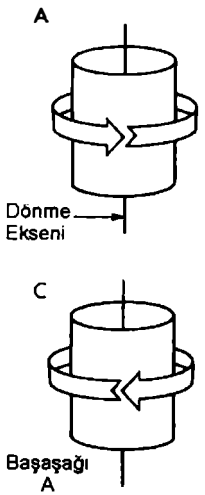
sırasında yayılan elektronlar özgün olarak beta parçacıkları olarak adlandırılmıştır. Bu neden olur? Fizikçiler onu zayıf etkileşim diye adlandırırlar ve doğada bu reaksiyonları doğuran bir kuvvetin işlediğini düşünürler. Yalnızca çeken ve iten, cezbeden ve geri püskürten değil aynı zamanda cobaltın nikele dönüştüğü ve leptonlar yaydığı süreç gibi türleri değiştiren kuvvetler. 1930'lardan beri pek çok reaksiyon zayıf kuvvetlere atfedilmiştir. Büyük İtalyan-Amerikalı Enrico Fermi, zayıf kuvveti, cobalt-60'la ortaya çıkan türde reaksiyonların çoğunu tahmin etmesine olanak veren matematiksel bir biçime yerleştiren ilk kişiydi.

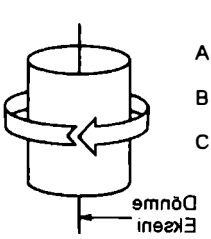
Lee ve Yang 1956'daki "Zayıf Kuvvetle Denkliğin Korunması Sorunu" adlı makalelerinde bir çok reaksiyonu seçtiler ve zayıf kuvvetin denkliğe –ayna simetrisine– uymama olasılığının deneysel yansımalarını incelediler. Dönen bir çekirdekten fırlatılan elektronların yönüyle ilgilendiler. Eğer elektron bir yönü diğerine yeğlerse bu cobalt çekirdeklerine düğmeli gömlek giydirmek gibi bir şey olurdu. İnsan hangisinin gerçek deney, hangisinin ayna imgesi olduğunu söyleyebilirdi.

Büyük bir fikri rutin bir çalışma parçasından ayırt eden nedir? Benzer sorular bir şiir, bir resim, bir müzik parçası için de –nefesinizi tutun, aslında bir resmi belge için bile– sorulabilir. Sanat olgularında nihai kararı verecek olan zamandır. Bilimde bir fikrin "doğru" olup olmadığını deneyler belirler. Eğer parlak bir fikirse yeni bir araştırma alanı açılır, bir yeni sorular yığını doğar ve bir sürü eski soru gömülür.

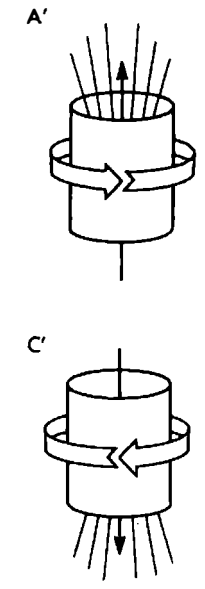
T.D.Lee'nin aklı ince biçimlerde çalışırdı. Bir yemek ısmarlarken ya da Çin vazoları veya bir öğrencinin yetenekleri üzerine fikrini bildirirken sözleri keskin olurdu, tıpkı traşlanmış mücevherler gibi. Lee ve Yang'ın denklik makalesinde (Yang'ı bu kadar iyi tanımıyorum) bu kristalleşmiş fikrin bir çok keskin yüzü vardı. Yerleşik bir doğa yasasını sorgulamak epeyce Çinli efeliği gerektirir. Lee ve Yang "yerleşik" denklik yasasına yol açan büyük miktarda verinin radyoaktif parçalanmaya yol açan doğa parçası, zayıf kuvvet, için geçersiz olduğunu fark ettiler. Bu başka bir parlak, keskin kenardı: burada, bildiğim kadarıyla ilk kez, farklı doğa kuvvetlerinin farklı koruma yasaları olmasına izin veriliyordu.

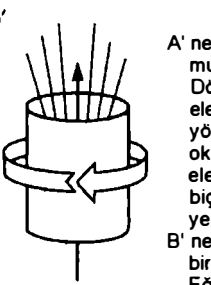
Laboratuar Ayna laboratuar





A nesnesi dönen bir parçacığı temsil eder.
B Nesnesi bir ayna imgesidir.
C Nesnesi başaşağı A'dır ve B'nin aynısıdır; bu nedenle B doğada bulunan bir nesneye uyar ve ayna simetrisine uyulmuş olur.





A' nesnesi parçalanan bir muonu göstermektedir. Dönme ekseninin şimdi elektronların yayılma yönünü gösteren bir oku vardır. Işınlar elektronların güçlü bir biçimde "sağlaklığı" yeğlediğini belirtmektedir.
B' nesnesi, ayna imgesi solak bir parçalanan muondur. Eğer deney tüm muon parçalanmalarının sağlak olduğunu gösterirse B' doğada var olmaz. Örneğin A' yü başaşağı çevirmek (C') B'yü yinelemez. Ayna simetrisi ihlal edilmiştir.

Lee ve Yang kolları sıvadılar, esinlenmeleri üzerine ter döktüler ve ayna simetrisini sınamak için uygun adayları temsil eden çok sayıda radyoaktif parçalanma reaksiyonunu incelediler. Makaleleri kafasız deneycilerin ayna simetrisinin geçerliğini sınayabilecekleri uygun reaksiyonların titizce ayrıntılı analizlerini sağladı. Wu cobalt reaksiyonu kullanarak bunlardan birini geliştirdi. Yaklaşımının anahtarı cobalt çekirdeklerinin –ya da hiç değilse onların önemli bir kesiminin– aynı yönde döndüğünden emin olmaktı. Wu bunun cobalt-60 kaynağının çok düşük ısılarda bulundurulmasıyla sağlanabileceği sonucuna vardı. Wu'nun deneyi son derece özenliydi ve bulunması zor soğutma aygıtları gerektiriyordu. Bu onu dönme düzenleme tekniğinin çok gelişmiş olduğu Standartlar Bürosuna yöneltti.

O Cuma sondan bir önceki yemek siyah fasulye sosunda taze soğan ve pırasayla pişirilmiş büyük bir sazandı. Lee'nin anahtar bilgiyi yeniden dile getirmesi bunun servisi sırasında oldu: Wu beklenenden daha fazla, on kat fazla sonuç gözlemlemişti. Veriler söylentiydi, deneme kabilindendi bu yüzden de ön veriydi ama (T.D. yanakları sevdiğimi bildiği için bana balığın kafasını verdi) sonuç bu kadar büyükse iki öğe nötrinolar olsaydı neler umabilirdik... Onun heyecanının geri kalanını kaçırdım çünkü aklımda bir fikir belirmeye başlamıştı.

Yemekten sonra bir seminer, bazı bölüm toplantıları, bir çay partisi ve bir sınav vardı. Tüm bu etkinlikler boyunca Wu'nun "büyük bir sonuç" görüyor olması kavramıyla dikkatim dağınıktı. Lee'nin Brookhaven'da Ağustos'taki konuşmasında pionlar ve muonlar parçalanırken öngörülen denklik ihlallerinin yaratacağı sonuçların küçük olması gerektiğinin varsayıldığını anımsadım.

Büyük sonuç? Ağustosta "pi-mu" (pion-muon) parçalanma zincirine kısaca bakmış ve akla yakın bir deney tasarlamak için insanın *iki* ardarda reaksiyonda denklik ihlali elde etmesi gerektiğinin ayırdına varmıştım. Ağustos'ta deneyin başarı şansının sınırda ya da daha az olduğuna karar vermeden önce yaptığımız hesaplamaları anımsamayı sürdürdüm. Ama eğer sonuçlar büyükse...

Akşam saat 6'ya doğru Dobbs Ferry'de yemek yemek sonra da Hudson üzerinde Irvington'daki Nevis Laboratuarında mezuniyet öğrencimle sakin bir akşam vardiyası geçirmek üzere arabamla kuzeye gidiyordum. 400 MeV'luk Nevis, mezonların, 1950'lerde oldukça yeni olan parçacıkların üretimi ve incelenmesi için bir dolap beygiriydi. O mutlu günlerde kaygılanacak çok az mezon vardı ve Nevis muonlar kadar pionları da dert ediyordu.

Nevis'te protonlar tarafından bombardıman edilen bir hedeften çıkan yoğun pion ışınlarımız vardı. Pionlar kararsızdı ve hedeften başlayıp hızlandırıcıdan, koruyucu duvarlardan geçip deney salonuna kadar süren uçuşları sırasında yüzde yirmi kadarı bir muon ve bir nötrinoya zayıf parçalanmadan geçer.

$$\pi \rightarrow \mu + \nu \text{ (uçuşta)}$$

Muonlar genellikle ebeveyn pionlarla aynı yönde yolculuk yaparlar. Eğer denklik yasası ihlal edilseydi dönme eksenleri muonun devinim yönünde olan muonların dönme ekseni uçuş yönünün tersine olan muonlardan fazla olması gerekirdi. Eğer sonuç *büyükse* doğa bize tümü de aynı yönde dönen bir parçacıklar örneği sağlayabilirdi. Bu Wu'nun Cobalt-60'ı manyetik bir alanda son derece düşük ısılarla soğutarak örgütlemek zorunda olduğu ortamdı. Anahtar, dönme yönleri bilinen muonların bir elektron artı bazı nötrinolara parçalanmasını gözlemekti.

DENEY

Cuma akşamı Saw Mill River Parkway'de kuzeye doğru ilerleyen yoğun trafik. Hudson Nehri boyunca kıvrılıp Riverdale'i Yonkers'i geçtikten sonra kuzeye dönen bu yolu sınırlayan güzel ormanlık tepeleri karanlığa boğar. "Büyük sonuç" olasılığının ima ettiklerinin kafamda belirmesi bu yol üzerinde bir yerlerde oldu. Dönen bir nesne olgusunda dönme ekseninin herhangi bir yönü parçalanma sırasında yeğlenirse sonuç budur. Küçük bir sonuç 1030 elektron bir yöne yayılırken 970'inin diğer yöne yayılması olurdu ve bunu belirtmek

çok zor olurdu. Ama büyük bir sonucu, diyelim 1500'e karşı 500'ü bulmak daha kolay olacaktı ve aynı şanslı büyüklük muonların dönüşünü örgütlemeye de yardım edecekti. Deneyi yapmak için aynı yönde dönen bir muonlar örneğine gereksinimimiz vardı. Siklotrondan bizim aygıtımıza doğru devinecekleri için muonların devinim yönünü muon dönüşü için bir "başparmak" olarak kullanarak çoğu muonların sağlak (ya da solak, fark etmez) olmasını gereksiniriz. Muonlar birkaç sayacın içinden geçip bir karbon bloğa ulaşır ve onun içinde dururlar. Sonra da kaç elektronun muonların yönünde kaçının ters yönde ortaya çıktığını sayarız. Anlamli bir farklılık denklik ihlalinin kanıtı olacaktır. Şan ve şöhret!

Ansızın her zamanki Cuma gecesi dinginliğim deneyi basitçe yapabileceğimiz düşüncesiyle alt üst oldu. Benim mezuniyet öğrencim Marcel Weinrich muonlarla ilgili bir deney üzerinde çalışıyordu. Onun deney kurgusu küçük değişikliklerle büyük bir sonucu görmek için kullanılabilirdi. Columbia hızlandırıcısında muonların yaratılma yolunu gözden geçirdim. Birkaç yıl önce ben atılgan bir mezuniyet öğrencisi makine de yepyeniyken John Tinlot'la birlikte dış pion ve muon ışınlarının tasarımı üzerinde çalıştığım için bu konuda bir tür uzmandım.

Zihnimde tüm süreci görselleştirdim: hızlandırıcı, 4000 tonluk bir mıknatıs yaklaşık 50 santim çaplı dairesel kutup parçalarıyla büyük bir havası boşaltılmış paslanmaz çelik kutuyu, boşluk odasını sandviç yapar. Bir proton nehri ince bir tüpten mıknatısın merkezine enjekte edilir. Protonlar güçlü bir radyo frekansı voltajı her dönüşte onları tekmelerken dışa doğru bir sarmal çizerler. Sarmal yolculuklarının sonuna doğru parçacıkların 400 MeV enerjileri vardır. Odanın kıyısının yakınında neredeyse mıknatısın dışına çıkacağımız yerde bir parça grafit taşıyan küçük bir çubuk enerjik protonlar tarafından bombardıman edilmeyi bekler. Onların 400 milyon voltu grafit hedefteki bir karbon çekirdeğiyle çarpıştıklarında yeni parçacıklar –pionlar– yaratmaya yeter.

Zihnimin gözünde protonun darbesinin momentiyle ileriye püsküren pionları görebiliyordum. Güçlü siklotron mıknatısının kutupları arasında doğduklarından hızlandırıcının dışına doğru giderek büyüyen bir yay çizerler ve yok olma danslarını yaparlar; onların

yerinde pionların özgün devinimini paylaşan muonlar ortaya çıkar. Kutup parçalarının dışında hızla kaybolan manyetik alan muonların bir kanaldan üç metre kalınlığında beton bir kalkanın içine oradan da *bizim* beklemekte olduğumuz deney salonuna süpürülmesine yardım eder.

Marcel'in kurduğu deneyde muonlar yedibuçuk santim kalınlığında bir filtrede yavaşlayacak sonra dinlenmek üzere çeşitli elementlerden iki buçuk santim kalınlığında bloklara getirilecekti. Muonlar malzemenin içindeki atomlarla zarif çarpışmalar yoluyla enerjilerini yitirecek ve sonunda artı çekirdekler tarafından yakalanacaktı. Hiçbir şeyin muonların dönme yönünü etkilemesini istemediğimiz için yörüngelere hapsolmak öldürücü olabilirdi bu yüzden artı muonlara yöneldik. Artı yüklü muonlar ne yapacaktı? Olasılıkla bloğun içinde sakince dönerek parçalanma zamanları gelene dek oturacaklardı. Blok malzemesi özenle seçilmeliydi ve karbon uygun gibi görünüyordu.

Şimdi de Ocakta bir Cuma akşamı kuzeye doğrulmuş sürücünün kafasındaki anahtar düşünce geliyor. Eğer pionların parçalanmasından doğan muonların tümünün (ya da hemen hemen tümünün) bir biçimde aynı yöne ayarlanmış dönme eksenleri olabilseydi bu denklik piondan muona dönüşüm reaksiyonunda ihlal edilmiş olurdu hem de güçlü biçimde. Büyük sonuç! Şimdi dönme ekseninin muon kanalın içinden makinenin dışına doğru zarif yayını süpürürken muonun devinim yönüne paralel kaldığını varsayın. (Eğer g 2'ye yakın olursa olacak şey tam olarak budur.) Şimdi de karbon atomlarıyla muonu giderek yavaşlatan sayısız zarif çarpışmanın dönme ve yön arasındaki bu ilişkiyi bozmadığını varsayın. Eğer tüm bunlar gerçekten olsaydı *mirabile dictu!*[1] Elimde bir blokta dinlenmeye gelen ve tümü aynı yönde dönen muonlardan bir örnek olurdu.

Muonun iki mikrosaniyelik ömrü yeterliydi. Bizim deneyimiz zaten parçalanan muonlardan çıkan elektronları taramak için hazırlanmıştı. Dönme ekseninin belirlediği iki yönden eşit sayıda elektron çıkıp çıkmadığını görmeye çalışabilirdik. Ayna simetrisi testi. Eğer sayılar eşit değilse denklik ölür! Ve onu ben öldürdüm! Hırr!

---

[1] *[(Lat.) Hayret -çev.]*

Başarılı bir deney için iki mucizenin bir araya gelmesi gerekecek gibiydi. Ağustosta Lee ve Yang bildirilerini sundukları zaman bizim cesaretimizi kıran bu diziydi. Bir küçük sonuç sabırla yenilebilirdi ama ardarda gelen iki küçük sonuç –diyelim yüzde birin yüzde biri– deneyi umutsuz kılacaktı. Neden ard arda iki küçük sonuç? Anımsayın doğa çoğu aynı yönde dönen muonlara parçalanan pionlar sağlamak zorundaydı (bir numaralı mucize). Ve de muonlar muonun dönme eksenine göre gözlemlenebilir bir asimetri ile elektronlara parçalanmalıydı (iki numaralı mucize).

Yonkers gişelerine doğru (1957, geçiş ücreti iki cent) iyice heyecanlanmıştım. Eğer denklik ihlali büyükse muonların kutuplaşacağından (dönmelerin tümünün aynı yönü göstereceğinden) oldukça emindim. Muonun dönmesinin manyetik özelliklerinin manyetik alan etkisi altında dönmeyi parçacığın devinim yönüne "kenetleyecek" biçimde olduğunu da biliyordum. Muon enerji soğuran grafite girince ne olup bittiğinden o kadar emin değildim. Eğer yanılıyorsam muon dönme ekseni çeşitli yönlerde bükülecekti. Eğer bu olursa dönme eksenine göreceli elektron yayılımını gözlemlemenin hiçbir yolu olmayacaktı.

Şuna bir daha bakalım. Pionların parçalanması devindikleri yönde dönen muonlar doğurur. Bu mucizenin bir parçası. Şimdi parçalanma sırasında yaydıkları elektronların yönünü gözlemleyebilelim diye muonları durdurmamız gerekir. Karbon bloğuna çarpmadan hemen önce devinim yönünü bildiğimiz için eğer hiçbir şey onları bozmasa durdukları ve parçalandıkları sırada dönme yönlerini biliriz. Şimdi tüm yapmamız gereken ayna simetrisini sınamak için elektron tarama kolumuzu muonların dinlendikleri blok çevresinde döndürmek.

Ne yapmamız gerektiğini gözden geçirirken avuçlarım terlemeye başladı. Sayaçların tümü vardı. Yüksek enerjili muonun varışını şimdi yavaşlamış olan muonun grafit bloka girişini haber veren elektronik yerli yerindeydi ve iyice sınanmıştı. Muon parçalanmasından sonra ortaya çıkan elektronları taramak için dört sayaçlık bir "teleskop" da vardı. Tüm yapmamız gereken bunları durdurucu blokun merkezi çevresinde döndürmemize olanak verecek bir tahtaya monte etmekti. Bir ya da iki saatlik çalışma. Wow! Uzun bir gece olacağına karar verdim.

Hızlı bir akşam yemeği ve çocuklarla biraz oynaşmak için eve uğradığımda IBM'de bir fizikçi olan Richard Garwin'den telefon geldi. Garwin o sırada Columbia kampüsü dışında olan IBM araştırma laboratuarında atom süreçleri üzerine araştırma yapıyordu. Dick bir süre Fizik Bölümüne takılmıştı ama Çin yemeğini kaçırmıştı ve Wu'nun deneyi üzerine son durumu öğrenmek istiyordu.

"Hey Dick, denklik ihlâlini düşleyebileceğin en basit biçimde nasıl test edeceğimize ilişkin büyük bir fikrim var" diye çabucak açıkladım ve "Neden laboratuara gelip bize bir el vermiyorsun?" dedim. Dick, Scarsdale'in yakınlarında oturuyordu. Akşam 8'e doğru kafası karışmış ve alt üst olmuş bir mezuniyet öğrencisinin aygıtını sökmüştük. Marcel, Ph.D. tezi deneyinin dağıtıldığını gördü. Dick varsayılan dönme ekseni çevresinde elektron dağılımını saptayabilelim diye elektron teleskopunu döndürme sorunuyla uğraşmaya atandı. Basit bir problem değildi çünkü teleskopla çevrede güreşmek muonlara olan uzaklığı böylece de taranan elektronlar ürününü değiştirebilirdi.

Bundan sonra ikinci anahtar fikir Dick Garwin tarafından icat edildi. Bak dedi, bu ağır sayaçlar platformunu çevrede hareket ettirmek yerine onu yerinde bırakalım ve muonları bir mıknatıs içinde döndürelim. Ortaya atılan fikrin basitliği ve mükemmelliği karşısında soluğum kesildi. Tabii ya! Dönen bir yüklü parçacık minik bir mıknatıstır ve muon mıknatısa etki eden mekanik kuvvetler onu sürekli olarak döndürmedikçe bir manyetik alan içinde pusula iğnesi gibi dönecektir. Fikir derin olmayacak kadar basitti.

Makul bir sürede muonları 360 derece döndürmek için gerekli manyetik alan değerini hesaplamak bir dilim kekti. Bir muon için makul süre nedir? Pekala, muonlar 1.5 mikrosaniyelik bir yarılanma ömrü içinde elektronlara ve nötrinolara parçalanırlar. Yani 1.5 mikrosaniyede muonların yarısı parçalanmış olur. Eğer muonları çok yavaş, diyelim her mikrosaniyede 1 derece döndürürsek birkaç derece dönmeden muonların çoğu yok olacak ve biz deneyimizin tüm temelini yitirecek ve sıfır derece ürünü ile 180 derece ürününü kıyaslayamayacaktık –yani muon'un "tepe"sinden çıkan elektronlarla "dibinden" çıkan elektronları. Eğer dönme hızını güçlü bir manyetik alan uygulayarak diyelim her mikrosaniyede 1000 dereceye yükseltirsek dağılım tarayıcının önünden öyle hızla geçerdi ki

bulanıklaşmış bir sonuç elde ederdik. İdeal dönme hızının mikrosaniye başına 45 derece olduğuna karar verdik.

Gerekli manyetik alanı bir silindir üzerine birkaç yüz kez bakır tel sarıp telden birkaç amperlik akım geçirerek sağlayabildik. Bir Lucite tüpü bulduk. Marcel'i depoya tel bulmaya gönderdik, grafit durdurma bloğunu silindirin içine sığsın diye kısalttık ve telleri uzaktan kontrol edilebilen bir güç kaynağına (rafta bir tane vardı) çengelledik. Gece geç saat etkinliğinin bulanıklığı içinde gece yarısına doğru her şeyi hazırladık. Acelemiz vardı çünkü hızlandırıcı Cumartesi sabah 8'de her zaman bakım ve onarım için kapatılırdı.

Sabah 1'e doğru sayaçlar verileri kaydediyordu; yığılma kütükleri çeşitli yönlerde yayılan elektronların sayısını kaydetti. Ama anımsayın Garwin'in şemasında bu açıları doğrudan ölçmedik. Muonlar ya da daha doğrusu onların dönme ekseni vektörleri bir manyetik alanda dönerken elektron teleskopu sabit kaldı. Bu nedenle elektronların varış *zamanları* şimdi yönlerine uyuyordu. Zamanı kaydederek yönü kaydediyorduk. Kuşkusuz birçok sorunumuz vardı. Bize hedefi vuran olabildiğince çok proton versinler diye hızlandırıcı operatörlerinin başının etini yedik. Gelen ve duran muonları saptayan tüm sayaçların ayarlanması gerekiyordu. Muonlara uygulanan küçük manyetik alan denetlenmeliydi.

Birkaç saatlik veri alımından sonra dönmeye göre sıfır dereceden yayılan elektron sayısıyla 180 dereceden yayılanlar arasında belirgin bir fark gördük. Veriler çok kabaydı ve biz heyecanlı bir iyimserlikle kuşkuculuğu karıştırıyorduk. Verileri ertesi sabah sekizde incelediğimizde kuşkuculuğumuz desteklendi. Şimdi veriler çok daha az inandırıcıydı; her yöndeki yayılımın eşdeğer –ayna simetrisinin belirteci– olduğu hipotezine hiç de aykırı değildi. Hızlandırıcı operatörlerine bize fazladan bir dört saat vermeleri için yalvarmıştık ama boşuna. Program programdır. Cesaretimiz kırılmış olarak aşağıya aygıtın kurulu olduğu hızlandırıcı odasına indik. Orada bizi küçük bir felaket karşıladı. Üzerine tel sardığımız Lucite silindiri tellerdeki akımın ürettiği ısı yüzünden eğrilmişti. Bu eğrilme durdurucu bloğun düşmesine izin vermişti. Açık olarak muonlar artık onlar için düzenlediğimiz manyetik alanın içinde değildiler. Biraz yakındıktan sonra (mezuniyet öğrencisinin suçu!) neşelendik. Başlangıçtaki izlenimimiz hâlâ doğru

olabilirdi!

Hafta sonu için bir plan yaptık. Uygun bir manyetik alan tasarla. Duran muon sayısını ve sayılan parçalanma elektronları kesimini arttırarak veri hızını arttırma üzerine düşün. Artı yüklü muonlara dinlenmeye doğru yollarındaki çarpışmalarında ve karbon atomlarından kafeslerindeki mikrosaniyelerde ne olup bittiği üzerine düşün. Her şey bir yana, eğer artı yüklü bir muon grafit içinde serbestçe dolaşan bir çok elektrondan birini yakalarsa elektron kolayca onu kutupsuzlaştırabilirdi (dönmesini bozabilirdi) öyle ki ardarda ilerlerken tümü aynı şeyi yapamaz hale gelirlerdi.

Üçümüz öğleden sonra 2'de yeniden biraraya gelmeden önce birkaç saat uyumak için eve gittik. Hafta sonu boyunca her birimiz ayrı bir görevde çalıştık. Ben parçalanan ebeveyn pionundan ileriye fırlatılan muonun doğumundan, kanala doğru süpürülmesine ve beton duvardan aygıtımıza kadar devinimini yeniden hesaplamayı üstlendim. Dönme yönünün izini sürdüm. Ayna simetrisinin maksimum ihlalini varsaydım öyle ki muonların tümü kesinlikle devinim yönleri boyunca döneceklerdi. Her şey eğer ihlal büyük olursa, maksimum yarısı bile olsa salınan bir eğri göreceğimize işaret ediyordu. Bu yalnızca denklik ihlalini kanıtlamayacak denkliğin yüzde 100'den aşağı (hayır! hayır!) sıfıra ne kadar ihlal edildiğinin sayısal bir sonucunu verecekti. Size bilimcilerin tutkusuz soğukça nesnel olduğunu kim söylediyse aklını kaçırmıştır. Denkliğin ihlal edildiğini görmeyi umutsuzca arzuluyorduk. Denklik genç bir hanım değildi, biz de yeni yetmeler değildik ama şehvetle bir keşif yapmak istiyorduk. Bilimsel nesnelliğin sınanması tutkunun yöntembilimi etkilemesine izin vermemek ve özeleştiridir.

Lucite silindirden kaçınan Garwin bir bobini doğrudan yeni bir parça grafitin üzerine sardı ve sistemi gereksindiğimizden iki kat yüksek akımlarla sınadı. Marcel sayaçları yeniden düzenledi hizayı düzeltti. Tüm sayaçların etkinliğini arttırdı ve tüm bunları yaparken bu çılgınca etkinlikten yayınlanabilir bir şeyler çıksın diye dua etti.

Çalışma yavaş gitti. Pazartesi sabaha doğru yoğun faaliyetimizden bazı haberler operatör takımına ve bazı meslektaşlarımıza sızmıştı. Hızlandırıcı bakım çetesi makinede bazı ciddi problemler buldular bu yüzden Pazartesi boş geçti –en iyimser tahminle Salı sabah 8'e kadar

ışın yok. Tamam burnundan solumak, vıdı vıdı etmek, sınamak için daha çok zaman. Columbia kampüsünden meslektaşlar Nevis'e ulaştılar, neyle uğraştığımızı merak ediyorlardı. Çin yemeğinde bulunan zeki bir genç adam birkaç soru sordu ve benim içten olmayan yanıtlarımdan denklik deneyiyle uğraştığımızı çıkardı.

"Asla çalışmayacak" diye bana güvence verdi "Muonlar grafit filtresi içinde enerji yitirirken kutupsuzlaşacaklar." Kolayca çöküntüye girdim ama cesaretim kırılmadı. Bilge öğretmenim Columbia'nın büyük bilgini I.I.Rabi'nin bize söylediklerini anımsadım: dönme çok kaygan bir şeydir.

Pazartesi öğleden sonra 6 sıralarında programdan önce makine hayat belirtileri göstermeye başladı. Hazırlıklarımızı hızlandırdık, tüm aygıtlar ve düzenlemeleri kontrol ettik. Ben narin bakır tel ambalajıyla on santimlik bir tahtanın üzerinde oturan hedefin biraz alçak göründüğünü fark ettim. Bir gözlem alanındaki biraz şaşılık beni doğruladı ve onu iki buçuk santim yükseltecek bir şey arandım. Bir köşede yarı yarıya ağaç vidalarla dolu bir Maxwell House kahve tenekesi gördüm ve onu on santimlik tahtanın yerine geçirdim. Mükemmel! (Sonradan Smithsonian Enstitüsü deneyi yinelemek için kahve tenekesini istediğinde bulamadık.)

Operatörler makinenin çalıştırılmak üzere olduğunu ve tüm deneycilerin hızlandırıcı odasını terketmeleri gerektiğini (yoksa kızaracaklarını) ilan ettiler. Dik demir merdivenlere koşuştuk ve otoparktan geçip tarayıcılardan gelen kablonun devrelerin, oranlayıcıları, osiloskopları içeren raflara bağlı olduğu laboratuar binasına gittik. Garwin saatler önce evine gitmişti; ben de Marcel'i ben tarayıcılardan gelen elektronik sinyallerle bir sınama yordamını uygularken yiyecek bir şeyler almaya gönderdim. Gerekli tüm bilgiyi not etmek için büyük, kalın bir not defteri kullanıldı. Neşeli duvar yazılarıyla süslenmişti –"Oh. Bok!" "Kahve makinesini kapatmayı hangi hayvan unuttu?" "Karım aradı"– yapılacak, yapılmış şeyler, devrelerin durumu da yazılıydı ("3 No.lu oranlayıcıya dikkat et. Kıvılcım atlatıyor ve sayımı kaçırıyor.")

Akşam 7.15'de proton yoğunluğu standarda ulaşmıştı ve pion üreten hedef uzaktan kumandayla konumuna yerleştirildi. Ansızın oranlayıcılar ulaşan parçacıkları saymaya başladılar. Muonlar dur-

duktan sonra değişik aralıklarla yayılan elektronların sayısını saptayan hayati oranlayıcı dizisine baktım. Sayılar henüz pek küçüktü. 6, 13, 8...

Garwin aşağı yukarı 9.30'da geldi. Biraz uyumaya ve onu sabah 6'da serbest bırakmaya karar verdim. Eve giderken arabayı çok yavaş sürdüm; yaklaşık yirmi saattir ayaktaydım ve yemek yiyemeyecek kadar yorgundum. Telefon çaldığında sanki kafamı yastığa yeni koymuştum. Saat sabahın 3'üydü. Garwin'di. "Gelsen iyi olur. Başardık!"

3.25'te laboratuarın önüne park ettim ve içeri daldım. Garwin oranlayıcıların okuma değerlerini gösteren kâğıt şeritleri deftere yapıştırmıştı. Sayılar çıldırtıcı derecede açıktı. Sıfır derecede 180 derecedekinin iki katından fazla elektron yayılmıştı. Doğa sağlak bir dönüşle solak bir dönüş arasındaki farkı söyleyebiliyordu. Şimdi makine en iyi yoğunluğuna ulaşmıştı ve oranlayıcı sayıları hızla değişiyordu. Sıfır dereceye uyan oranlayıcı 2560'ı gösteriyordu 180 dereceye uyan ise 1222'yi. Salt istatistiksel olarak bile bu boğucu bir farktı. Aradaki oranlayıcılar doyurucu bir biçimde aradaydılar. Bu düzeyde denklik ihlalinin işaretleri o denli büyüktü ki... Dick'e baktım. Soluk alışım zorlaşmıştı, avuçlarım terliydi, kalbim hızlanmıştı, başım dönüyordu --cinsel uyarılmanın çoğu belirtisi (tümü değil!). Bu büyük bir işti. Bir kontrol listesi yapmaya başladım. Görmekte olduğumuz sonuçları taklit etmede hangi elementler başarısız olabilirdi? Çok fazla olasılık vardı. Örneğin elektronları saymada kullanılan devreleri kontrol etmek için bir saat harcadık. Sorun yoktu. Sonuçlarımızı başka nasıl kontrol edebilirdik?

Salı sabah 4.30. Operatörden ışını kapamasını istedik. Aşağı koştuk elektron teleskopunu elimizle 90 derece döndürdük. Ne yaptığımızı biliyorsak örüntünün 90 dereceye uyan bir zaman aralığıyla sapması gerekiyordu. Bingo! Örüntü tahmin ettiğimiz gibi saptı.

Saat 6. Telefonu aldım ve "T.D. pi-mu-e zincirine bakıyorduk ve şimdi yirmi standart sapmalık bir sinyal elde ettik. Denklik yasası öldü." T.D.nin tepkisi telefondan fışkırdı. Salvo halinde sorular sordu: "Elektronların enerjisi ne? Elektron enerjisiyle asimetri nasıl değişiyor? Muon varış yönüne paralel olarak mı dönüyordu?" Bazı

soruları yanıtlamıştık. Diğer yanıtlar günün ilerleyen saatlerinde geldi. Garwin grafikler çizmeye ve oranlayıcı değerlerini yerleştirmeye başladı. Ben yapmamız gerekenlerin yeni bir listesini yaptım. Yedide olayı işiten Columbia'daki meslektaşlardan telefonlar almaya başladık. Garwin sekize doğru tükendi. Marcel (geçici olarak unutulmuştu!) geldi. Dokuza doğru oda meslektaşlar, teknisyenler ve ne olup bittiğini anlamaya çalışan sekreterlerle doldu.

Deneyi sürdürmek zordu. Benim soluma ve terleme belirtilerim yeniden başladı. Dünya hakkında yeni ve derin bir bilginin sırdaşlarıydık. Fizik değişmişti. Ve denkliğin ihlali bize yeni, güçlü bir alet sağlamıştı: manyetik alanlara yanıt veren ve dönmeleri elektrona parçalanma boyunca izlenebilen kutuplaşmış muonlar.

Sonraki üç ya da dört saat Chicago, California ve Avrupa'dan telefonlar geldi. Chicago, Berkeley, Liverpool, Cenevre ve Moskova'daki parçacık hızlandırıcı adamları pilotların savaş mevkilerine koşuşması gibi makinelerine saldırdılar. Tüm bir hafta boyunca deneyi ve varsayımlarımızı sınama sürecini sürdürdük ama yayınlama konusunda umutsuzca kaygılıydık. Sonraki altı ay boyunca haftada altı gün, günde yirmi dört saat, bir biçimde ya da başka biçimde veri topladık. Veriler yağıyordu. Öteki laboratuarlar kısa sürede bizim sonuçlarımızı destekledi.

Wu doğal olarak bizim temiz, tartışmasız sonuçlarımıza pek de sevinmemişti. Onunla birlikte yayınlamak istedik ama ezeli titizliğiyle sonuçlarını kontrol etmek için bir haftaya daha gereksindiğinde diretti.

Bu deneyin sonuçlarının fizik toplumunu nasıl da sarstığını ifade etmek çok zor. Saygı gösterilen bir inanca, doğanın ayna simetrisi sergilediğine meydan okumuştuk –aslında onu tahrip etmiştik. Daha sonraki yıllarda göreceğimiz gibi başka simetrilerin de olmadığı kanıtlandı. Böyle olduğu halde deney çoğu kuramcıyı sarstı; bunların arasında Wolfgang Pauli de vardı ve ünlü sözünü söylemişti: "Tanrının zayıf bir solak olduğuna inanamam." Tanrının sağlak olması gerektiğini kast etmiyordu. Her iki elini de kullanabilmeliydi.

Amerikan Fizik Topluluğunun yıllık toplantısı 6 Şubat 1957'de New York'ta Paramount Otelinin balo salonuna 2000 fizikçiyi topladı. İnsanlar kirişlerden sarktılar. Birinci sayfa makaleleri sonucu

müjdelediler. *New York Times* bizim basın bültenimizi parçacık ve ayna resimleriyle aynen yayınladı. Ama bunların hiçbiri gecenin 3'ünde iki fizikçi yeni ve derin bir gerçeği öğrendiği sırada ortaya çıkan mistik coşku duygusuyla karşılaştırılamazdı.

• 7 •

A–TOM!

Dün üç bilimci evrendeki en küçük parçayı buldukları için Nobel Ödülünü kazandılar. Bunun Denny'sdeki biftek olduğu ortaya çıktı.

–Jay Leno

1950'ler ve 60'lar Amerika'da bilim için büyük yıllardı. Çok daha katı 1990'larla kıyaslandığında 50'lerde iyi bir fikri ve epeyce kararlılığı olan herkes fikrine fon bulabiliyor gibiydi. Belki de bu sağlıklı bir bilim için iyi bir ölçüttür. Ulus o onyıllarda gerçekleşmiş olan bilimden hâlâ kâr ediyor.

Parçacık hızlandırıcılarının açtığı çekirdekaltı yapılar seli Galileo' nun teleskopuyla ortaya çıkardığı gök cisimleri kadar şaşırtıcıydı. Galileci devrimde olduğu gibi insanoğlu dünya hakkında yeni, daha önce kuşkulanılmamış bilgi edindi. Bu bilginin dış uzaydan çok iç uzayla ilgili olması onun derinliğini azaltmıyordu. Pasteur'ün mikropları ve görünmeyen biyolojik mikroorganizmalar evrenini keşfetmesi benzer bir olaydır. Kahramanımız Democritus'un garip tahmininin ("Tahmin mi?!" diye çığlık attığını duyuyorum. "Tahmin ha?!?!") artık üzerinde konuşulmuyordu bile. İnsan gözünden kaçacak denli küçük bir parçacığın bulunduğu artık bir tartışma konusu değildi. Açıkçası en küçük parçacığın araştırılması insan gözünün uzantılarını davet etmişti: gözlükler, mikroskoplar, şimdi de gerçek a-tom araştırmalarının içine doğru yaklaştıran hızlandırıcılar. Ve görüp gördüğümüz hadronlar, bir sürü hadron, hızlandırıcı ışınlarının kışkırttığı güçlü çarpışmalarda ortaya çıkan şu Yunan harfli parçacıklar.

Bu, hadronların bu çoğalmasının katıksız bir haz olduğu anlamına gelmiyor. Tüm emeği kullanıp zenginliği öyle dağıtmıştı ki yeni parçacıkların kaşifleri üye olmanın kolay olduğu bir klüp oluşturuyorlar. Yepyeni bir hadron mu bulmak istiyorsun? Sadece hızlandırıcının bir dahaki çalışmasına kadar bekle. 1986'da Fermilab'da fizik tarihi üzerine bir konferansta Paul Dirac eşitliğinin sonuçlarını –yeni bir parçacığın, birkaç yıl sonra Carl Andersson'un keşfettiği pozitronun varlığı– benimsemenin kendisine nasıl da zor geldiğini anlatmıştı. 1927'de böylesine köktenci düşünmek fiziğin töresine aykırıydı. Dinleyicilerden Victor Weisskopf 1922'de Einstein'ın bir artı elektronun varlığını tahmin ettiğini söyleyince Dirac elini sinek kovar gibi salladı "O şanslıydı." 1930'da Wolfgang Pauli nötrinonun var olması gerektiğini öngörmeden önce ecel terleri dökmüştü. Sonunda parçacığı ehveni şer olduğu için bağrına bastı çünkü tehlikede olan enerjinin korunumundan başka bir şey değildi. Yeni parçacıkların tanıtımına yönelik bu korumacılık bitmedi. Profesör Bob Dylan'ın dediği gibi zamanlar değişiyordu. Felsefedeki değişimin öncüsü yeni görüngüleri açıklamak için özgürce yeni parçacıklar varsayma sürecini başlatan kuramcı Hideki Yukawa'ydı.

1950'lerde ve 60'ların başlarında kuramcılar yüzlerce hadronu sınıflandırmak, maddenin bu yeni katmanında örüntüler ve anlamlar aramak ve daha fazla veri için deneyci meslektaşlarını tazı gibi izlemekle çok meşguldüler. Bu yüzlerce hadron heyecan vericiydi ama aynı zamanda bir baş ağrısıydılar. Thales'in, Empedocles'in ve Democritus'un zamanından beri peşinde koştuğumuz basitlik neredeydi? Bu varlıklardan yönetilemez bir hayvanat bahçesi dolusu vardı ve taburlarının sonsuz olduğundan korkmaya başlamıştık.

Bu bölümde Democritus'un Boscovich'in ve diğerlerinin düşünün sonunda nasıl da gerçekleştiğini göreceğiz. Geçmişte ya da şimdi, evrendeki tüm maddeleri yapmak için gerekli parçacıkların ve bu parçacıkları etkileyen kuvvetleri içeren *standart model*'in kuruluşunun güncesini tutacağız. Bazı bakımlardan bu model her madde türünün kendi görünmez a-tomu olduğu ve a-tomların birbirleriyle tamamlayıcı biçimleri yüzünden birleştiği Democritus'un modelinden daha karmaşıktır. Standart modelde madde parçacıkları birbirine daha başka parçacıklarla taşınan üç farklı kuvvetle bağlanırlar. Tüm bu parçacık-

lar birbirleriyle matematiksel olarak betimlenebilen ama görselleştirilemeyen içinden çıkılmaz bir tür dansla etkileşirler. Yine de standart model bazı bakımlardan Democritus'un hiç düşleyemediği kadar basittir. Feta peyniri için ayrı, dizkapağı kemiği için ayrı, broccoli için ayrı a-toma gereksinimimiz yoktur. Yalnızca az sayıda atomlar vardır. Onları çeşitli biçimlerde birleştirip *herşeyi* yapabilirsiniz. Bu öğesel parçacıkların üçüyle, elektron, muon ve nötrinoyla zaten tanışmıştık. Az sonra diğerleriyle tanışacak ve birbirlerine nasıl uyduklarını göreceğiz.

Bu utkusal bir bölüm çünkü temel bir yapı taşı araştırmamızda yolun sonuna geldik. Ancak ellilerde ve altmışların başlarında nihayet Democritus'un bilmecesini yanıtladığımız konusunda bu kadar heyecanlı değildik. Yüz hadron başağrısı yüzünden birkaç öğesel parçacık bulma öngörüsü oldukça pusluydu. Fizikçiler doğanın kuvvetlerini betimlemede çok daha fazla ilerleme göstermişlerdi. Dört tanesi açık olarak ayırt edilmişti: yer çekimi, elektromanyetik kuvvet, güçlü kuvvet ve zayıf kuvvet. Yerçekimi astrofiziğin alanıydı çünkü hızlandırıcı laboratuarlarında uğraşılamayacak denli zayıftı. Bu bir yana bıraktığımız şey sonradan bizi sık sık ziyarete gelecekti. Ama diğer üç kuvveti kontrol altına alıyorduk.

Elektrik Kuvveti

1940'lar elektromanyetik kuvvetin kuantum kuramının zaferini görmüştü. Paul Dirac'ın çalışması 1927'de kendi elektron kuramında kuantum ile özel göreceliği başarıyla birleştirdi. Ancak kuantum kuramıyla elektromanyetizmanın evliliği, elektromanyetik kuvvet, fırtınalı bir evlilikti, can sıkıcı problemlerle doluydu.

İki kuramın birleştirilme uğraşı resmi olmayan bir biçimde Sonsuzlara Karşı Savaş diye adlandırılmıştı ve 1940'ların ortalarına doğru bir yanda sonsuzu öte yanda da fiziğin en parlak güneşlerini içeriyordu: Pauli, Weisskopf, Heisenberg, Hans Bethe ve Dirac ve de bazı yeni doğmuş yıldızları -Cornell'de Richard Feynman, Harvard'da Julian Schwinger, Princeton'da Freeman Dayson ve Japonya'da Sinitiro

Tomonaga. Sonsuzlar şundan çıkmıştı: basitçe tanımlandığında insan elektronun bazı özelliklerinin değerini hesapladığında yeni görelilikçi kuantum kuramlarına göre yanıt "sonsuz" oluyordu. Sadece büyük değil, *sonsuz*.

Sonsuz denen matematiksel niceliği canlandırmanın bir yolu tam sayıların toplam sayısını düşünmek sonra da buna bir sayısını eklemektir. Her zaman bir fazlası vardır. Bir başka yol, bu zeki ama derinden mutsuz kuramcıların hesaplamalarında ortaya çıkması daha olası yol paydası sıfır haline gelen bir kesri hesaplamaktır. Çoğu cep hesap makineleri aptalca bir şey yapmış olduğunuz konusunda sizi uyarırlar –genellikle bir dize EEEEE'lerle. Eski röleli mekanik hesap makineleri gıcırtılı bir takım sesler çıkartır ve genellikle koyu bir duman salıp dururlardı. Kuramcılar sonsuzları elektromanyetizmle kuantum kuramının evliliğinde kullanılan yolun derinlerinde yanlış bir şeyler bulunduğunun bir işareti olarak gördüler– belki de bizi fazla kışkırttığı için bu mecazı kullanmamız gerekir. Ne olursa olsun ayrı ayrı çalışan Feynman, Schwinger ve Tomonaga 1940'ların sonlarında bir tür zafer elde ettiler. Sonunda elektron gibi yüklü parçacıkların özelliklerini hesaplayamamanın üstesinden geldiler.

Bu kuramsal buluş için büyük bir ivme Columbia'da benim öğretmenlerimden biri Willis Lamb tarafından gerçekleştirilen bir deneyden geldi. Hemen savaş sonrası yıllarda Lamb bir çok ileri kurslar veriyor ve elektromanyetik kuram üzerinde çalışıyordu. Aynı zamanda Columbia'da geliştirilen radar teknolojisini kullanarak hidrojen atomu içinde seçilmiş enerji düzeylerinin özellikleri üzerine son derece kesin bir deney tasarladı ve gerçekleştirdi. Lamb'ın verileri deneyinin güdülenmesine hizmet ettiği yeni ortaya atılmış kuantum elektromanyetik kuramının en incelikli parçalarının bazılarını sınamaya olanak veriyordu. Lamb'ın deneyinin ayrıntılarını atlıyorum ama çalışan bir elektrik kuvveti kuramında heyecan verici yaratılar için yeni ufuklar açan bir deney olduğunu vurgulamak isterim.

Kuramcılardan doğan şey "yeniden normalleştirilmiş kuantum elektrodinamiği" denen bir şeydi. Kuantum elektrodinamiği ya da KED, kuramcıların elektronun ya da onun daha ağır kardeşi muonun özelliklerini virgülden sonra onuncu basamağa kadar hesaplamalarına olanak verir.

KED bir alan kuramıydı bu yüzden de bize bir kuvvetin iki madde parçacığı, diyelim ki iki elektron arasında nasıl taşındığının fiziksel bir resmini vermişti. Newton'un, Maxwell gibi uzaktan etki fikriyle sorunları vardı. Düzenek neydi? Pek zeki eskillerden biri, kuşkusuz Democritus'un bir arkadaşı, ayın dünyadaki gelgitler üzerine etkisini keşfetti ve bu etkinin aradaki boşluktan geçip kendini nasıl gösterdiği üzerine kafa patlattı. KED'de alan nicelleştirilir yani kuantumlara – daha fazla parçacık– bölünür. Ancak bunlar madde parçacıkları değildir. *Alan parçacıkları*dırlar. Etkileşim içindeki iki madde parçacığı arasında ışık hızında yol alarak kuvveti taşırlar. Bunlar KED'de fotonlar diye adlandırılan haberci parçacıklardır. Diğer kuvvetlerin kendi farklı habercileri vardır. Haberci parçacıklar bizim kuvvetleri görselleştirme yolumuzudur.

SANAL PARÇACIKLAR

Devam etmeden önce parçacıkların iki görünümü olduğunu açıklamam gerekir: gerçek ve sanal. Gerçek parçacıklar A noktasından B noktasına yolculuk yapabilirler. Enerjiyi korurlar. Geiger sayaçlarında tıkırtı yaparlar. 6. Bölümde söz ettiğim gibi sanal parçacıklar bunları yapmaz. Haberci parçacıklar –kuvvet taşıyıcıları– gerçek parçacıklar olabilirler. Ama daha sık olarak kuramda sanal parçacıklar olarak ortaya çıkarlar bu yüzden iki terim sıklıkla eşanlamlıdır. Parçacıktan parçacığa kuvvet mesajını taşıyan sanal parçacıklardır. Eğer çevrede başka enerji varsa bir elektron gerçek bir Geiger sayacında gerçek bir tıkırtı üreten gerçek bir foton yayabilir. Sanal bir parçacık kuantum fiziğinin olanaklarından kaynaklanan mantıksal bir yapıdır. Kuantum kurallarına göre parçacıklar gerekli enerjinin ödünç alınmasıyla yaratılabilir. Borçlanmanın vadesini Heisenberg'in kuralları belirler; buna göre ödünç alınan enerji çarpı borcun vadesi Planck sabitinin iki kez pi'ye bölümünden büyük olmalıdır. Eşitlik şöyle bir şeydir: $\Delta E \Delta t$ $h/2\pi$'den büyüktür. Bu, ne kadar çok enerji ödünç alınırsa sanal parçacığın orunla eğlenmesi için o kadar kısa zamanının var olabildiği anlamına gelir.

Bu görüşe göre sözde boş uzay bu hayaletsi nesnelerle dolup taşmaktadır: sanal fotonlar, sanal elektronlar ve pozitronlar, quarklar

ve antiquarklar hattâ (tanrım ne düşük bir olasılıkla) sanal golf topları ve anti golf topları. Bu girdaplanan dinamik boşlukta gerçek bir parçacığın özellikleri değişir. Neyse ki akıl sağlığımız ve gelişmemiz adına bu değişimler pek küçüktür. Yine de ölçülebilirler ve bu bir kez kavrandığında yaşam giderek artan kesinlikteki ölçümlerle çok daha düzgün ve belirlenmiş kuramsal hesaplar arasında bir çekişme halini alır. Örneğin gerçek bir elektron düşünün. Elektronun çevresinde onun varolması yüzünden bir geçici sanal fotonlar bulutu bulunur. Bunlar tüm olarak ve tek tek bir elektronun varlığını belirler ama aynı zamanda elektronun özelliklerini etkilerler. Dahası sanal bir foton çok geçici olarak bir $e^+ e^-$ çiftine (bir pozitron ve bir elektron) ayrışabilir. Bir sivrisineğin göz kırpması süresinde çift yeniden bir foton olarak bir araya gelir ama bu uçucu dönüşüm bile bizim elektronun niteliklerini etkiler.

5. Bölümde elektronun kuramsal olarak KED'den hesaplanmış ve esin dolu deneylerle ölçülmüş g değerini yazmıştım. Anımsayabileceğiniz üzere iki sayı virgülden sonra on bir basamağa dek uyuşuyordu. Muonun g değeri de aynı derecede başarılıdır. Muon elektrondan daha ağır olduğundan haberci parçacıklar kavramı için daha derinlemesine bir test sağlar; muonun habercilerinin daha yüksek enerjisi olabilir daha fazla karışıklığa neden olur. Sonuç, alanın muonun özelliklerini çok daha güçlü biçimde etkilemesidir. Çok soyut bir şey ama kuramla deney arasındaki uyum çarpıcıdır ve kuramın gücünü gösterir.

MUONUN KİŞİSEL MIKNATISLIĞI

Doğrulama deneyine gelince... İlk ücretli izin yılımda (1958-59) yarı ücretimi karşılamak için bir Ford bursuyla Guggenheim bursu kullanarak Cenevre'de CERN'e gittim. CERN, yüksek enerji fiziği için gerekli pahalı tesisleri inşa etmek ve paylaşmak için on iki uluslu bir Avrupa konsorsiyumunun yaratısıydı. II. Dünya Savaşının yıkıntılarının henüz sıcak olduğu kırkların sonunda kurulmuş ve daha önceki askeri hasımların bu işbirliği bilimde uluslararası ortak çalışmanın örneğini oluşturmuştu. Benim eski koruyucum ve arkadaşım Gilberto Bernardini araştırma yöneticisiydi. Benim ana gidiş nedenim Avrupa'nın keyfini çıkarmak, kayak öğrenmek ve Cenevre'nin hemen dışında

İsviçre Fransa sınırında yuvalanmış bu yeni laboratuarda biraz oyalanmaktı. Sonraki yirmi yıl boyunca bu görkemli çok dilli tesiste araştırma yaparak yaklaşık dört yılımı geçirdim. Fransızca, İngilizce İtalyanca ve Almanca yaygın olduğu halde CERN'in resmi dili bozuk Fortran'caydı. Homurdanmalar ve işaret dili de geçerliydi. Ben CERN'le Fermilab'ı şöyle karşılaştırırdım: "CERN bir mutfak debdebesi ve mimari felakettir Fermilab da bunun tersi." Sonra Bob Wilson'ı CERN'in efsanevi aşçısı ve kafeterya yöneticisi Gabriel Tortella'yı Fermilab'a danışman olarak almaya ikna ettim. CERN'le Fermilab bizim deyişimizle işbirlikçi rakiplerdi; her biri diğerinden nefret etmeyi severdi.

CERN'de Gilberto'nun yardımıyla muonun g faktörünü bazı hileler kullanarak akıl durdurucu bir kesinlikle ölçmek üzere tasarlanmış bir "g eksi 2" deneyi örgütledim. Hilelerden biri muonların pion parçalanmasından kutuplaşmış olarak çıkmalarıyla yani büyük çoğunluğunun devinimleriyle aynı yönü işaretleyen dönmelerinin olmasıyla mümkün oldu. Bir başka zekice hileyi deneyin adı "g eksi iki" ya da Fransızların deyişiyle "Je moins deux" ima etmekteydi. g değeri muon ve elektron gibi dönen yüklü parçacıkların mülkiyeti içine yerleştirilmiş küçük mıknatısın gücüyle ilgiliydi.

Dirac'ın "kaba" kuramı, anımsayın, g değerinin tam 2 olduğunu öngörmüştü. Ancak KED geliştikçe Dirac'ın 2'sinde önemli ama minik ayarlamaların yapılması gerektiği ortaya çıktı. Bu küçük terimler ortaya çıktı çünkü muon ya da elektron çevrelerindeki alanda kuantum nabızlarını "duyumsarlar" Yüklü bir parçacığın haberci bir foton yaydığını anımsayın. Bu foton gördüğümüz gibi sanal olarak bir çift zıt yüklü parçacığa –sadece geçici olarak– ayrışır ve kimse göremeden kendini onarır. Kendi boşluğunda yalıtılmış elektron sanal foton tarafından rahatsız edilir, sanal çiftten etkilenir, geçici manyetik kuvvetler tarafından çarpıtılır. Sanal olayların kaynaşan çorbasındaki bu ve başka, daha ince süreçler elektronu çok daha zayıf olarak var olan tüm yüklü parçacıklarla bağlantılandırır. Sonuç, elektronun özelliklerinde bir değişimdir. Kuramsal fiziğin mizahi lengüstiğinde "çıplak" elektron, alan etkisinden koparılmış hayali bir nesnedir oysa "giyinik" bir elektron evrenin damgasını taşır ama bu damganın tümü onun çıplak niteliklerine gömülmüş son derece minik değişimlerdir.

5. Bölümde elektronun g faktörünü tanımlamıştım. Kuramcılar muonla çok daha fazla ilgilenmişlerdi çünkü onun kütlesi iki yüz kez büyüktür, muon çok daha uzağa, daha ekzotik süreçlere ulaşan sanal fotonlar yayabilir. Bir kuramcının bir çok yıl süren emeğinin sonucuna göre g faktörü:

$$g = 2\ (1.001165918)\ \text{dir.}$$

Bu sonuç (1987'de) Feynman ve diğerlerinin yeni KED (formülasyonlarını kullanarak yapılan uzun hesaplamalar dizisinin doruğuydu. Toplama eklenen 0,001165918 sayıları radyatif düzeltmeler diye bilinir. Bir keresinde Columbia'da radyatif düzeltmeler üzerine konferans veren kuramcı Abraham Pais'i dinlerken salona elinde bir İngiliz anahtarıyla bir tamirci girdi. Pais adama ne istediğini sormak için eğildi. Dinleyicilerden biri "Bram" diye seslendi "sanırım o radyatörü düzeltmeye geldi."

Kuramı deneyle nasıl karşılarız? Hile, muonun g değerinin 2.0'den *farkını* ölçmenin bir yolunu bulmaktı. Bunu yapmanın bir yolunu bulurken düzeltmeyi (0.001165918) büyük bir sayıya minik bir ek olarak değil *doğrudan* ölçüyoruz. Bir bozuk parayı tartmak için önce onu taşıyan bir adamı sonra para olmaksızın aynı adamı tartıp sonra ikinci değeri ilkinden çıkardığınızı düşünün. Bozuk parayı doğrudan tartmak daha iyidir. Bir muonu bir manyetik alan içindeki bir yörüngeye hapsettiğimizi varsayalım. Yörüngede tutan yük de Maxwell'in kuramının kesinlikle 2 olduğunu söylediği bir g değeri olan bir "mıknatıs"tır; oysa dönmeyle ilişkili mıknatısın 2'nin üzerinde bu küçük fazlalığı vardır. Böylece muonun iki farklı "mıknatıs"ı olur: biri içsel (onun dönüşü) diğeri de dışsal (yörüngesi). Muon yörüngesel konumdayken dönüş mıknatısını ölçmek 2.0 yi çıkarır ve muonda, ne denli küçük olursa olsun, 2'den sapmayı doğrudan ölçmemize olanak verir.

Geniş bir çemberde ok yörüngeye her zaman teğet olacak biçimde küçük bir ok (muonun dönme ekseni) düşünün. Eğer tam olarak g = 2.000 olsa olacak olan buydu. Parçacık kaç çember çizerse çizsin küçük dönme oku her zaman yörüngeye teğet olacaktır. Ancak eğer g'nin gerçek değeriyle 2 arasında çok küçük bir fark olsaydı ok teğetlikten her dönüşte bir derecenin bir kesri kadar sapacaktı.

Diyelim 250 dönüş sonra ok (dönme ekseni) bir yarıçap gibi yörüngenin merkezine yönelirdi. Yörüngesel devinimi sürdürün ve 1000 dönüşte ok teğet olan başlangıç yönüne göre tam bir dönüş (360 derece) yapacaktır. Denkliğin ihlali sayesinde okun (muonun dönüşünün) yönünü muon parçalanırken çıkan elektronların yönünden (utkusal bir biçimde) tarayabiliriz. Dönme ekseniyle yörüngeye teğet bir çizgi arasındaki herhangi bir açı g ile 2 arasında bir farkı temsil edecektir. Bu açının kesin bir ölçümü *farkın* kesin bir ölçümünü verir. Anladınız mı? Hayır ımı? Eh o zaman inanın!

Önerilen deney karmaşık ve iddialıydı ama 1958'de yardım için çok zeki genç fizikçileri toplamak çok kolaydı. 1959 ortasında Birleşik Devletlere döndüm ve Avrupa'daki deneyi periyodik olarak ziyaret ettim. Her biri bir sonrakini telkin eden bir çok evreden geçti ve muonun CERN nihai g değeri 1978'de yayınlanana dek gerçekten sona ermedi – deneysel zekanın ve kararlılığın bir zaferi (Almanlar buna *sitzfleisch* diyorlar). Elektronun g değeri daha kesindi ama unutmayın ki elektronlar ebedidir muonlarsa evrende bir saniyenin yalnızca milyonda ikisi kadar kalırlar. Sonuç mu?

$$g = 2\ (1.001165923) \pm 0.00000008$$

yüz milyonda sekizlik hatâ kuramsal öngörüyü kesinlikle kapsamaktadır.

Tüm bunlar KED'nin büyük bir kuram ve kısmen de Feynman, Schwinger ve Tomonaga'nın neden büyük fizikçiler sayıldığını öne sürmek içindir. Gizde bir tanesi konumuz açısından kayda değer ve uygun olan bir takım gedikler açmıştır. Bu, sonsuzlarla ilgilidir –örneğin elektronun kütlesi. Kuantum alan kuramının ilk çabaları bir nokta elektronun sonsuz derecede ağır olduğunu hesaplamıştı. Sanki Noel Baba dünya için elektronlar imal ederken belli bir eksi yük miktarını çok küçük bir hacme sıkıştırmak zorundaydı. Bu zor iştir! Çaba kocaman bir kütle olarak ortaya çıkmalıydı ama elektron 0.511 MeV'luk ya da yaklaşık 10^{-30} kilogramlık kütlesiyle bir hafif sıklettir kütlesi açıkça sıfır olmayan herhangi bir parçacığın en küçük kütlesi.

Feynman ve meslektaşları ne zaman bu ürkütücü sonsuzun ortaya çıktığını görsek elektronun bilinen kütlesini yerleştirerek aslında onu

atlamamızı önerdiler. Gerçek dünyada buna uydurmak denebilirdi. Kuram dünyasında sözcük "yeniden normalleştirme"dir; gerçek bir kuramda hiçbir zaman bulunmayacak utandırıcı sonsuzları atlatmak için yerleşik bir yöntem. Boş verin. İşe yaradı ve sözünü ettiğimiz aşırı kesin hesaplamalara olanak verdi. Böylece kütle problemlerinin çevresinden dolaşılmıştı –ama çözülmemişti– ve de geride Tanrı Parçacığı tarafından harekete geçirilecek sakince tıkırdayan bir saatli bomba bırakmıştı.

Zayıf Kuvvet

Rutherford ve diğerlerini rahatsız eden gizemlerden biri şu radyoaktivite dalgasıydı. Nasıl oluyordu da çekirdekler ve parçacıklar zorunlu olarak diğer parçacıklara parçalanıyorlardı? 1930'larda apaçık bir kuramla bu soruyu ilk aydınlatan fizikçi Enrico Fermi'ydi.

Fermi'nin zekasına ilişkin yığınla öykü vardır. New Mexico Alamogordo'daki ilk nükleer bomba denemesinde Fermi bomba kulesinden yaklaşık on beş kilometre ötede yerde yatıyordu. Bomba patladıktan sonra ayağa kalktı ve küçük kâğıt parçalarını yere düşürdü. Sakin havada kâğıtlar ayağının dibine düştü ama birkaç saniye sonra şok dalgası ulaştı ve onları birkaç santim öteye itti. Fermi kâğıt parçalarının yer değiştirmesinden patlamanın gücünü hesapladı ve onun olay yerinde yaptığı hesap hesaplaması günler süren resmi ölçümle uyum içindeydi. (Ancak onun bir arkadaşı, İtalyan fizikçi Emilio Segré Fermi'nin insan olduğuna dikkat çeker. Chicago Üniversitesinin gider hesabını yapmakta zorlanırmış.)

Çoğu fizikçi gibi Fermi matematik oyunları yapmayı severdi. Alan Wittenberg bir zamanlar bir grup fizikçiyle yemek yerken Fermi'nin pencerelerdeki kiri fark ettiğini ve herkese kir kendi ağırlığıyla camdan düşmeden önce ne kalınlığa ulaşması gerektiğini hesaplama konusunda meydan okuduğunu anlatıyor. Tümü denerken Fermi onlara yardım etmişti; hesaba doğanın temel sabitlerinden başlamak elektromanyetik etkileşimi uygulamak ve yalıtkanları bir arada tutan dielektrik çekimleri hesaplayarak ilerlemek gerekiyordu. Manhattan

projesi sırasında Los Alamos'ta bir fizikçi, arabasında bir gün bir vahşi köpeğe rastlamıştı. Fermi taşıt-vahşi köpek etkileşimi izlerini sürerek çöldeki vahşi köpeklerin toplam sayısını hesaplamanın olası olduğunu söyledi. Bunlar tıpkı parçacık çarpışmaları gibi dedi. Birkaç nadir olay bu tür parçacıkların tüm sayısı hakkında ipuçları sağlayabiliyordu.

Eh çok zeki ve çok ünlüydü. Arkasında bildiğim herkesten çok adı verilmiş şey bıraktı. Bakalım... Fermilab var, Enrico Fermi Enstitüsü, fermion parçacıkları (tüm quarklar ve leptonlar) ve Fermi istatistikleri (boş verin). Fermi, 10^{-13} santimetrelik bir büyüklük ölçüsüdür. Benim en büyük düşüm arkamda benim adım verilmiş bir şey bırakmak. Columbia'daki meslektaşım T.D.Lee'ye yeni bulunacak bir parçacığa Lee-on adı verilmesini önermesi için yalvardım. Ama yararsız.

Ama Fermi'nin Chicago Üniversitesi futbol alanının altındaki ilk nükleer reaktör ve ezilmiş vahşi köpekler üzerine düşündürücü çalışmalarından çok daha üstün olan katkısı evren anlayışında çok merkezi bir yeri olan katkısıydı. Fermi doğada yeni bir kuvveti tanımladı, zayıf kuvveti.

Çabucak Becquerel ve Rutherford'a geri dönelim. Becquerel'in 1896'da fotograf kâğıtlarını sakladığı çekmeceye biraz uranyumu saklayarak rastlantısal olarak radyoaktiviteyi keşfettiğini anımsayın. Fotograf kâğıtları siyahlaşınca sonunda nedenin izini uranyumdan fırlatılan görünmez ışınlarda bulmuştu. Radyoaktivitenin keşfinden ve Rutherford'un alfa, beta ve gama radyasyonunu aydınlatmasından sonra dünyanın her yanındaki çoğu fizikçi kısa süre sonra elektronlar olarak tanınan beta parçacıkları üzerinde yoğunlaştılar.

Elektronlar nereden gelmişti? Fizikçiler çok kısa sürede elektronun kendiliğinden bir durum değişikliğine uğradığında çekirdekten yayıldığını ortaya çıkardılar. 1930'larda araştırmacılar çekirdeklerin protonlar ve nötronlardan ibaret olduğunu belirlediler ve çekirdeklerin radyoaktivitesinin izini çekirdeklerin bileşen proton ve nötronlarının kararsızlığında buldular. Açıkçası tüm çekirdekler radyoaktif değildi. Enerjinin korunması ve zayıf kuvvet bir çekirdek içindeki bir proton ya da bir nötronun parçalanıp parçalanmayacağını belirlemede önemli bir rol oynuyordu.

1920'lerin sonlarında radyoaktif çekirdeklerde dikkatli önce ve sonra ölçümleri yapıldı. Başlangıç çekirdeğinin kütlesi ölçülür, son çekirdeğin kütlesi de ölçülür ve yayılan elektronun enerji ve kütlesi bulunur ($E=mc^2$ olduğunu anımsayın). Ve burada önemli bir keşif yapıldı: toplam tutmuyordu. Enerji kayboluyordu. Giriş çıkıştan büyüktü. Wolfgang Pauli küçük nötr bir nesnenin enerjiyi taşıdığı biçimindeki (o zaman için) cesurca önerisini getirdi.

1933'de Enrico Fermi tümünü bir araya getirdi. Elektronlar çekirdekten geliyordu ama doğrudan değil. Olup biten şey çekirdekteki nötronun bir proton, bir elektron ve Pauli'nin keşfettiği küçük nötr nesneye parçalanmasıydı. Fermi ona "küçük bir şey" anlamına *nötrino* adını verdi. Fermi çekirdek içinde bu reaksiyondan sorumlu bir kuvvet olmalı dedi ve ona zayıf kuvvet adını verdi. Güçlü çekirdek kuvveti ve elektromanyetizmle kıyaslayınca son derece zayıftı. Örneğin düşük enerjide zayıf kuvvet elektromanyetizmin gücünün binde biri kadardı.

Hiç yükü ve neredeyse hiç kütlesi olmayan nötrino 1930'larda doğrudan taranamazdı, bugün de ancak büyük çabayla yakalanabilmektedir. Nötrinonun varlığının deneysel olarak 1950'lere dek kanıtlanamamış olmasına karşın çoğu fizikçi onu bir olgu olarak kabul etti çünkü muhasebeyi düzeltmek için o var olmak *zorundaydı*. Bugünün hızlandırıcılarındaki quarkları ve öteki garip şeyleri içeren çok daha ekzotik reaksiyonlarında biz hâlâ herhangi bir kayıp enerjinin çarpışmadan gözlemlenemeyen bir nötrino biçiminde kaçtığını varsayarız. Bu sanatsal küçük düzenbaz tüm evrene görünmez imzasını atıyor gibidir.

Ama zayıf kuvvete geri dönelim. Fermi'nin betimlediği parçalanma –nötron proton, elektron ve nötrinoyu (aslında bir antinötrinoyu) serbest bırakır– serbest nötronlarla rutin olarak ortaya çıkar. Ancak nötron çekirdeğin içine hapsolunca bu yalnızca özel koşullar altında oluşur. Tersine serbest parçacık olarak proton (bildiğimiz kadarıyla) parçalanamaz. Ancak kalabalık çekirdek içinde bağlı proton bir nötron, bir pozitron ve bir nötrino doğurabilir. Serbest nötronun zayıf parçalanmaya uğrayabilmesinin nedeni basit enerji korunmasıdır. Nötron protondan daha ağırdır ve serbest bir nötron bir protona dönüştüğünde elektron ve antinötrino yapmaya ve her birini küçük bir enerjiyle fırlatmaya yetecek kadar ek âtıl kütle enerjisi bulunur.

Serbest bir protonun kütlesi bunu yapmak için çok küçüktür. Ancak çekirdek içinde tüm öteki arkadaşların varlığı sonuç olarak bağlı bir parçacığın kütlesini değiştirir. Eğer içerideki protonlar ve nötronlar parçalanarak kararlılığı arttırabiliyor ve yapıştıkları çekirdeğin kütlesini azaltabiliyorlarsa bunu yaparlar. Ancak eğer çekirdek zaten en düşük kütle – enerji durumundaysa kararlıdır ve hiçbir şey olmaz. Tüm hadronlar –protonlar, nötronlar ve onların yüzlerce kuzeni– zayıf kuvvet yoluyla parçalanmaya kışkırtılır; serbest proton bunun görünen tek istisnasıdır.

Zayıf kuvvet kuramı giderek genelleşmiş ve yeni verilerle durmadan karşılaşarak zayıf kuvvetin kuantum alan kuramına gelişmiştir. Çoğu Amerikan üniversitelerinde ortaya çıkmış yeni bir kuramcılar kuşağı kuramın biçimlenmesine yardım etmiştir: Feynman, Gell-Mann, Lee, Yang, Schwinger, Robert Marshal ve başka birçokları. (Adlarını anmayı unuttuğum tüm kuramcıların Tahran'ın bir banliyösünde buluştuğu ve Lederman'ı hemen ve tam olarak yeniden normale döndürecek olan kişinin kuram Cennetine derhal kabul edileceği biçiminde bir ödül koyduğu kâbusları görmeye devam ediyorum.)

HAFİFÇE KIRILMIŞ SİMETRİ YA DA HEPİMİZİN NEDEN BURADA OLDUĞU

Zayıf kuvvetin hayati bir özelliği denklik ihlalidir. Tüm öteki kuvvetler bu simetriye saygı gösterirler, bir kuvvetin onu ihlal edebilmesi bir şok olurdu. Bir başka derin simetrinin dünyayı karşı dünyayla karşılaştıran simetrinin D (denklik) ihlali gösteren aynı deneylerle başarısız olduğu gösterilmiştir. Bu ikinci simetriye yük bağlanmasından Y denmiştir. Y simetrisinin de başarısız olması yalnızca zayıf kuvvetle ortaya çıkar. Y ihlali gösterilmeden önce içindeki tüm nesnelerin antimaddeden yapıldığı bir dünyanın bildik eski madde dünyasındaki aynı fizik yasalarına uyacağı düşünülmüştü. Veriler hayır dedi. Zayıf kuvvet bu simetriye uymuyordu.

Kuramcılar ne yapsalardı? Çabucak yeni bir simetri kurdular: YD simetrisi. Bu eğer biri diğeriyle *eşzamanlı olarak* tüm nesneleri bir aynada yansıtarak ilişkili (D) ve aynı zamanda tüm parçacıkları karşı

parçacığa değiştirerek (Y) ilişkideyse iki fiziksel sistemin aynı olduğunu söyler. YD simetrisi der fizikçiler çok daha derin bir simetridir. Sanki doğa Y ve D'ye ayrı ayrı uymadığı için eşzamanlı YD simetrisi sürmeliydi. YD simetrisinin aslında mükemmel olmadığının ortaya çıkması Princeton'lu iki deneycinin Val Fitch ve James Cronin'in nötr kaonları (benim grubumun 1956-1958 Brookhaven deneylerinde keşfettiği bir parçacık) inceledikleri 1964'ü buldu.

Mükemmel değil mi? Kuramcılar surat astı, ama hepimizin içindeki sanatçılar keyiflendi. Ressamlar ve mimarlar tam olarak değil ama hemen hemen simetrik tuvaller ve mimari yapılarla bizi çimdiklemeyi severler. Chartres'daki, asimetrik kuleleri dışında simetrik katedral iyi bir örnektir. YD ihlali etkisi küçük –binde birkaç olay– ama açıktı ve kuramcılar en başa döndüler.

YD ihlalinden üç nedenle söz ediyorum. Birincisi öteki kuvvetlerde "hafifçe kırılmış simetri" diye bilinen şeye iyi bir örnek olduğu için. Eğer doğanın içsel simetrisine inanırsak *bir şey*, fiziksel bir ajan, bu simetriyi kırmak için ortaya çıkmalıdır. Sıkıca ilişkili bir ajan aslında bu simetriyi tahrip etmez yalnızca doğa asimetrikmiş gibi görünsün diye gizler. Tanrı Parçacığı böyle bir simetri gizleyicisidir. 8.Bölümde ona geri döneceğiz. YD ihlalinden söz etmemin ikinci nedeni 1990'larda bu kavramı anlamanın standart modelimizdeki sorunları aydınlatmanın en zorlayıcı gereksinimlerinden biri olmasıydı.

Son neden ve de Fitch-Cronin deneyine İsveç Kraliyet Bilim Akademisinin saygın dikkatini çeken öğe, evrenin evriminin kozmolojik modellerine uygulandığında YD ihlali astrofizikçileri 50 yıldır uğraştıran bir bilmeceyi açıklıyordu. 1957'den önce çok sayıda deney madde ile karşımadde arasında mükemmel bir simetriyi göstermişti. Eğer madde ve karşımadde bu denli simetrikse neden gezegenimiz, güneş sistemimiz, gökadamız ve kanıtların gösterdiğine göre öteki gökadalar karşımaddeden yoksundular? Ve de 1965'de Long Island'da yapılan bir deney nasıl tüm bunları açıklayabildi?

Modellerin gösterdiğine göre Büyük Patlamadan sonra evren soğurken tüm madde ve karşımadde geride temelde salt radyasyon bırakarak yok oldu, sonunda madde yaratamayacak kadar çok soğudu –çok düşük enerji. Ama madde, bu biziz! Neden biz buradayız? Fitch–

Cronin deneyi çıkış yolunu gösterir. Simetri mükemmel değildi. Maddenin karşımaddeye hafifçe üstünlüğü (her 100 milyon quark antiquark çiftine karşılık fazladan bir quark) hafifçe kırılmış YD simetrisinin sonucuydu ve bu küçük fazlalık şimdi gözlemlenen evrendeki, biz de dahil, tüm maddeden sorumluydu. Teşekkürler, Fitch, teşekkürler Cronin. Harika dostlar.

KÜÇÜK NÖTR BİRİNİ KAPANA KISTIRMAK

Zayıf kuvvet üzerine ayrıntılı bilginin çoğu nötrino ışınları tarafından sağlanmıştır ve bunun da ayrı bir öyküsü var. Pauli'nin 1930 hipotezi –yalnızca zayıf kuvveti duyumsayan küçük nötr bir parçacığın olduğu– 1930'dan 1960'a dek pek çok yoldan sınanmıştı. Giderek artan sayıda zayıfça parçalanan çekirdeklerin ve parçacıkların kesin ölçümleri küçük nötr bir şeyin enerji ve moment taşıyarak reaksiyondan kaçtığı hipotezini doğrulama eğilimindeydi. Bu parçalanma reaksiyonlarını anlamanın uygun bir yoluydu ama gerçekten nötrinoları tarayabilir miydik?

Bu kolay iş değildi. Nötrinolar büyük madde kalınlıklarından zarar görmeden geçiyorlardı çünkü yalnızca zayıf kuvvete boyun eğiyorlardı ve zayıf kuvvetin kısa menzili bir çarpışma olasılığını büyük ölçüde azaltıyordu. Bir nötrinonun maddeyle çarpışmasını garanti etmek için bir ışık yılı kalınlığında kurşun hedef gerektiği hesaplanmıştı. Epeyce pahalı bir deney. Ancak eğer çok büyük sayıda nötrino kullanırsak bir çarpışma görebilmek için gerekli kalınlık buna uygun olarak düşer. 1950'lerin ortalarında yoğun nötrino kaynakları olarak dev cadmium diklorit fıçılarının (bir ışık yılı kurşundan daha ucuz) nötrinolara maruz bırakıldığı nükleer reaktörler kullanıldı (çok fazla radyoaktivite!) Bu kadar çok nötrino (aslında reaktörlerden çoğunlukla elde ettiğiniz antinötrinolar) ile bazılarının protonlara çarpıp tersine beta parçalanmaları yaratmaları yani bir pozitron ve bir nötronun serbest kalması kaçınılmazdı. Pozitron dolanırken önünde sonunda bir elektron bulur ve iki zıt yönde devinen foton bırakarak yok olur. Bunlar dışarıya, fotonlar çarpınca ışıldayan kuru temizleme sıvısına uçarlar. Bir nötron ve bir çift fotonun taranması nötrinonun ilk deneysel kanıtını temsil eder, Pauli yaratığı düşündükten yaklaşık otuz beş yıl sonra.

1959'a doğru bir başka kriz, aslında iki kriz fizikçinin aklını karıştırmak üzere ortaya çıktı. Fırtınanın merkezi Columbia Üniversitesiydi ama kriz dünya çevresinde liberal olarak paylaşılıp takdir edildi. O zamana kadar zayıf kuvvet üzerine tüm veriler doğal parçalanma sırasındaki parçacıklar tarafından sağlanıyordu. Kendini tümüyle fizikçilerin ıslahına adayan parçacıklardan daha büyük aşk yoğ idi. Zayıf kuvveti incelemek için basitçe nötron ya da pion gibi başka parçacıklara parçalanan parçacıkları gözlerdik. İşe karışan enerjiler parçalanan parçacıkların âtıl kütleleri tarafından sağlanırdı –tipik olarak birkaç MeV'tan 100 MeV ya da daha fazlasına kadar. Reaktörlerden fırlatılan ve zayıf kuvvet çarpışmalarına uğrayan nötrinolar bile yalnızca birkaç MeV içerir. Denklik ihlalinin deneysel sonuçlarıyla zayıf kuvvet kuramını düzelttikten sonra milyonlarca çekirdek parçalanmasından sağlanan verilere uyan zarif bir kuramımız vardı; ayrıca pionların, muonların, lambdaların ve kanıtlanması zor ama belki de Batı uygarlığının parçalanmalarına da uyuyordu.

PATLAYAN EŞİTLİK

1 No.lu kriz, zayıf kuvvet matematiğiyle ilgiliydi. Eşitliklerde kuvvetin ölçüldüğü enerji görülür. Verilere bağlı olarak parçalanan parçacığın âtıl kütle enerjisini –1.65 MeV ya da 37.2 MeV veya her neyse– yerleştirirsiniz ve doğru yanıt ortaya çıkar. Terimlerle oynar vurur sıkıştırırsınız ve er ya da geç ömürler, parçalanmalar, elektron tayfları olarak –deneyle kıyaslanabilecek şeyler– tahminler ortaya çıkar ve onlar doğrudur. Ama 100 GeV'u (*milyar* elektron volt) yerleştirirseniz kuram sapıtır. Eşitlik yüzünüze patlar. Fizik jargonunda buna "tekleşme krizi" denir.

İşte ikilem. Eşitlik tamamdı ama yüksek enerjide bir hastalığı vardı. Küçük sayılar işe yarıyordu büyükler yaramıyordu. Nihai gerçeği bulamamıştık yalnızca düşük enerji evrenindeki gerçeği bulmuştuk. Eşitlikleri yüksek enerjide düzenleyecek yeni fikirler olmalıydı.

2 No.lu kriz gözlemlenmemiş reaksiyonun gizemiydi. İnsan bir muonun ne denli sık olarak bir elektron ve bir fotona parçalandığını hesaplayabilirdi. Zayıf süreçler kuramımız bunun olması gerektiğini söylüyordu. Bu reaksiyonu aramak gözde bir Nevis deneyiydi ve bir

çok yeni Ph.D. allah bilir kaç ışın saatini araştırma için kullanıp hiçbir başarı elde edememişti. Murray Gell-Mann, tüm madde gizlerinin bilgini, sık sık Fiziğin Totaliter kuralı denen bir şeyi yinelerdi: "Yasaklanmamış her şey zorunludur." Eğer yasalarımız bir olayı dıştalamıyorsa o yalnızca *olabilir* değildir *olmalıdır*! Bir elektron ve bir fotona parçalanan muon yasaklanmadığı için neden onu görmüyorduk? Bu mu-e-gama parçalanmasını yasaklayan neydi? ("gama" "foton" diye okunur.)

Her iki kriz heyecan vericiydi. Her ikisi de yeni fizik olasılığını sunuyordu. Kuramsal tahminler boldu ama deneysel kan kaynıyordu. Ne yapmalı? Biz deneyciler ölçmeli, çakmalı, kesmeli, yığmalı, kurşun blokları yapıştırmalıydık –bir şeyler *yapmalıydık*. Biz de yaptık.

CİNAYET A.Ş. VE İKİ–NÖTRİNO DENEYİ

Melvin Schwartz, Columbia'dan bir doçent Columbia'lı kuramcı T.D.Lee'nin 1959 Kasımındaki dertlerinin ayrıntılı bir gözden geçirilmesini dinledikten sonra BÜYÜK FİKRİyle ortaya çıktı. yüksek enerjili pion ışınını pionların bir kısmının, diyelim yüzde 10'unun, bir muon la bir nötrinoya parçalandığı yeterli bir boşluğa sürükleyerek neden bir nötrino ışını elde etmeyelimdi. Pionlar uçarken kaybolacaktı pionun başlangıç enerjisini paylaşan muonlar ve nötrinolar ortaya çıkacaktı. Böylece burada boşlukta uçan parçalanmış yüzde 10 piondan gelme muonlarımız ve nötrinolarımız, artı, yüzde 90 parçalanmamış pionumuz, artı pionları üreten hedeften bir demet çekirdek artığımız olacaktı. Şimdi dedi Schwartz hepsini büyük, kalın, diyelim 12 metre kalınlığında, bir çelik duvara yöneltelim. Duvar 12 milyon metre çeliği geçmekte zorlanmayacak nötrinolar dışında her şeyi tutacaktır. Duvarın öte yanında saf bir nötrino ışınımız olur ve nötrino yalnızca zayıf kuvvete boyun eğdiği için nötrino çarpışmaları yoluyla hem nötrinoyu hem de zayıf kuvveti inceleyecek elverişli bir yolumuz olur.

Şema hem 1 No.lu hem de 2 No.lu krize yönelikti. Mel'in fikri bu nötrino ışınının bize zayıf kuvveti milyon elektron voltta değil milyar elektron voltta inceleme olanağı verecekti. Bize zayıf kuvvetin yüksek enerjideki davranışı hakkında bir görüş kazandıracaktı. Ayrıca

nötrinoların bir biçimde işe karıştığı kavramına dayanarak muonların elektron artı fotonlara parçalanmasını neden görmediğimiz hakkında bazı fikirler sağlayabilirdi.

Fizikte çok sık olduğu üzere neredeyse eşdeğer bir fikir neredeyse eşzamanlı olarak bir Sovyet fizikçisi Bruno Pontecorvo tarafında yayınlandı. Eğer adı Rusçadan çok İtalyanca gibi geldiyse Bruno ideolojik nedenlerle Moskovaya iltica etmiş bir İtalyandır. Fiziği, fikirleri ve imgelemi yine de sıra dışıydı. Bruno'nun trajedisi düşgücüne dayalı fikirlerini aptallaştırıcı bir bürokratik sistem içinde gerçekleştirmeye çalışmasıydı. Uluslararası konferanslar bilimcilerin sıcak dostluklarını sergilediği yerlerdir. Moskova'daki böyle bir toplantıda bir arkadaşıma sordum "Yevgeni, söyle bana siz Rus fizikçilerden hanginiz gerçekten komünisttir?" Salonda etrafına bakındı ve Pontecorvo'yu gösterdi. Ama bu 1960'daydı.

CERN'de hoş bir ücretli izin yılından sonra 1959 sonlarında Columbia'ya döndüğümde zayıf kuvvetlerin krizleri üzerine tartışmaları bu arada Schwartz'ın fikrini dinledim. Schwartz bir biçimde var olan hiçbir hızlandırıcının yeterince yoğun bir nötrino ışını yapacak kadar güçlü olmadığı sonucuna varıyordu ama ben aynı düşüncede değildim. 30 GeV'luk AGS (Alternating Gradient Synchrotron sözcüklerinden) Brookhaven'da tamamlanmak üzereydi ve ben hesapları yapıp önce kendimi sonra da Schwartz'ı deneyin yapılabilir olduğuna inandırdım. 1960 için devasa bir deney tasarladık. Columbia'lı bir meslektaş Jack Steinberg de bize katıldı ve de öğrenciler ve doktora sonrası asistanlarla birlikte yedi kişilik bir grup olduk. Jack, Mel ve ben zarif ve nazik tavırlarımızla tanınırız. Bir keresinde üçümüz Brookhaven hızlandırıcısının döşemesinde yürürken bir gruptaki bir fizikçinin "İşte Cinayet Anonim Şirketi gidiyor" dediğini işitmiştim.

Nötrinolar dışında tüm parçacıkları bloke etmek için masif bir tarayıcının çevresine iskartaya çıkmış deniz kuvvetleri gemilerinden binlerce ton çelikten bir duvar yaptık. Bir keresinde röportaj yapan bir gazeteciye duvarı yapmak için *Missouri*'yi söktüğümüzü söyleme yanlışını yaptım. Adını karıştırmış olsam gerek çünkü *Missouri* hâlâ bir yerlerde duruyor. Ama sarmalama işi için gerçekten bir savaş gemisini parçaladık. Ayrıca savaş olursa gemiyi tekrar yapıştırmak zorunda kalacağımız esprisini yapma gafletinde de bulundum; bu öykü

süslenip püslendi ve kısa sürede deniz kuvvetlerinin bir savaş yüzünden bizim deneyimize haciz koyduğu biçiminde bir dedikodu çıktı (bu savaşın hangi savaş olduğu –yıl 1960'dı– bilmece olarak kaldı).

Bir biçimde benim topumla ilgili öykü de biraz uyduruldu. Otuz santimlik bir gemi topu bulduk; uygun bir namlusu ve kalın çeperleri vardı– güzel bir kolimatör, bir parçacık ışınını odaklama ve yöneltme aygıtı olacaktı. Bir filtre olarak onu berilyumla doldurmak istedik ama namlunun içinde derin yivler vardı. Bu nedenle sıska bir mezuniyet öğrencisini yivlere çelik yünü doldurmaya gönderdim. İçeride bir saat kadar geçirdi ve ateş basmış, ter içinde ve sinirli bir biçimde çıkıp "Ben gidiyorum!" dedi "Gidemezsin!" diye bağırdım. "Senin çapında başka öğrenciyi nereden bulurum ben?"

Hazırlıklarımız bittiğinde ıskarta geminin çeliği nötrinolar aluminyum çekirdekleriyle çarpışırsa çarpışma ürünleri gözlemlensin diye zarifçe yerleştirilmiş on ton aluminyumdan tarayıcıyı çevrelemişti. Sonunda kullandığımız kıvılcım odası denen tarayıcı fikri bir Japon fizikçi Shuji Fukui tarafından icat edilmişti. Yeni teknik üzerinde uzman olan Princeton'dan Jim Cronin'le konuşarak epey şey öğrendik. Schwartz en iyi düzenlemenin ne olduğuna ilişkin –birkaç kilodan on tona kadar yükselen– ardarda tartışmaları kazandı. Bu kıvılcım odasında iki buçuk santim kalınlığında aluminyum levhalar yaklaşık bir santim aralıklarla güzelce yerleştirilmişti ve birbirine komşu plakalara büyük bir voltaj farkı uygulanmıştı. Eğer yüklü bir parçacık aralıktan geçerse parçacığın izini bir kıvılcım izlerdi ve fotografı çekilebilirdi. Söylemesi ne kadar kolay! Tekniğin teknik problemleri yok değildi. Ama sonuçlar. Zap –ve çekirdekaltı bir parçacığın yolu ışıldayan neon gazının kırmızı–sarı ışığında farkediliyor. Sevimli bir aygıttı.

Kıvılcım odası modelleri yaptık ve onları niteliklerini öğrenelim diye elektron ve pion ışınlarının içine koyduk. O zamanın çoğu odaları otuz santimlik karelerdi ve on ila yirmi plak içerirdi. Bizim düzenlediğimiz tasarımın her biri yüz yirmi santimlik karelerden yüz plağı vardı. Her plak iki buçuk santim kalınlığındaydı çarpsınlar diye nötrinolara yalvarırlardı. Yedimiz aygıtı ve elektroniği bir araya getirmek için gece gündüz ve diğer zamanlarda çalıştık; her tür aygıt icat ettik, yarıküresel kıvılcım aralıkları, otomatik yapıştırıcı tesisleri, devreler. Mühendisler ve çeşitli teknisyenlerden yardım aldık.

1960'ın sonlarında çalıştırmaya başladık ve hemen bizim kıvılcım odalarımızı saran heybetli on iki metrelik çeliğimizden sızan ve sonuçlarımızı çarpıtan nötronların ve hedeften gelen başka artıkların yarattığı geri plan "gürültü"sü başımıza bela oldu. Milyarda bir parçacık bile geçse problem yaratıyordu. Milyarda biri geri planda bırakmak mucizenin yasal tanımıdır. Haftalarca nötronların sızabileceği çatlakları yamamakla boğuştuk. Döşemenin altındaki elektrik kanallarını bin zahmetle gözden geçirdik (Mel Schwartz araştırırken emekleyerek bir tanesinin içine girip sıkıştı ve bir sürü güçlü kuvvetli teknisyenin yardımıyla kurtarılması gerekti.) Her ince bölge eski savaş gemisinden paslı çelik bloklarla yamandı. Bir noktada Brookhaven'ın yepyeni hızlandırıcısının yöneticisi çizgiyi çekti: "bu pis blokları benim makinemin yanına yığmak için cesedimi çiğnemeniz gerek." Cesedi kalkanlamada gereksiz bir tümsek oluşturacağı için önerisini ciddiye almadık. Bu yüzden onu ikna ettik –hafifçe. Kasım sonunda geri plan denetlenebilir oranlara düşmüştü.

İşte yapıyor olduğumuz şey.

AGS'den gelen protonlar bir hedefe çarpıyor ve her çarpışmada ortalama üç pion yaratıyordu. Yaklaşık saniyede 10^{11} (100 milyar) çarpışma ürettik. Çeşitli nötronlar, protonlar, bazı antiprotonlar ve başka artıklar da ürüyordu. Yolumuza yöneltilen artıklar bizim aşılmaz çelik duvarımıza çarpmadan yaklaşık on beş metre yol alıyorlardı. Bu uzaklıkta pionların yaklaşık yüzde 10'u parçalanıyordu böylece milyarlarca nötrinodan birkaç on tanesi bizim oluyordu. Çok daha az sayıda nötrino doğru yönde, bizim on iki metrelik çelik duvarımıza yöneliyordu. Duvarın öbür yanında yaklaşık otuz santim ötede tarayıcımız, kıvılcım odası, uzanmış bekliyordu. Eğer şansımız yaver giderse bizim aluminyum kıvılcım odamızda haftada bir nötrino çarpışması göreceğimizi hesaplamıştık. Bu hafta boyunca hedef bizim genel doğrultumuzda yaklaşık 500 milyon milyar (5×10^{17}) parçacık püskürtmüş olacaktı. Bizim geri planı bu kadar ciddi bir biçimde azaltmamızın nedeni budur.

İki tür nötrino çarpışması umuyorduk: (1) bir nötrino bir alüminyum çekirdeğine çarpar ve bir muonla uyarılmış bir çekirdeğe neden olur ya da (2) bir nötrino bir çekirdeğe çarpar ve bir elektronla uyarılmış bir çekirdeğe neden olur. Çekirdekleri unutun. Önemli olan

bizim çarpışmadan muonların ve elektronların, bazı rastlantısal pionlar ve uyarılmış çekirdekten başka artıkların eşliğinde, eşit sayılarda çıkacağını ummamız.

Erdem utku kazandı ve sekiz aylık bir pozlama sonunda elli altı nötrino çarpışması gözlemledik; bunların beşi belki de sahteydi. Kulağa kolaymış gibi geliyor ama ilk nötrino olayını hiç ama hiç unutmayacağım. Bir haftalık veri toplamanın sonucu olan bir makara filmi banyo ettik. Çerçevelerin çoğu boştu ya da bazı apaçık kozmik ışın izleri gösteriyordu. Ama ansızın işte oradaydı: hızla uzaklaşan uzun, upuzun bir muon iziyle olağandışı bir çarpışma. Bu ilk olay mini Evreka anıydı, bu kadar çabadan sonra deneyin işe yarayacağına ilişkin kesinliğin flaşı.

İlk görevimiz bunların gerçekten nötrino olayları olduğunu kanıtlamaktı çünkü bu şimdiye dek bu türdeki ilk deneydi. Tüm deneyimizi seferber ettik ve şeytanın avukatlığını yaparak kendi sonuçlarımızda açıklar arayarak defalarca elden geçirdik. Ama veriler kaya sağlamlığındaydı ve şimdi halka açılma zamanıydı. Sonuçları meslektaşlarımıza sunmak için yeterince güven duyduk. Schwartz'ın tıklım tıklım dolu bir Brookhaven konferans salonundaki konuşmasını dinlemeliydiniz. Bir hukukçu gibi olası tüm seçenekleri tek tek çürüttü. Dinleyicilerde gülümseme ve göz yaşları vardı. Kendinden geçmişçesine hıçkıran Mel'in annesine yardım etmek icap etti.

Deneyin üç (her zaman üçtür) büyük sonucu vardı. Pauli'nin ilk kez çekirdekten bir elektronun fırlatıldığı beta parçalanmasındaki kayıp enerjiyi açıklamak için nötrinonun varlığını öne sürdüğünü anımsayın. Pauli'nin nötrinoları her zaman elektronlarla birlikteydi. Ancak bizim hemen hemen tüm olaylarımızda nötrino çarpışmasının ürünü bir muondu. *Bizim* nötrinolar elektron üretmeyi reddediyorlardı. Neden?

Kullanmakta olduğumuz nötrinoların yeni bir özgül nitelik olan "muon-luk" taşıdığı sonucuna varmak zorundaydık. Bu nötrinolar pionların parçalanması sırasında bir muonla birlikte doğdukları için bir biçimde "muon" onlara damgalanmıştı.

Genetik olarak kuşkucu dinleyicilere bunu kanıtlamak için bizim aygıtımızın muonları daha kolay algılamadığını bu nedenle de –

aptalca bir tasarımla– elektronları taramaktan aciz olmadığını bilmek ve göstermek zorundaydık. Galileo'nun teleskop problemi yine ortadaydı. Neyse ki eleştirmenlerimize aygıtımıza elektron tarama yeteneği verdiğimizi ve aslında bunu elektron test ışınlarıyla sınamış olduğumuzu gösterebildik.

Bir başka geri plan etkisi deniz düzeyinde muonlardan ibaret olan kozmik radyasyondan çıktı. Tarayıcımızın arkasından gelen ve ortada duran bir kozmik ışın muonu daha küçük fizikçiler tarafından yanlışlıkla çıkan nötrinolardan türeyen aradığımız muonlar sanılabilirdi. Buna karşı bir "blok" inşa etmiştik ama çalıştığından nasıl emin olabilirdik?

Anahtar, makine kapatıldığı zaman da –ki bu yaklaşık zamanın yüzde 50'sini kapsıyordu– tarayıcının çalıştırılmaya devam edilmesiydi. Hızlandırıcı kapalıyken gösterilen herhangi bir muon davetsiz kozmik ışınlar olacaktı. Ama hiç ortaya çıkmadılar; kozmik ışınlar bizim bloğumuzu geçememişti.

Tüm bu teknik ayrıntılardan deney yapmanın çok kolay olmadığını ve bir deneyin yorumunun incelikli bir iş olduğunu size göstermek için söz ediyorum. Heisenberg bir keresinde bir meslektaşa bir yüzme havuzunun girişinden söz etmişti "Bu insanların tümü içeriye girerken ve dışarıya çıkarken çok düzgün giyimli olurlar. Bundan onların giysileriyle yüzdüğü sonucunu çıkarır mısın?"

Deneyden bizim –ve çoğu başkalarının– çıkardığı sonuç doğada (en az) iki nötrino bulunduğuydu –biri elektronlara eşlik eden (sade vanilyalı Pauli nötrinoları) ve diğeri muonlara eşlik eden. Bu nedenle onlara elektron nötrinoları (sade) ve muon nötrinoları, bizim deneyimizde ürettiğimiz türden nötrinolar, adını verdik. Ayrım şimdi standart modelin mizahi dilinde "koku" diye adlandırılır ve insanlar küçük bir tablo yapmaya başlamışlardır:

elektron nötrinosu	muon nötrinosu
elektron	muon

ya da fiziksel kısaltmalarla:

υ_e	υ_μ
e	μ

Elektron, kuzeni elektron nötrinosunun altına yerleşir (alt indisle gösterilmiş)·muon da muon nötrinosu kuzeninin altına. Bu deneyden önce güçlü kuvvete uymayan üç lepton -e, υ ve μ- bildiğimizi anımsayalım. Şimdi dört tane var: e, υ_e, μ ve υ_μ. Deney her zaman İki Nötrinolar Deneyi diye bilinir ki bilmeyen insanlar İtalyan dans grubu zannederler. Bunun standart model ceketine dikilmiş düğme olduğu ortaya çıktı. Düşey olarak yerleşmiş iki lepton, noktamsı parçacık, "ailesi" olduğuna dikkat edin. Elektron ve elektron nötrinosu ilk aile olup evrenimizde her yerde bulunur. İkinci aile muon ve muon nötrinosundan ibarettir. Muonlar bugün evrende hazır olarak bulunmaz ama hızlandırıcılarda ya da kozmik ışınların ürettiği gibi başka yüksek enerji çarpışmalarında üretilmeleri gerekir. Evren genç ve sıcakken bu parçacıklar boldu. Elektronun ağır kardeşi muon ilk keşfedildiğinde I.I.Rabi "kim ısmarladı bunu?" demişti. İki nötrino deneyi yanıtın erken ipuçlarından birini sağlamıştır.

İşte böyle. İki farklı nötrino bulunduğu olgusu kayıp mu-e-gama reaksiyonu krizini çözdü. Yeniden gözden geçirmek gerekirse bir muon bir elektronla bir fotona parçalanmalıydı ama pek çok kişi uğraştığı halde hiç kimse bu reaksiyonu tarayamamıştı. Bir süreçler dizisi olmalıydı: bir muon önce bir elektron ve iki nötrinoya –doğal bir nötrino ve bir antinötrino– parçalanmalıydı. Bu iki nötrino madde ve karşımadde olduklarından sonra yok olmalı ve bir foton üretmeliydiler. Ama hiç kimse bu fotonları görmüyordu. Nedeni şimdi anlaşılmıştı. Açık olarak artı muon bir pozitronla iki nötrinoya parçalanıyordu ama bunlar bir elektron nötrinosu ile bir antimuonun nötrinosuydular. Bunlar birbirini yok etmiyordu çünkü farklı ailedendiler. Nötrino olarak kalıyorlardı ve hiçbir foton üremiyordu bu yüzden de mu-e-gama reaksiyonu yoktu.

Cinayet A.Ş. deneyinin ikinci sonucu fizik için yeni bir âletin yaratılmasıydı: sıcak ve soğuk akan nötrino ışınları. Bu zamanla CERN' de, Fermilab'da. Brookhaven'da ve Serpuhkov'da (SSCB) ortaya çıktı. AGS deneyinden önce nötrinoların varlığından bile tam olarak emin olmadığımızı anımsayın. Şimdi istediğimiz zaman onlardan oluşan ışınlarımız vardı.

Bazılarınız burada bir konudan kaçındığımı fark etmiş olabilir. 1.No.lu krize, zayıf kuvvet eşitliğimizin yüksek enerjilerde çalışma-

ması olgusuna ne oldu? Aslında bizim 1961 deneyimiz çarpışma oranının enerjiyle *arttığını* gösterdi. 1980'lere doğru yukarıda sözü edilen hızlandırıcı laboratuarları –daha yüksek enerjilerde daha yoğun ışınlar ve yüzlerce tonluk tarayıcılar kullanarak– dakikada birkaç tane hızıyla (bizim 1961'deki haftada bir ya da iki ürünümüzden epeyce iyi) milyonlarca nötrino olayı topluyorlardı. Böyle olduğu halde zayıf etkileşimlerin yüksek enerji krizi epeyce aydınlatılmasına karşın çözülmedi. Nötrino çarpışmalarının oranı düşük enerji kuramının öngördüğü gibi daha yüksek enerjide artıyordu. Ancak çarpışma hızının olanaksız derecede büyük olacağı korkusu 1982'de W parçacığının keşfiyle yatıştı. Bu, kuramı düzelten ve daha narin ve nazik bir davranışa yol açan yeni fiziğin bir kesimiydi. Bu, krizi şeye erteledi, evet oraya döneceğiz.

BREZİLYA BORÇLARI, KISA ETEKLER YA DA BUNUN TERSİ

Deneyin üçüncü sonucu Schwartz, Steinberger ve Lederman'ın fizikte Nobel Ödülü'yle ödüllendirilmeleri oldu ama 1988'den önce değil, araştırma yapıldıktan yirmi yedi yıl kadar sonra. Bir yerlerde yeni ödüllenmiş birinin küçük oğluyla yapılan bir röportaj işitmiştim: "Sen de baban gibi Nobel Ödülü kazanmak istiyor musun?" "Hayır!" demiş genç adam. "Hayır mı? Neden?" Ben onu tek başıma almak istiyorum."

Ödül. Bir çift sözüm var. Nobel, biz alandakilerin çoğu için ürkütücüdür; belki de Roentgen'le (1901) başlayıp aralarında Rutherford, Einstein, Bohr ve Heisenberg'in de bulunduğu kahramanlarımızın bir çoğuyla süren kazananlar listesinin görkemi yüzünden. Ödül, onu kazanan meslektaşa belli bir aura verir. Ormanda birlikte çişimizi yaptığımız en iyi arkadaşımız bile Ödülü kazansa gözümüzde onu bir biçimde değiştirir.

Çeşitli zamanlarda aday gösterildiğimi biliyordum. Ödülü 1956'da keşfettiğim "çok yaşa nötr kaon" için alınış olabilirdim çünkü bu çok olağandışı bir nesneydi, bugün hayati YD simetrisi çalışmalarında bir âlet olarak kullanılıyor. Onu (C.S.Wu ile birlikte) pionun denklik araştırması için de alınış olabilirdim ama Stockholm bizim yerimize

kuramsal başlatıcıları onurlandırmayı seçti. Aslında bu mantıklı bir karar. Yine kutuplaşmış muonların ve asimetrik parçalanmaların yan ürün keşfi yoğun madde ve atom ve molekül fiziğinde o kadar yaygın uygulamalara yol açmıştır ki bu konuda düzenli olarak uluslararası konferanslar düzenlenir.

Yıllar geçtikçe Ekim her zaman sinirli bir ay oldu ve Nobel adları açıklandığında sevgili çocuklarımdan bir ya da öteki bir "Nasıl olur...?" telefonu etmeye başladılar. Aslında Ödülü alamayacak ama başarıları ayırt edilmiş olanlara eşdeğer pek çok fizikçi vardır –ve bunun kimya, tıp ve bilimdışı adaylar için de geçerli olduğundan eminim. Neden? Bilmiyorum. Kısmen şans, koşullar, Allah'ın takdiri.

Ama ben şanslıydım ve hiçbir zaman fark edilme yoksunluğu çekmedim. Yapmayı sevdiğim şeyi yaparak 1985'de Columbia'da kadrolu profesör oldum ve epeyce iyi maaş aldım. (Bir Amerikan Üniversitesinde profesör olmak Batı uygarlığındaki en iyi iştir. İstediğiniz her şeyi yapabilirsiniz hattâ eğitim bile verebilirsiniz!) Araştırmam zorluydu 1956-1979 yılları boyunca (ki bu sırada Fermilab'ın yöneticisi oldum) elli iki mezuniyet öğrencisinin yardımıyla yürüdü. Ödüller verildiğinde çoğu kez almaya gidemeyecek kadar meşgul olurdum: Ulusal Bilim Akademisine seçilme (1964) Başkanın Bilim Madalyası (Lyndon Johnson 1965'de onu bana verdi) ve diğer çeşitli madalya ve plaketler. 1983'de Martin Perl ve ben İsrail devleti tarafından verilen Wolf Ödülünü üçüncü kuşak quarkları ve leptonları (**e** quark ve **tau** lepton) keşfettiğimiz için paylaştık. Onursal unvanlar da geldi ama o bir satıcı piyasasıdır çünkü her yıl onurlandırmak için dört ya da beş kişi arayan yüzlerce üniversite var. Tüm bunlarla insan biraz güven kazanıyor ve Nobel'e karşı sakin bir tutum takınmaya başlıyor.

Sonunda 10 Ekim 1988'de sabah 6.^{00}'da bildiri geldiğinde gizli bir kontrol edilemez coşku nöbetini başıboş bıraktı. Karım Ellen ve ben çok saygın bir biçimde haberi aldıktan sonra telefon çalmaya ve hayatımız değişmeye başlayana dek histerik kahkahalar attık. *New York Times*'dan bir röportajcı ödül parasıyla ne yapacağımı sorduğunda bir yarış atı koşumu ya da İspanya'da bir şato alınak arasında kararsız olduğumu söyledim[1]; o da bunu olduğu gibi yazdı. Tabii bir hafta

[1] *[Her ikisi de düş kırmak anlamına iki deyim -çev.]*

sonra gerçek bir emlak komisyoncusu beni arayıp Kastilya'da kelepir bir şatodan söz etti.

Zaten ünlü olduğunuzda Nobel Ödülü kazanmanın ilginç yan etkileri var. 2200 çalışanı olan Fermilab'ın yöneticisiydim ve kadro, gündemin ön sırasını almanın rehavetine girdi, olayı erken bir yılbaşı hediyesi gibi aldılar. Herkes zaten oldukça gülünç olan ama ansızın Johnny Carson'la denk görülmeye başlayan (ve de gerçekten önemli insanlar tarafından ciddiye alınmaya başlayan) patronu dinleyebilsin diye laboratuar çapında bir toplantı bir çok kez yinelendi. Chicago *Sun-Times* NOBEL YUVAYA DÜŞTÜ başlığıyla beni sarstı[1] *New York Times* ise birinci sayfaya benim dilimi çıkarmış bir resmimi koydu –çizginin üstüne!

Bunların tümü geçer ama geçmeyen, toplumun unvan karşısındaki şaşkınlığıdır. Tüm kentteki davetlerde fizikte 1988 Nobel *Barış* Ödülü sahibi diye tanıtıldım. Ve ne zaman Chicago devlet okullarına yardım etmek için oldukça görülmeye değer, hattâ çılgınca bir şeyler yapmak istesem kutsal Nobel suyu işe yaradı. İnsanlar dinledi, kapılar açıldı ve ansızın kenar mahalle okullarında bilim eğitimi için bir programımız oldu. Ödül, insana toplumsal olarak doyum veren etkinlikler için inanılmaz bir bilettir. Madalyonun öteki yüzü Ödülü ne için almış olursanız olun ansızın her konuda uzman kesilirsiniz. Brezilyanın borçları? Tabii. Sosyal Güvenlik? Evvet. "Söyleyin Profesör Lederman kadınların etekleri ne uzunlukta olmalı?" "Olabildiğince kısa" diye yanıtlar ödül sahibi yüreğindeki kösnüllükle. Ama asıl niyetim Ödülü Birleşik Devletlerde bilim eğitiminin gelişmesi için utanmazca kullanmaktır. Bu görevi yerine getirmek için ikinci bir ödül çok işe yarardı.

Güçlü Kuvvet

Zayıf kuvvetin karışıklıklarıyla başa çıkmadaki zaferler dikkate değerdi. Ama hâlâ şu yüzlerce hadron, tümü de güçlü kuvvete, çekirdeği bir arada tutan kuvvete, tabi olan bir parçacıklar ordusu bizi

---

[Strike Home aynı zamanda etkiledi demek -çev.]

rahatsız ediyordu. Parçacıkların bir dizi niteliği vardı: yük, kütle ve dönme sözünü ettiğimiz bazıları.

Örneğin pionlar. Bir çok çarpışmada incelendikten sonra bir aile olarak –gariptir. pion ailesi– bir araya yerleştirilen birbirine yakın üç farklı pion vardır. Onların elektrik yükü artı bir, eksi bir ve sıfırdır (nötr). Tüm hadronların bir aile öbeği içinde olduğu ortaya çıkmıştır. Kaonlar şöyle dizilir: K^+, K^-, K^0, $\overline{K}^0$ (+, ve 0 işaretleri elektrik yükünü gösterir. İkinci nötr kaonun tepesindeki çizgi onun bir karşı-parçacık olduğuna işarettir.) Sigma ailesi şöyle bir tablo çizer: Σ^+, Σ^0, Σ^-. Size çok daha tanıdık bir grup nukleon ailesidir: nötron ve proton, atom çekirdeğinin öğeleri.

Aileler güçlü çarpışmalarda benzer kütle ve benzer davranış gösteren parçacıklardan ibarettir. Bu fikri daha özgül olarak ifade etmek için "izotopsal dönme" ya da izospin terimi icat edilmiştir. İzospin, bizim "nukleon" kavramına iki izospin durumunda görünen tek bir nesne olarak bakmamızı sağladığı için yararlıdır: nötron ya da proton. Benzer biçimde "pion" üç izospin durumunda ortaya çıkar: π^+, π^-, π^0. İzospinin bir başka yararlı özelliği güçlü çarpışmalarda yük gibi korunan bir nicelik olmasıdır. Bir protonla bir antiprotonun dehşetli çarpışması kırk yedi pion sekiz baryon ve başka zımbırtılar üretebilir ama toplam izotopsal dönme sayısı sabit kalır.

Konu, fizikçilerin bulabildikleri kadar çok niteliğe göre bu hadronları sınıflandırarak bir anlam çıkarmaya çalıştıkları. Böylece bir sürü gülünç adlı nitelik vardır: gariplik sayısı, baryon sayısı, hiperon sayısı v.b. Neden "sayı"? Çünkü bunların tümü kuantum nitelikleridir bu yüzden kuantum sayılarıdır. Ve kuantum sayıları korunum ilkelerine uyar. Bu, kuramcılara ve deney dışında deneycilere hadronlarla oynama, onları düzenleme ve belki de biyologlardan esinlenerek onları daha büyük aile yapıları içinde sınıflama izni verir. Kuramcılar temel eşitliklerin böylesi derin simetrilere uyduğu inancını izleyerek matematiksel simetri kuralları tarafından yönlendirirler.

Özellikle başarılı bir düzenleme 1961'de Cal Tech kuramcısı Murray Gell-Mann tarafından geliştirildi; Gell-Mann, şemasına Buda'nın öğretisine dayanarak Sekiz Katlı Yol demişti: "Bu soylu Sekiz Katlı Yoldur: yani doğru görüşler, doğru niyet, doğru konuşma...

Gell-Mann neredeyse büyülü bir biçimde hadronları sekiz ve on parçacıklık tutarlı gruplar halinde ilişkilendirdi. Budizmi anıştırma, fizikte çok sık olduğu üzere yalnızca mizaha başka bir yolculuktu ama çeşitli mistikler bu ada dünyanın doğru düzeninin Doğu mistizmiyle ilişkili olduğunun bir kanıtı olarak tutundular.

1970'lerin sonlarında aşağı quarkın keşfiyle ilişkili olarak Fermilab bülteni için kısa yaşamöykümü yazmam istendiğinde başımı derde soktum. Batavia'daki çalışma arkadaşlarım dışında kimsenin okumayacağını umarak öyküye "Yetkisiz bir Özyaşamöyküsü" yazan: Leon Lede-rman başlığını attım. Öykünün ele geçirilip CERN bülteninde ve sonra da Amerikan İleri Bilim Birliğinin resmi yayın organı *Science*' da yayınlanması ve Birleşik Devletlerde binlerce bilimcinin yüzlercesi tarafından okunması nedeniyle dehşete düştüm. Öyküde şunlar vardı: "Onun [Lederman'ın] en büyük yaratıcılık dönemi 1956'da Gell-Mann'ın nötr K mezonlarının olası varlığı üzerine bir konferansını dinlemesiyle başladı. İki karar verdi: Birincisi, adını ikiye böldü..."

Her neyse başka bir adla da bir kuramcı başarılı olabilirdi ve Gell-Mann'ın Sekiz Katlı Yolu Mendeleev'in elementlerin periyodik tablosunu anımsatan ama kuşkusuz çok daha kalabalık olan hadron parçacıkları kartlarına neden oldu. Mendeleev'in tablosunun element sütunlarının benzer özellikler taşıdığını anımsıyor musunuz? Bu periyodiklik, henüz elektronlar hakkında hiçbir şey bilmediğimiz zamanda bile elektronların kabuk yapısına ilişkin içsel bir örgütlenme bulunduğunun bir ipucuydu. Atomların içinde bir şeyler atomun büyüklüğü arttıkça bir örüntü oluşturarak yinelenmekteydi. Atom anlaşıldıktan sonra geriye bakınca bu açık bir hal almış olsa gerek.

QUARKIN ÇIĞLIĞI

Kuantum sayılarına göre düzenlenmiş hadron örüntüleri de altyapı diye bağırıyordu. Ancak çekirdek altı oluşumların çığlığını işitmek kolay değildi. İki keskin kulaklı fizikçi bunu işitip yazdılar. Gell-Mann matematiksel yapılar diye adlandırdığı şeylerin varlığını önerdi. 1964'de örgütlenmiş hadron örüntülerinin eğer üç "mantıksal yapı" varsa açıklanabileceğini öne sürdü. Bu yapılara "quarklar" adını verdi.

Sözcüğü James Joyce'un şeytani romanı *Finnegans Wake*'den aldığına inanılır ("Muster Mark için üç quark!")[1] Gell-Mann'ın bir meslektaşı George Zweig, CERN'de çalışırken benzer bir fikre sahipti; o kendi üç şeyine "aslar" adını vermişti.

Bu verimli fikrin kesin olarak nasıl ortaya çıktığını belki de asla bilemeyeceğiz. Bir çeşitlemeyi biliyorum çünkü ben oradaydım – 1963'de Columbia Üniversitesinde. Gell-Mann hadronların sekiz katlı simetrisini anlatırken Columbia'lı bir kuramcı, Robert Serber "sekiz" örgütünün temellerinden birinin üç alt birim içereceğine işaret etti. Gell-Mann katıldı ama eğer bu alt birimler parçacıklarsa *üçüncü*-integral elektrik yükleri –1/3, 2/3, –1/3 v.b.– olması gibi hiç işitilmemiş bir özelliği taşımalıydılar.

Parçacık dünyasında tüm elektrik yükleri elektronun yükü terimleriyle ölçülür. Tüm elektronların kesin olarak 1.602193×10^{-19} coulomb yükü vardır. Coulombun ne olduğuna boş verin. Yalnızca az önceki karmaşık sayıyı bir yük birimi olarak aldığımızı ve ona 1 dediğimizi bilin çünkü o elektronun yüküdür. Buna uygun olarak protonun yükü de 1.0000'dir; tıpkı yüklü pionun, muonun (burada kesinlik çok daha fazladır) v.b. olduğu gibi. Doğada yükler tam sayılar olarak ortaya çıkar –0,1,2 Tüm tam sayılar yukarıda verilen coulombların katları olarak anlaşılır. Yükler ayrıca iki türde ortaya çıkarlar: artı ve eksi. Neden olduğunu bilmiyoruz. Onlar böyle. İnsan elektronun ezici bir çarpışmada ya da bir poker oyununda elektrik yükünün yüzde on ikisini kaybettiği bir dünya düşleyebilir. Ama bu dünyada değil. Elektron, proton, pi artı ve ark.nın yükü her zaman 1.0000'dir.

Bu nedenle Serber üçüncü-integral yüklü parçacıklar fikrini ortaya attığı zaman –unut gitsin. Böyle şeyler hiçbir zaman görülmemişti ve gözlemlenen tüm yüklerin değişmeyen tek bir standart yükün tam sayı katlarına eşit olması gibi garip bir olgu zaman içinde fizikçilerin sezgisiyle bütünleşmişti. Elektrik yükünün bu "nicelendirilmesi" aslında ondan sorumlu daha derin simetrilerin aranması için kullanılmıştı. Ancak Gell-Mann quark hipotezini gözden geçirip yeniden önerdi;

---

[1] *[Joyce'un romanı bir meyhaneci aileyi anlatır. Muster hem Mister hem Master olabilir.–çev.]*

quarkların gerçek değil uygun matematiksel yapılar olduğunu öne sürerek konuyu daha da bulanıklaştırdı ya da hiç değilse bazılarımıza öyle geldi.

1964'de doğan üç quark bugün "yukarı", "aşağı" ve "garip" ya da **y**, **a** ve **g** diye adlandırılır. Kuşkusuz üç de antiquark vardır: $\bar{\mathbf{y}}$, $\bar{\mathbf{a}}$ ve $\bar{\mathbf{g}}$. Quarkların nitelikleri özenle seçilmelidir öyle ki bilinen tüm hadronları inşa etmede kullanılabilsinler. **y** quarkına +2/3'lük bir yük verilir; **a** quarkı **g** gibi -1/3'tür. Antiqarkların eşit ama zıt yükleri vardır. Diğer kuantum sayıları da doğru olarak eklenebilecek biçimde seçilir. Örneğin proton üç quarktan yapılmıştır –**yya**– yükleri +2/3, +2/3 ve -1/3'tür, toplam proton hakkında bildiklerimizle alay eden +1.0 olur. Nötron bir **yaa** bileşimidir ve yükleri +2/3, -1/3, -1/3'tür ve toplam 0.0 olur ki bu da anlamlıdır çünkü nötron nötrdür, sıfır yüklü.

Tüm hadronlar quarklardan oluşmuştur, quark modeline göre bazen üç bazen iki quarktan. İki hadron sınıfı vardır: baryonlar ve mezonlar. Protonların ve nötronların akrabası olan baryonlar üç quarklıdırlar. Pionları ve kaonları da içeren mezonlar iki quarktan oluşur –ama onlar bir quarkla birleşmiş bir antiquark olmalıdır. Bir örnek $\mathbf{y}\bar{\mathbf{a}}$ olan artı piondur (π^+). Yük +2/3 +1/3 olup 1'e eşittir. (**a** çizginin, anti aşağı quarkın +1/3 lük yükü olduğuna dikkat edin.)

Bu erken hipoteze biçim verirken quarkların kuantum sayıları ve dönme, yük, izospin v.b. nitelikleri bir baryon (proton, nötron, lambda filan) ve mezon için saptanmıştı. Sonra bu sayıların ve diğer geçerli kombinasyonların bilinen yüzlerce hadronun tümüne uyduğu bulundu. Tümüyle işe yaradı! Ve bir bileşiğin –örneğin bir protonun– tüm özellikleri onun bileşen quarklarının birbiriyle sıkı etkileşim içinde olması sayesinde sınıflandırıldı. Sonunda fikir buydu ve kuramcı kuşaklarına ve kuşkusuz bilgisayar kuşaklarına da verileri ele alma görevi verildi.

Quark kombinasyonları ilginç bir soru ortaya çıkarır. Birlikte olduğu insanın davranışını değiştirmek bir insan özelliğidir. Ancak göreceğimiz gibi quarklar asla tek başına değildir; bu nedenle onların gerçek değiştirilmemiş özellikleri yalnızca onları inceleyebileceğimiz çeşitli koşullardan uslamlanabilir. Ne olursa olsun işte bazı tipik quark kombinasyonları ve onların ürettiği hadronlar:

BARYONLAR	MEZONLAR
yya proton	$y\bar{a}$ artı pion
yaa nötron	$a\bar{y}$ eksi proton
yag lambda	$y\bar{y} + a\bar{a}$ nötr pion
yyg sigma artı	$y\bar{g}$ artı kaon
aag sigma eksi	$g\bar{y}$ eksi kaon
yag sigma sıfır	$a\bar{g}$ nötr kaon
agg ksi eksi	$\bar{a}g$ nötr antikaon
ygg ksi sıfır	

Fizikçiler görünürde temel yüzlerce nesneyi sadece üç çeşit quarkın bileşimlerine indirgemekle görkemli bir başarının zaferini elde ettiler. ("Aslar" terimi kaybolup gitti –iş ad vermeye gelince kimse Gell-Mann'la başa çıkamaz.) İyi bir kuramın *tahminde* bulunup bulunamayacağını ve quark hipotezinin korunup korunmadığını sınamak parlak bir başarı oldu. Örneğin üç garip quark kombinasyonu, **ggg**, keşfedilmiş parçacıkların kayıtları arasında yoktu ama bu bizi ona bir ad vermekten alıkoymadı: omega eksi (Ω^-). Garip quark içeren parçacıkların özellikleri olduğu için üç garip quarklı hadron **ggg** de tahmin edilebilirdi. Omega eksi hayranlık uyandıran bir imzası olan garip bir parçacıktı. 1964'de bir Brookhaven kabarcık odasında keşfedildi ve tastamam Dr.Gell-Mann'ın ısmarladığı gibiydi.

Her şey hallolmuş değildi –düşük olasılıklı bir kumarla değil. Bir yığın soru: başlayanlar için; quarklar birbirine nasıl yapışır? Bu güçlü kuvvet önümüzdeki otuz yıl boyunca binlerce kuramsal ve deneysel makalenin konusu olacaktı. Söylenmesi çok zor "kuantum kromodinamiği" başlığı quarkları birbirine yapıştırmak (!!) için yeni bir haberci parçacıklar sürüsünü, gluonları, öngörüyordu. Hepsi zamanı gelince.

KORUNUM YASALARI

Klasik fizikte üç büyük korunum yasası vardır: enerji, doğrusal moment, açısal moment. 8. Bölümde göreceğimiz gibi bunların zaman ve uzay kavramlarıyla derinden ilişkili oldukları gösterilmişti. Kuantum kuramı korunan pek çok sayıda ek nicelik getirdi; yani onlar çeşitli çekirdekaltı, çekirdek ve atom süreci sırasında değişmiyordu. Örnekler elektrik yükü, denklik ve izospin, gariplik, baryon sayısı ve lepton sayısı gibi bir yeni özellikler yığınıdır. Doğanın kuvvetlerinin değişik korunum yasalarına uymalarına göre değiştiklerini öğrenmiştik; örneğin denklik güçlü ve elektromanyetik kuvvetlere boyun eğer ama zayıf kuvvete eğmez.

Bir korunum yasasını sınamak için insan belli bir özelliği, diyelim elektrik yükünü reaksiyondan önce ve sonra saptayabildiği pek çok sayıda reaksiyonu inceler. Enerji korunumu ve moment korunumunun son derece katı bir biçimde kurulduğunu ve bazı zayıf süreçlerin onları ihlal ettiği ortaya çıktığında koruyucu düzenek olarak nötrinonun varsayıldığını ve öyle de olduğunu anımsayın. Bir korunum yasasının varlığının başka ipuçları belirli reaksiyonların ortaya çıkmasının reddedilmesiyle ilişkilidir. Örneğin bir elektron iki nötrinoya parçalanmaz çünkü bu yük korunumunu ihlal ederdi. Bir başka örnek proton parçalanmasıdır. Bunun olmadığını anımsayın. Protonların nihai olarak onların üç quarklı yapısından türeyen bir baryon sayıları vardır. Bu yüzden protonlar, nötronlar, lambdalar, sigmalar vb. –tüm üç quarklı dostlar– +1 baryon sayısı taşırlar. Bunlara uyan karşıparçacıkların baryon sayıları –1'dir. Tüm mezonların, kuvvet taşıyıcılarının ve leptonların baryon sayısı 0'dır. Eğer baryon sayısı sıkıca korunursa o zaman en hafif baryon, proton, hiçbir zaman parçalanamaz çünkü tüm daha hafif parçalanma ürünü adayların baryon sayısının 0 olması gerekir. Kuşkusuz bir proton-antiproton çarpışmasının toplam baryon sayısı 0'dır ve herhangi bir şeyin ortaya çıkmasına yol açabilir. Bu yüzden baryon sayısı protonun neden kararlı olduğunu açıklar. Bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya parçalanan nötron ve bir nötron, bir pozitron ve bir nötrinoya parçalanabilen çekirdek içindeki proton baryon sayısını korur.

Sonsuza dek yaşayacak arkadaşa çok yazık. Proton pionlara parçalanamaz çünkü baryon sayısı korunumunu ihlal ederdi. Enerji korunu-

mu yüzünden bir nötron, bir pozitron ve bir nötrinoya parçalanamaz. Yük korunumu yüzünden nötrinolara ya da fotonlara parçalanamaz. Daha başka korunum yasaları da vardır ve korunum yasalarının dünyayı biçimlendirdiğini duyumsarız. Açıkça görüldüğü üzere eğer proton parçalansaydı bu varlığımızı tehdit ederdi. Kuşkusuz bu protonun ömrüne bağlıdır. Evren on beş milyar kadar yaşta olduğu için bundan *daha* uzun bir ömür Cumhuriyetin yazgısını pek fazla etkilemeyecektir.

Ancak daha yeni birleşik alan kuramları baryon sayısının ***katı bir biçimde*** korunmayacağını öngörür. Bu öngörü proton parçalanmalarını izlemeye ilişkin etkileyici çabaları kışkırtmıştır ama bugüne dek bir başarı elde edilmemiştir. Ama *yaklaşık* korunum yasalarının varlığını ortaya koyar. Denklik bir örnekti. Gariplik bir kısım baryonların parçalanabilecekleri her olası son duruma karşın neden yaşamaları gerekenden daha uzun ömürlü olduklarını anlamak için geliştirildi. Daha sonra bir parçacıktaki –örneğin lambda ya da kaon– garipliğin **g** quarkının varlığı anlamına geldiğini öğrendik. Ama lambda ve kaon da parçalanır ve süreç sırasında **g** quarkı daha hafif **a** quarkına değişir. Ancak bu zayıf kuvveti içerir –güçlü kuvvetin bir **g→a** sürecinde hiçbir rolü yoktur; başka bir deyişle güçlü kuvvet gariplği korur. Zayıf kuvvet zayıf olduğu için lambda, kaon ve onun ailesindeki üyelerin parçalanmaları yavaş ve ömrü uzundur – izin verilmiş bir sürecin tipik olarak sürdüğü 10^{-23} saniye yerine 10^{-10} saniye.

Korunum yasalarındaki çoğu deneysel tutamak şanslıdır çünkü önemli bir matematiksel kanıt, korunum yasalarının doğanın uyduğu simetrilerle ilişkili olduğunu göstermiştir. (Ve Thales'ten Sheldon Glashow'a dek simetri oyunun adı olmuştur.) Bu bağlantı 1920 dolaylarında bir kadın matematikçi, Emmy Noether tarafından keşfedildi.

Ama biz öykümüze dönelim.

NIOBIUM TOPLARI

Omega eksi ve öteki başarılara karşın hiç kimse hiçbir zaman bir quarkı görmemişti. Burada fizikçinin bakış açısından konuşuyorum dinleyicilerin arasındaki kuşkucu hanımın bakış açısından değil. Zweig, başlangıçtan beri asların/quarkların gerçek oluşumlar olduğunu

öne sürmüştü. Ama Fermilab'ın şimdiki yöneticisi John Peoples quark araştırmalarında genç bir deneyciyken Gell-Mann onlara aldırış etmemesini quarkların yalnızca "bir hesap oyunu" olduğunu söylemişti.

Bir deneyciye bunu söylemek meydan okumak gibi bir şeydir. Quark araştırmaları her yerde başladı. Kuşkusuz ne zaman bir yere "Aranıyor" levhası assanız sahte ihbarlar ortaya çıkar. İnsanlar maddenin yakaladığı gülünç bir elektrik yükü için kozmik ışınların, okyanus dibi çökeltilerinin, eski güzel şarapların ("Hık! Burada hij quark yok!) içine baktılar. Tüm hızlandırıcılar quarkları hapishanelerinden ezip çıkarma girişimleri için kullanıldı. 1/3 ya da 2/3'lük bir yükü bulmak oldukça kolay olacaktı ama yine de çoğu araştırmanın boşuna olduğu ortaya çıktı. Stanford Üniversitesinden bir deneyci minik, özenle işlenmiş saf niobiumdan toplar kullanarak bir quark yakaladığını bildirdi. Yinelenemeyince deney gözden düştü ve saygısız öğrenciler "Quarkları yakalamak için niobiumdan topların olmalı"[1] yazılı T-şörtler giydiler.

Quarklar hayaletsiydiler, serbest quarkları bulamamak ve özgün kavramın karışık duygular barındırması kavramın benimsenmesini altmışların sonlarına kadar yavaşlattı ta ki farklı bir sınıf deney quarklara ya da quark benzeri şeylere gereksinim duyana dek. Quarklar çok büyük sayıda hadronun varlığını açıklamak ve sınıflandırmak için icat edilmişti. Ama eğer bir protunun üç quarkı varsa neden onları göstermiyordu? Yaa, erken vazgeçmiştik. "Görülebilir"lerdi. Rutherford yine öne çıkmıştı.

"RUTHERFORD" GERİ DÖNÜYOR

1967'de SLAC'da yeni elektron ışınları kullanılarak bir dizi saçma deneyi gerçekleştirildi. Amaç protonun yapısını çok daha derinlemesine incelemekti. Yüksek enerjide elektron içeri girer, bir hidrojen hedefindeki protona çarpar ve çok daha düşük enerjili bir elektron çıkar ama başlangıç yoluna göre geniş bir açıyla. Protonun içindeki noktamsı yapılar bir anlamda Rutherford'un çekirdeğinin alfa parçacıklarına yaptığını yapmışlardır. Ancak burada konu daha inceliklidir.

[Ball Amerikan argosunda testis karşılığı kullanılır -çev.]

SLAC fizikçisi Kanadalı Richard Taylor'ın yönetiminde iki MIT fizikçisi, Jerome Friedman ve Henry Kendall'dan oluşan Stanford ekibi Richard Feynman ve James Bjorken'in kuramsal tüyolarından büyük ölçüde yararlandılar. Feynman enerji ve düş gücünü güçlü etkileşimlere, özellikle de "protonun içinde ne var?"a ödünç veriyordu. Pasadena, Cal Tech'deki yuvasından Stanford'a sık ziyaretler yapardı. Bir Stanford kuramcısı Bjorken (herkes ona "Bj" der) deneysel süreçle ve görünürde başlangıç halindeki verilerin altında yatan kurallarla yoğun biçimde ilgilenirdi. Bjorken bu kuralların hadronların yapısını kontrol eden (kara kutunun içindeki) temel yasaların göstergesi olacağını öne sürüyordu.

Burada her ikisi de konuya ışık tutmuş olan eski arkadaşlarımız Democritus ve Boscovich'e dönmemiz gerekiyor. Democritus'un bir a-tom için kullandığı test onun bölünemez olmasıydı. Quark modelinde proton aslında üç tane hızla devinen quarkın yapışkan bir yığılımından ibaretti. Ama bu quarklar her zaman birbirlerine sımsıkı bağlı oldukları için deneysel olarak proton bölünemez gibi görünür. Boscovich ikinci bir test eklemişti. Bir öğesel parçacık ya da a-tom noktamsı olmalıydı. Proton bu testten kesinlikle geçemez. MIT–SLAC ekibi Feynman ve Bj'in yardımlarıyla bu örnekte işlevsel ölçütün bölünemezlikten çok "noktalar" olduğunu ayrımsadılar. Verilerini noktamsı yapıların bir modeline tercüme etmek Rutherford'un deneyinden çok çok daha fazla incelik gerektiriyordu. Dünyanın en iyi kuramcılarından ikisinin ekipte bulunmasının uygun görülmesi bundandı. Sonuç, verilerin gerçekten protonun içinde devinen noktamsı nesnelerin varlığını gösterdiği yolundaydı. 1990'da Taylor, Friedman ve Kendall quarkların gerçekliğini gösterdikleri için Nobel'lerini aldılar. (Bölümün başında Jay Leno'nun sözünü ettiği bilimciler onlardı.)

İyi bir soru: quarklar hiçbir zaman serbest değilken bu arkadaşlar quarkları nasıl görebilir? İçinde üç çelik bilye olan mühürlü bir kutu düşünün. Kutuyu sallarsınız, çeşitli biçimlerde eğer, dinlersiniz ve sonuca varırsınız: üç top. Daha ince olan nokta quarkların her zaman başka quarklara yakınlık içinde incelenmesidir ki bu da onların özelliklerini değiştirebilir. Bu etmenle uğraşılması gerekir ama...*piano, piano.*[1]

---

[1] *[(İt.) Yavaş. –çev.]*

Quark kuramı daha bir çoklarına din değiştirtti, özellikle de quarkları giderek artan bir gerçeklikle dolduran, özelliklerine ekler yapan ve serbest quark görme olanaksızlığını gerçeğe dönüştüren verileri izleyen kuramcılara. "Tutukluluk" moda terim halini aldı. Quarklar sürekli olarak tutukluydular çünkü quarkları ayırmak için gerekli enerji aralarındaki uzaklık arttıkça *artar*. Sonra biri yeterince uğraşır enerji bir quark-antiquark çifti yaratmaya yeterli hale gelir ve şimdi dört quarkımız ya da iki mezonumuz vardır. Bir ipin ucunu eve getirmeye çalışmak gibi bir şey. Biri onu keser ve hoop iki sicim.

Elektron saçma deneylerinden quark yapısını okumak büyük ölçüde Batı Sahilinin tekelindeydi. Ancak çok benzer verilerin aynı zamanda Brookhaven'da benim grubum tarafından da toplandığını belirtmeliyim. Sık sık eğer Bjorken bir Doğu Sahili kuramcısı olsaydı quarkları keşfeden *ben* olurdum diye şaka yapmışımdır.

SLAC ve Brookhaven'da birbirine zıt iki deney bir quarkın kabuğunu soymak için birden çok yol olduğunu gösterdi. Her iki deneyde de hedef parçacık protondu. Ama Taylor, Friedman ve Kendall sonda olarak elektronları kullanıyorlardı bizse protonları. SLAC'da "çarpışma bölgesinin kara kutusu"na elektronlar yolluyor ve çıkan elektronları ölçüyorlardı. Protonlar ve pionlar gibi bir sürü başka şey de çıkıyordu ama bunlara aldırış edilmiyordu. Brookhaven'da protonları (içindeki protonların peşine düştüğümüz) bir parça uranyuma çarpıyor ve özenle ölçtüğümüz çıkan muon çiftlerine yoğunlaşıyorduk. (Dikkat etmemiş olanlarınız için söyleyeyim elektronlar ve muonlar aynı özellikleri taşıyan leptonlardır, sadece muon iki yüz kez daha ağırdır.)

SLAC deneyinin Rutherford'un çekirdeği ortaya çıkaran saçma deneyinin benzeri olduğunu daha önce söylemiştim. Ama Rutherford basitçe çekirdekten alfa parçacıkları sektirmiş ve açıları ölçmüştü. SLAC'da süreç daha karmaşıktı. Kuramcının diliyle ve de matematiğin uyardığı zihinsel imgeyle SLAC makinesinde gelen elektron kara kutunun içine bir haberci foton gönderir. Eğer fotonun özellikleri doğruysa quarklardan biri tarafından soğurulur. Elektron başarılı (yutulan) bir haberci foton gönderdiğinde enerjisi ve devinimi değişir. Sonra kara kutu bölgesini terk eder, çıkar ve kendini ölçtürür. Başka bir deyişle çıkan elektronun enerjisi bize fırlattığı haberci foton ve de çok daha önemlisi onu neyin yediği hakkında bir şeyler söyler. Haberci

fotonların örüntüsü ancak protonun içinde noktamsı altyapılar tarafından soğurulmuş olma biçiminde yorumlanabilir.

Brookhaven'daki dimuon deneyinde (iki muon ürettiği için böyle adlandırılmıştı) kara kutu bölgesine yüksek enerjili protonlar göndeririz. Protondan gelen enerji bir haberci fotonun kara kutudan yayınmasını uyarır. Bu foton kutudan ayrılmadan önce bir muon ve antimuona dönüşür ve bu parçacıklar kutuyu terk eder ve ölçülür. Bu bize tıpkı SLAC deneyinde olduğu gibi haberci foton hakkında bir şeyler söyler. Ancak muon çifti deneyi 1972'ye kadar kuramsal olarak anlaşılmadı ve aslında tek yorumunu verinceye kadar başka bir çok incelikli kanıta gereksindi.

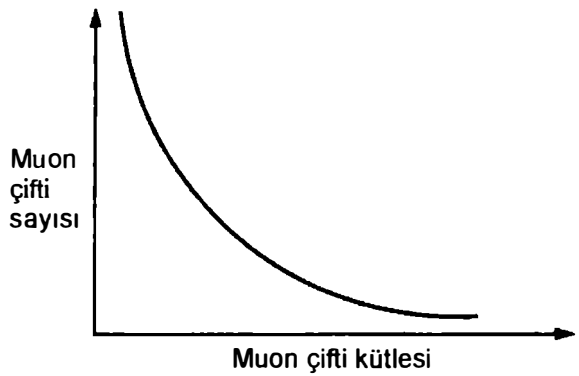
Bu yorum ilk kez Stanford'da, hiç de sürpriz olmayan bir biçimde quarkların kana karıştığı yerde, Sydney Drell ve onun öğrencisi Tung Mo Yan tarafından yapıldı. Vardıkları sonuç: bizim muon çiftimizi doğuran foton gelen protondan bir quark hedefteki bir antiquarkla çarpışıp yokolduğu zaman ortaya çıkmaktadır (ya da bunun tersi). Bunu biz icat ettiğimiz ve Drell "yalnızca" doğru modeli bulduğu halde yaygın olarak Drell-Yan deneyi olarak bilinir.

Richard Feynman benim dimuon deneyime bir kitapta "Drell-Yan deneyi" adını verdiği zaman –kuşkusuz şaka yapıyordu– Drell'e telefon ettim ve kitabı alan herkesi arayıp 47nci sayfadaki Drell ve Yan'ı çizip Lederman yazmalarını istemesini söyledim. Feynman'ı gıcık etmeye cesaret edemedim. Drell memnuniyetle kabul etti ve adalet yerini buldu.

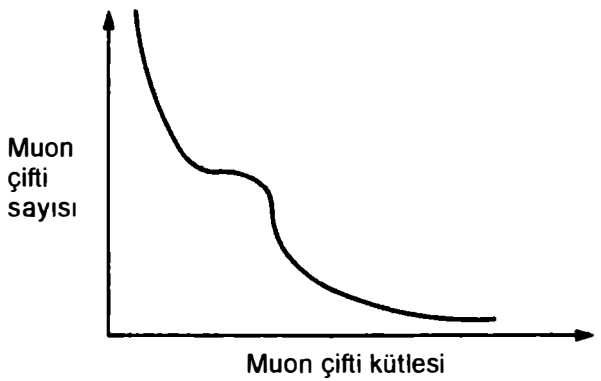
O günlerden beri Drell-Yan-Lederman deneyleri tüm laboratuarlarda gerçekleştirilmiş ve quarkların protonları ve mezonları oluşturma biçimlerinin ayrıntıları hakkında tamamlayıcı ve destekleyici kanıtlar sağlamıştır. Yine de SLAC/Drell-Yan-Lederman çalışmaları tüm fizikçileri quark inançlıları haline getirememiştir. Biraz kuşkuculuk kalmıştır. Brookhaven'da anlamını bilseydik kuşkuculara yanıt verecek bir ipucu gözlerimizin önündeydi.

Bizim 1968 deneyimizde, türünün ilk deneyinde, haberci fotonların kütlesi arttıkça muon çifti ürünündeki düzgün azalmayı inceliyorduk. Bir haberci fotonun herhangi bir değerde geçici bir kütlesi olabilir ama kütle ne kadar büyükse o kadar kısa süre yaşar ve onu oluşturmak o

kadar zordur. Yine Heisenberg. Anımsayın, kütle ne denli büyükse o denli küçük bir uzay parçası araştırılır bu yüzden de enerji arttıkça giderek daha az sayıda olay (muon çifti sayısı) görebiliriz. Bunu bir grafik haline getirdik. Grafiğin dibinde, x ekseninde, artan kütleyi gösterdik. Düşey y ekseninde muon çifti sayısını gösterdik. Şöyle bir grafik elde etmemiz gerekiyordu:



Kara kutudan çıkan fotonların enerjisi arttıkça durmadan azalan muon çiftine işaret eden düzgünce inen bir çizgi görmemiz gerekiyordu. Ama bunun yerine şöyle bir şey elde ettik:



Yaklaşık 3 GeV kütle düzeyinde bu düzgün iniş şimdi "Lederman Omuzu" diye bilinen bir omuzla kesintiye uğruyordu. Grafik bir omuz ya da bir tümsek beklenmedik bir olaya, yalnızca haberci fotonla açıklanamayan, Drell-Yan olaylarının tepesinde oturan bir şeye işarettir. Bu omuzu yeni bir parçacık olarak bildirmedik. Sonunda quark hipotezinin gerçekliğini geliştirecek olan bir keşfin açıkça ilk atlanışıydı.

Bu arada bizim proton içindeki noktamsı yapıların keşfini, İsveç iradesinin Friedman, Kendall ve Taylor'a gitmesine yol açan keşfi atlamamızın acısı yapmacık bir acıydı. Bjorken bile Brookhaven dimuonlarını 1968'de quarklarla ilişkilendiren incelikleri ayırt etmeyebilirdi. Geriye bakışta dimuon deneyi benim gözdemdir. Kavram özgün ve imgelemseldi. Teknik olarak çocuk oyuncağı sayılacak kadar basitti –öyle basitti ki onyılın keşfini atladım. Verilerin her biri Nobel kalitesinde üç öğesi vardı– noktamsı yapıların Drell-Yan kanıtı, mutlak oranları içinde "renk" kavramının kanıtı (ileride tartışılacak) ve J/Psi keşfi (hemen aşağıda). Onu doğru yapsaydık İsveç Kraliyet Akademisi en azından iki ödülü tasarruf edebilirdi!

KASIM DEVRİMİ

1972 ve 1973'de başlayan iki deney fiziği değiştirecekti. Biri Brookhaven'da, Long Island'ın güney kıyısındaki dosdoğru Paris'ten gelen kocaman Atlantik dalgalarına açık dünyanın en güzel kumsallarından birine yalnızca on dakika uzaklıkta bodur çamlar ve kumlar ortasında eski bir askeri kampta gerçekleşti. Öteki mekan Stanford Üniversitesinin İspanyol üslubu kampüsünün üzerindeki kahverengi tepelerde yer alan SLAC'di. Her iki deney de balığa çıkmak gibiydi. Hiçbiri kesin bir biçimde güdülenmiş değildi ama her ikisi de 1974 Kasımında dünyanın her yanından duyulan bir gümbürtüyle bir araya gelecekti. 1974 sonlarının olayları fizik tarihine Kasım Devrimi diye geçti. Fizikçiler hangi ateşin çevresinde eski zamanlardan, büyük kahramanlardan söz etmek ve Perrier yudumlamak için bir araya gelse ondan söz edilir. Tarih öncesi kuramcıların doğanın güzel, simetrik olması gerektiği yolundaki neredeyse dinsel fikridir.

Önce quark hipotezinin bir öğesel parçacık, bir a-tom olarak elektronun konumunu tehdit etmediğini belirtmemiz gerekir. Şimdi iki sınıf

noktamsı a-tom vardı –quarklar ve leptonlar. Elektron, muon ve nötrinoyla birlikte bir leptondur. Schwartz, Steinberger ve Lederman iki nötrino deneyiyle Simetriyi bozmasalardı bu güzel olacaktı. Şimdi bizim dört leptonumuz (elektron, elektron nötrinosu, muon ve muon nötrinosu) ama üç quarkımız vardı (yukarı, aşağı ve garip) 1972'deki bir tablo fizik kısaltmalarıyla şöyle görünebilirdi.

Quarklar: **y a g**

Leptonlar: e μ

ν_e ν_μ

Oof. Böyle bir tablo yapmazdınız çünkü çok anlamlı değil. Leptonlar güzel bir ikiye iki örneği çiziyor ama quark kesimi oldukça çirkin bir üçlü ki kuramcılar zaten 3 sayısıyla düş kırıklığına uğramıştır.

Kuramcı Sheldon Glashow ve Bjorken dördüncü bir quark olsaydı sadece güzel olacağını az çok söylemişlerdi (1964'de). Bu quarklarla leptonlar arasındaki bizim dördüncü leptonu, muon nötrinosunu keşfimizle yıkılan simetriyi onarırdı. 1970'de Glashow ve iş arkadaşlarının karmaşık ama güzel bir tartışmasıyla dördüncü bir quarktan kuşkulanmak için daha tutarlı bir neden ortaya çıktı. Bu tartışma Glashow'u tutkulu bir quark avukatına dönüştürdü. Shelly, hayranları ve düşmanları tarafından bilindiği gibi sadece onun ne denli tutkulu olabildiğini ortaya koyan bir çok kitap yazdı. Standart modelimizin önde gelen mimarlarından Shelly de öyküleri, puroları ve kuramsal eğilimler üzerine eleştirel sözleriyle çok takdir edilmiştir.

Glashow dördüncü bir quarkın –tabii ona **büyülü** adını vermişti– kuramsal icadının etkin bir pazarlamacısı haline geldi. Seminerden seminere, çalışma grubundan çalışma grubuna, konferanstan konferansa deneycilerin büyülü bir quark aramalarında ısrar ederek dolaştı. Düşüncesine göre bu yeni quark ve quarkların eşleşmiş çiftler haline – yukarı/aşağı ve büyülü/garip– geleceği yeni bir simetri, zayıf kuvvet kuramındaki bir çok hastalığı (Doktor, şurası acıyor) iyileştirecekti. Örneğin görülmemiş ama tahmin edilmiş belli reaksiyonları iptal etmeye yarayacaktı. Yavaşça en azından kuramcılar arasından yandaşlar kazandı. 1974 yazında kuramcı Mary Gaillard (fizikte trajik

biçimde birkaç kadından ve de her iki cinsten en üst düzey kuramcılardan biri), Ben Lee ve Jon Rosner tarafından "Büyülünün Aranması" adlı verimli gözden geçirme makalesi yayınlandı. Makale özellikle deneyciler için öğreticiydi çünkü böyle bir quarkın diyelim **b**'nin ve onun karşı parçacığı $\bar{b}$ 'nin, ya da **b** çizginin kara çarpışma kutusunda yapılabileceğine ve **b** ile $\bar{b}$ 'nin birbirine bağlandığı bir nötr mezonun ortaya çıkabileceğine dikkati çekiyordu. Hattâ eski Brookhaven verilerinde benim grubumun muon çiftleri elde etmiş olmamın iki muona parçalanan $b\bar{b}$ 'nin kanıtı olmuş olabileceğini ve bunun 3GeV yakınlarındaki Lederman Omuzunun yorumu olabileceğini öne sürüyordu. Yani, 3 GeV olasılıkla $b\bar{b}$ nesnesinin kütlesiydi.

TÜMSEK AVCILIĞI

Hâlâ bunlar yalnızca kuramcıların konuşmalarıydı. Kasım Devriminin öteki yayınlanmış raporları deneycilerin kuramcıların fikirlerini doğrulamak için bir biçimde darmadağınık çalışıyorlardı. Düş başlamıştı. Balık avlıyorlardı. Brookhaven fizikçilerine gelince onlar verilerin arasında yeni fiziğe işaret edecek bipleri –pişmiş aşa soğuk su katacak bir şeyleri, pişirecek bir şeyleri değil– arayarak "tümsek avcılığı" yapıyorlardı.

Glashow, Gaillard ve diğerleri büyülüden söz ettiği sırada deneysel fiziğin kendi sorunları vardı. O sıralarda elektron-pozitron ($e^- e^+$) çarpıştırıcıları ile proton hızlandırıcıları arasındaki rekabet açıkça ortaya çıkmıştı. "Leptoncular"la "hadroncular" hararetli bir tartışmayı sürdürüyorlardı. Elektronlar pek bir şey yapmamıştı. Ama propagandayı duymalıydınız! Elektronlar yapısız noktalar olarak düşünüldüğü için temiz bir başlangıç durumu sunarlar: bir e^- (elektron) ve bir e^+ (pozitron, elektronun karşı parçacığı) kara kutu çarpışma bölgesinde kafa kafaya çarparlar. Temiz, basit. Modelin ısrar ettiğine göre buradaki ilk adım parçacık – karşı parçacık çarpışmasının iki parçacığın toplamına eşit enerjide bir haberci foton oluşturmasıdır.

Şimdi haberci fotonun kısa bir varoluşu bulunur, sonra uygun kütle, enerji, dönme ve korunum yasalarının öngördüğü başka kuan-

tum sayıları olan parçacık çiftlerine vücut verir. Bunlar kara kutudan çıkar ve yaygın olarak gördüğümüz şeyler (1) bir başka e^+ e^- çifti, (2) bir muon antimuon çifti ya da çok değişik kombinasyonlarda ama başlatıcı koşullar –haberci fotonun enerjisi ve kuantum özellikleri– tarafından kısıtlanmış hadronlar. Tümü basit bir başlangıç durumundan türemiş olası son durumların çeşitliliği tekniğin gücünü anlatır.

Bunu iki protonun çarpışmasıyla karşılaştırın. Her protonun birbirine güçlü kuvvet uygulayan üç quarkı vardır. Bunun anlamı onların hızla gluon, güçlü kuvvetin haberci parçacığı değiş tokuşu yaptığıdır (gluonlarla bölümde daha sonra tanışacağız). Sevimsiz protonumuzun karmaşıklığına ek olarak bir gluon diyelim bir yukarı quarkla bir aşağı quark arasındaki yolunda anlık olarak görevini unutur ve (haberci fotonlar gibi) herhangi bir quarkla onun antiquarkı, diyelim **g** ve $\bar{\mathbf{g}}$ (**g** çizgi) biçiminde maddeleşir. $\mathbf{g}\bar{\mathbf{g}}$'nin ortaya çıkışı çok uçucudur çünkü gluonun zaman içinde soğurulmak için yeniden bir araya gelmesi gerekir ama aynı zamanda karmaşık bir nesne oluşturur.

Elektron hızlandırıcılarına tutkun fizikçiler protonlara küçümseyici bir gülümsemeyle "çöp tenekeleri" derler ve proton-proton ya da proton-antiproton çarpışmalarını pek de haksız olmadan içinden yumurta kabuklarının, muz kabuklarının, kahve filtrelerinin ve yırtık çifte bahis biletlerinin fırladığı iki çöp tenekesinin çarpışması biçiminde betimlerler.

1973-74'de SPEAR adı verilen Stanford elektron-pozitron ($e^- e^+$) çarpıştırıcısı veri toplamaya başladı ve açıklanamaz bir sonuçla karşılaştı. Görünen oydu ki hadronları ortaya çıkaran çarpışma fraksiyonları kuramsal tahminlerden çok daha fazlaydı. Öykü karmaşıktı ve 1974 Ekimine kadar çok da ilginç değildi. Grup liderlerinin kutsal geleneklerine uygun olarak o sırada başka bir yerde olan Burton Richter'in yönettiği SLAC fizikçileri iki çarpışan parçacığın enerjileri toplamı, anımsayacağınız gibi düşündürücü bir kütle olan, 3.0 GeV'a yakın olduğunda ortaya çıkan garip bazı sonuçlara eğilmeye başladılar.

Olaya salça katan şey beş bin kilometre doğuda Brookhaven'da MIT'den bir grubun bizim 1967 dimuon deneyimizi yineliyor olmasıydı. Samuel C.C.Ting iş başındaydı. Tayvan'daki tüm izcilerin

lideri olduğu dedikodusu dolaşan Ting Ph.D.'sini Michigan'da almış, CERN'de doktora sonrası bir sömestr geçirmiş ve altmışların başlarında Columbia'da benim grubuma doçent olarak katılmış ve orada sivrilikleri törpülenmişti.

Titiz, güdülenmiş, kesin, örgütlü bir deneyci olan Ting Columbia' da benimle birkaç yıl çalıştı, Almanya'da Hamburg yakınlarında DESY laboratuarında güzel birkaç yıl geçirdi sonra profesör olarak MIT'ye gitti. Çabucak parçacık fiziğinde sayılan bir kuvvet (beşinci? altıncı?) haline geldi. Tavsiye mektubum bilerek onun bazı zayıf noktalarıyla oynuyordu –birilerini işe aldırmak için standart numara– ama ben bunu "Ting –sıcak ve ekşi bir Çinli fizikçi" sonucu çıksın diye yaptım. Doğrusu Ting hakkında bir takıntım var; ta babamın küçük bir çamaşırhane yönettiği günlere ve bir çocuk olarak sokaktaki Çinli rekabetine ilişkin öyküler dinlediğim günlere dek uzanan bir takıntı. O gün bu gündür herhangi bir Çinli fizikçi beni sinirlendirir.

Ting DESY laboratuarındaki elektron makinesiyle çalışmaya başladığında elektron çarpışmalarındaki e^+e^- çiftlerini analiz etmede uzmanlaştı; bu nedenle elektron çiftlerini taramanın Drell-Yan deneyini, pardon Ting dilepton deneyini yapmanın en iyi yolu olduğuna karar verdi. Böylece 1974'de Brookhaven'a geldi ve elektronlarla pozitronları çarpıştıran SLAC'daki benzerlerinin tersine Ting yüksek enerjili protonlar kullanıyor, onları sabit bir hedefe yöneltiyor ve kara kutudan çıkan e^+e^- çiftlerine aygıt oluşturmanın en son sözüyle –yedi yıl önce kurduğumuz kaba aygıttan çok çok duyarlı bir tarayıcıyla– bakıyordu. Charpak tel odalarını kullanarak haberci fotonun ya da gözlemlenen elektron-pozitron çiftlerini ne ortaya çıkarıyorsa onun kütlesini kesinlikle belirleyebiliyordu. Muonlar da elektronlar da lepton olduğundan taramak için hangi çifti seçeceğiniz keyfinize kalmıştır. Ting tümsek avcılığı yapıyordu, bazı yeni hipotezleri doğrulamaktan çok balık avlıyordu. Söylendiğine göre bir keresinde Ting "kuramcılarla Çin yemekleri yemekten mutlu oluyorum" demişti "ama hayatınızı onların size söylediklerini yapmakla geçirmek boşa zaman harcamaktır." Böyle bir kişiliğin adı büyülü olan bir quarkın bulunmasından sorumlu olacak olması ne de uygundu.

Brookhaven ve SLAC deneyleri aynı keşfi yapmaya yazgılıydı ama 10 Kasım 1974'e dek her iki grup da diğerinin gelişmesinden pek

de haberdar değildi. Neden iki deney bağlantılıydı? SLAC deneyi bir elektronu bir pozitronla çarpıştırıyorve ilk adım olarak bir sanal foton yaratıyordu. Brookhaven deneyinin başlangıç durumunda kutsal olmayan karmaşık bir çorba vardı ama yalnızca bir e^+e^- çiftine ayrışan bir sanal foton ortaya çıktığında ve yalnızca ona bakıyordu. O zaman her iki deney de herhangi bir geçici kütle/enerjisi olan ve bu çarpışmanın kuvvetine bağlı olan haberci fotonla uğraşıyordu. SLAC çarpışmasında olup bitenlere ilişkin iyi sınanmış model hadronlara –diyelim üç piona ya da bir pion ve iki kaona ya da bir proton antiproton ve iki piona ya da bir çift muon ya da elektrona vb.– ayrışan bir haberci fotonun yaratıldığını söylüyordu. Giriş enerjisi, moment, dönme ve diğer etmenlerle uyumlu pek çok olasılık vardı.

Böylece eğer kütlesi çarpışan iki ışın enerjisinin toplamından düşük yeni bir şey var olursa bu çarpışma içinde de yapılabilir. Gerçekten eğer yeni "şey"in bilinen kuantum sayıları fotonun aynısıysa iki enerjinin toplamı tam olarak yeni şeyin kütlesine eşit olduğunda reaksiyona egemen olabilir. Bir tenorun sesinin belli nota ve güçte olduğunda bir bardağı çatlatabileceğini işitmiştim. Yeni parçacıklar da benzer bir biçimde oluşur.

Brookhaven versiyonunda hızlandırıcı sabit bir hedefe, bu olguda küçük bir parça berilyuma protonlar gönderir. Görece büyük protonlar görece büyük berilyum çekirdeklerine çarptığında her tür şey oluşabilir ve de oluşur. Bir quark bir quarka çarpar. Bir quark bir antiquarka çarpar. Bir quark bir gluona çarpar. Bir gluon bir gluona çarpar. Hızlandırıcının enerjisi ne olursa olsun çok daha düşük enerjilerde çarpışmalar oluşur çünkü quark bileşenleri protonun toplam enerjisini paylaşırlar. Böylece deneyini yorumlamak için Ting'in ölçtüğü lepton çiftleri makineden az ya da çok rastgele biçimde çıkarlar. Böyle karmaşık bir başlangıç durumunun avantajı o enerjide ulaşılabilecek her şeyi üretme olasılığının olmasıdır. İki çöp tenekesi çarpışınca çok şey oluyor. Dezavantajı yeni "şey"i büyük bir artık yığını arasında bulmak zorunda olmanız. Yeni bir parçacığın varlığını kanıtlamak için sabit olarak gösterene dek pek çok tekrara gereksiniminiz vardır. Ve iyi bir tarayıcıya gereksinirsiniz. Neyse ki Ting'in elinde bir dünya güzeli vardı.

SLAC'ın SPEAR makinesi tersiydi. Elektronları pozitronlarla

çarpıştırıyordu. Basit noktamsı parçacıklar, madde ve antimadde çarpışıyor ve birbirini yok ediyordu. Madde saf ışığa, bir haberci fotona dönüyordu. Bu enerji paketi de yeniden madde halinde birleşiyordu. Eğer her ışın, diyelim 1.5525 GeV ise her defasında bunun iki katı, 3.105 GeV'luk bir çarpışma elde edersiniz. Eğer bu kütlede bir parçacık var olursa bir foton yerine bu yeni parçacığı üretebilirsiniz. Keşfi yapmak için neredeyse zorlanırsınız makinenin tek yapabildiği budur. Ürettiği çarpışmaların önceden belirlenmiş bir enerjisi vardır. Bir başka enerjiye geçmek için bilimciler mıknatısları yeniden ayarlamak ve öteki düzenlemeleri yapmak zorundaydılar. Stanford fizikçileri makinenin enerjisinde makinenin tasarımından çok daha ötede ince ayarlar yapabilirlerdi; kayda değer bir başarı. Açıkçası bunun yapılabileceğini düşünmemiştim. SPEAR türü bir makinenin dezavantajı enerji bölgesini çok yavaş olarak, son derece küçük adımlarla taramak zorunda olmamızdır. Öte yandan doğru enerjiyi yakalarsanız –ya da bir biçimde tüyo alırsanız ki bu da sorun halini almıştı– bir gün ya da daha kısa sürede yeni bir parçacık keşfedebilirsiniz.

Bir an için Brookhaven'a geri dönelim. 1967-68'de garip dimuon omuzunu keşfettiğimizde verilerimiz 1 GeV'tan 6 GeV'a dek gidiyordu ve 6 GeV'taki muon çiftlerinin sayısı 1 GeV'takinin yalnızca bir milyonda biriydi. 3 GeV'ta muon çifti ürününde ani bir yükselme vardı ve yaklaşık 3.5 GeV'un üzerinde bu atılım eski halini alıyordu. Başka bir deyişle 3 GeV'tan 3.5 GeV'a kadar bu düzlük, bu omuz vardı. 1969'da verilerimizi yayınlamaya hazırlanırken biz yedi yazar bu omuzu nasıl tanımlamamız gerektiğini tartıştık. Etkisi epeyce çarpıtıcı tarayıcı tarafından lekelenmiş yeni bir parçacık mıydı? Farklı bir biçimde haberci fotonlar üreten yeni bir süreç miydi? 1969'da muon çiftlerinin nasıl ürediğini hiç kimse bilmiyordu. Verilerin bir keşif iddiası için yeterince iyi olmadığına karar verdim.

Eh, 11 Kasım 1974'de dramatik bir karşılaşmada SLAC ve Brookhaven gruplarının her ikisinin de 3.105 GeV'ta bir artışa ilişkin apaçık verileri olduğu ortaya çıktı. SLAC'da makine bu enerjiye ayarlandığında (harika başarı!) çarpışmaları kaydeden sayaçlar çıldırmış, yüz kat artış göstermiş ve hızlandırıcı 3.100 ya da 3.120'ye ayarlandığında yeniden temel değerlere geri dönmüştü. Rezonansın keskinliği

bulunmasının bu kadar uzun sürmesinin nedeniydi; grup bu bölge üzerinden daha önce geçmiş ama artışı atlamıştı. Ting'in Brookhaven verileri, net olarak ölçülmüş çıkan lepton çiftleri merkezi 3.10 GeV yakınında olan keskin bir tümsek gösteriyordu. O da tümseğin yalnızca bir şey anlamına gelebileceği sonucuna vardı: maddenin yeni bir durumunu keşfetmişti.

Brookhaven/SLAC keşfinin bilimsel öncelik problemi belalı bir tartışmaydı. *İlk olarak* kim yapmıştı? Suçlamalar ve dedikodular aldı yürüdü. Bir iddiaya göre Ting'in ön sonuçlarından haberdar olan SLAC bilimcileri nereye bakacaklarını biliyorlardı. Karşı iddia Ting'in başlangıç tümseğinin yetersiz olduğu ve SLAC'ın keşfiyle Ting'in duyurusu arasındaki saatlerde sıvazlandığıydı. SLAC halkı yeni nesneye ψ (psi) adını verdi. Ting ona J adını verdi. Bugün genellikle J/ψ ya da J/psi olarak adlandırılır. Toplulukta sevgi ve ahenk yeniden kurulmuştu. Az çok.

TELAŞA NE GEREK VAR? (VE BAZI EKŞİ ÜZÜMLER)

Tümü çok ilginç ama bu korkunç telaş niye? 11 Kasım birleşik duyurusunun sözleri anında dünya çevresine yayıldı. CERN'den bir bilimci şöyle anımsıyor: "Tanımlanabilir gibi değildi. Koridorlardaki herkes ondan söz ediyordu." *New York Times*'in Pazar sayısı keşfi ön sayfasına koydu: YENİ VE ŞAŞIRTICI TÜRDE BİR ATOM PARÇACIĞI BULUNDU. *Science*: İKİ YENİ PARÇACIK FİZİKÇİLERİ SEVİNDİRDİ VE ŞAŞIRTTI. Bilim yazarlarının başkanı sonradan *New York Times*'a şunları yazdı: "Fizikte böyle bir şamata pek de olmamıştı... ve sonu da görünmüyordu." İki yıl gibi kısa bir süre sonra Ting ile Richter J/psi için 1976 Nobel Ödülünü paylaştılar.

Haberler bana ekzotik E-70 namlı bir Fermilab deneyi üzerinde zorlu bir çalışma sırasında geldi. Şimdi çalışma odamda on yedi yıl sonra yazarken duygularımı anımsayabilir miyim? Bir bilimci olarak, bir parçacık fizikçisi olarak buluşa aşırı sevindim, kuşkusuz kıskançlık ve hattâ keşfedenlere yönelik bir nebze cinai nefretle karışık bir sevinç. Bu normal tepkidir. Ama ben oradaydım –Ting benim deneyimi yapıyordu! Evet, Ting'in deneyini keskinleştiren odalar 1967-

68'de sağlanamazdı. Yine de eski Brookhaven deneyinin iki Nobel Ödülünde payları vardı– eğer daha yeterli bir tarayıcımız olsaydı ve Bjorken Columbia'da olsaydı ve birazcık daha zeki olsaydık... Ve eğer –bizim "eğer"cilerle dalga geçtiğimiz gibi– büyükannemin tekerlekleri olsaydı troleybus olurdu.

Pekala, sadece kendimi suçlayabilirim. 1967'de gizemli tümseği saptadıktan sonra moda olan daha yeni yüksek enerjili makinelerde dilepton fiziğini izlemeye karar verdim. 1971'de CERN, Brookhaven'ın yirmi katı bir etkin enerjisi olan proton-proton çarpıştırıcısını, ISR'yi hizmete açmayı programa almıştı. Avucumdaki Brookhaven kuşunu bırakıp CERN'in bir önerisini kabul ettim. O deney 1972'de veri almaya başladığında J/psi'yi yine göremedim; bu kez nedeni beklenmeyen pionların dehşetli geri planı ve bizim turfanda kurşunlu camdan parçacık tarayıcımızın biz bilmeden yeni makineden radyasyon almış olmasıydı. Geri planın kendisinin yeni bir keşif olduğu ortaya çıktı: yüksek-enine-momentli hadronlar taramıştık, protonların içindeki quark yapısına işaret eden başka tür veriler.

Bu sırada, yine 1971'de Fermilab 200 GeV'luk bir makineyi başlatmaya hazırlanıyordu. Bu makine üzerine de kumar oynadım. 1973 başlarında Fermilab deneyi başladı ve benim mazeretim... pekala, biz gerçekten bize öngörüleni yapmaya başlamamıştık, yepyeni Fermilab ortamında çeşitli grupların görmüş olduğu garip veriler yüzünden yolumuzu şaşırmıştık. Onun da bir oyalamaca olduğu ortaya çıktı ve biz dileptonlarla oyalanırken Kasım Devrimi tarih kitaplarına girdi. J'yi yalnızca Brookhaven'da değil her iki makinede de atladım; parçacık fiziğinde yeni bir uygulama hatası rekoru.

Henüz soruyu yanıtlamadım, niyeydi bu tantana? J/psi bir hadrondu. Ama biz yüzlerce hadron keşfetmiştik o zaman J/psi diye cafcaflı bir ismi de olsa neden kıyamet koparılıyordu. Bu onun yüksek kütlesiyle ilgiliydi, protondan üç kat ağır ve kütlenin "keskinliği" 0.05 MeV'tan küçük.

Keskinlik mi? İşte bunun ne demek olduğu. Kararsız bir parçacığın, iyi belirlenmiş tek bir kütlesi olamaz. Ömrü ne denli kısaysa kütlelerin dağılımı o denli geniş olur. Bu bir kuantum bağlantısıdır. Kütlelerin dağılımıyla kast ettiğimiz bir dizi ölçümün çan biçimi bir

olasılık eğrisi içinde dağılan farklı kütleler verdiğidir. Bu eğrinin tepesine, örneğin 3.105 GeV'a parçacığın kütlesi denir ama kütle değerlerinin dağılımı aslında parçacığın ömrünün bir ölçümüdür. Kesinsizlik ölçümde yansıdığından kararlı bir parçacık için kütleyi ölçmek üzere sonsuz zamanımız olduğunu belirterek bunu anlayabiliriz. Çok kısa yaşayan parçacığın kütlesi (ilke olarak bile) kesin olarak saptanamaz ve deneysel sonuç süper duyarlı aygıtlarla bile kütle ölçümlerinde geniş bir dağılımdır. Bir örnek olarak tipik bir güçlü etkileşimli parçacık 10^{-23} saniyede parçalanır. Ve 100 MeV dolaylarında bir kütle dağılımı vardır.

Bir şey daha anımsatalım. Serbest proton dışında bütün hadron parçacıklarının kararsız olduğunu belirtmiştik. Bir hadronun (ya da herhangi bir parçacığın) kütlesi ne denli büyük olursa ömrü o denli kısadır. Böylece şimdi biz kocaman kütleli bir J/psi bulmuştuk (1974'de o güne dek bulunmuş en ağır parçacıktı) ama şok yaratan şey gözlemlenen kütle dağılımının aşırı derecede keskin, tipik bir güçlü etkileşim parçacığından bin kez daha dar olmasaydı. Böylece *uzun* bir ömrü vardı. Bir şey onu parçalanmaktan koruyordu.

ÇIPLAK BÜYÜLÜ

Onun parçalanmasına ketvuran nedir?

Kuramcıların tümü ellerini kaldırırlar: yeni bir kuantum sayısı ya da eşdeğer olarak yeni bir korunum yasası çalışmaktadır. Ne tür korunum? Ne gibi yeni bir şey korunmaktadır? Ah bu kez tüm yanıtlar farklıydı; bir zaman için.

Veriler dökülmeye devam etti ama bu kez yalnızca e^+ e^- makinelerinden, SPEAR sonunda İtalya'da bir çarpıştırıcıyla ADONE ile ve sonra da Almanya'da Doris'le birleşti. 3.7 GeV'ta bir başka tümsek gösterildi. Ona ψ' (psi üssü) deyin, J'den söz etmeye hiç gerek yok çünkü bu tümüyle Stanford'un bebeğiydi. (Ting ve ekibi oyundan çıkmıştı; onların hızlandırıcısı parçacığı yalnızca keşfetme yeteneğindeydi onu daha fazla inceleme değil.) Ama ateşli çabalara karşın, J/psi'nin şaşırtıcı keskinliğini açıklama girişimleri başlangıçta tıkandı.

Sonunda bir varsayım anlam kazanmaya başladı. Belki de J/psi uzun süredir beklenen **b** ve $\bar{b}$ bağlı atomu, büyülü quark ve onun antiquarkıydı. Başka bir deyişle belki de o bir mezondu, bu hadron alt sınıfı quark ve antiquarktan ibaretti. Glashow coşup J/psi'ye "büyülonyum" adını verdi. Ortaya çıktığı üzere bu kuram doğruydu ama varsayımın doğrulanması iki yıl daha aldı. Zorluğun nedeni **b** ile $\bar{b}$ birleştiğinde büyülünün içsel özelliklerinin silinmesiydi. **b** ne getirirse $\bar{b}$ iptal ediyordu. Tüm mezonlar quark ve antiquarktan ibaret olduğu için büyülonyumda olduğu gibi bir quarkla onun özel antiquarkından ibaret olmak zorunda değillerdi. Örneğin bir pion **y** $\bar{a}$ 'dır.

Araştırma "çıplak büyülü" için, bir büyülü quarkın diyelim bir antiaşağı quarkla birleştiği bir mezon için sürüyordu. Anti aşağı quark ortağının büyülü niteliklerini iptal etmeyecek ve büyülü tüm çıplak şaşaasıyla ortaya çıkacaktı; imkansız olandan –serbest bir büyülü quarktan– sonraki en iyi şey. Böyle bir mezon, bir **b** $\bar{a}$ Stanford e^+ e^- çarpıştırıcısında Gerson Goldhaber yönetiminde bir SLAC–Berkeley grubu tarafından 1976'da bulundu. Mezona D^0 (D sıfır) adı verildi ve D üzerine çalışmalar sonraki onbeş yıl boyunca elektron makinelerini meşgul etti. Bugün **b** $\bar{a}$, **b** $\bar{g}$ ve **b** $\bar{y}$ gibi mezonlar Ph.D. değirmeninin bir atımlık buğdaylarıdır. Durumların karmaşık bir spektroskopisi quark nitelikleri üzerine anlayışımızı zenginleştirmiştir.

Şimdi J/psi'nin keskinliği anlaşılmıştı. Büyülü yeni bir kuantum sayısıdır ve güçlü kuvvetin korunum yasaları bir **b** quarkının daha düşük kütleli bir quarka değişmesine izin vermez. Bunun için zayıf ve elektromanyetik kuvvetlere yalvarılması gerekir ve onlar da çok daha yavaş hareket ederler –bu yüzden de uzun ömür ve dar genişlik.

Quarklar fikrine karşı son direnmeler de bu sırada kırıldı. Quark fikri çok uzak görüşlü bir tahmine yol açmış ve tahmin doğrulanmıştı. Her ne kadar hapsolma sorunu –serbest quark diye bir şey olamaz– hâlâ quarkları diğer madde parçacıklarından farklılaştırıyor olsa da belki Gell-Mann bile quarklara gerçekliğin ilk adımlarını attırmıştı. Büyülü ile birlikte periyodik tablo şimdi yeniden dengelenmişti:

QUARKLAR

yukarı (**y**)	büyülü (**b**)
aşağı (**a**)	garip (**g**)

LEPTONLAR

elektron nötrinosu (ν_e)	muon nötrinosu (ν_μ)
elektron (e)	muon(μ)

Şimdi dört quark vardı –yani, quarkların dört rengi– ve dört lepton. Şimdi yukarıdaki tabloda düşey olarak dizilmiş iki kuşaktan söz ediyorduk. **y-a-**ν_e**-e** ilk kuşaktı ve yukarı ve aşağı quarklar proton ve nötronu yaptıkları için ilk kuşak bizim şimdiki dünyamıza egemendir. İkinci kuşak, **b-g-**ν_μ**-**μ hızlandırıcı çarpışmalarının yoğun ama uçucu sıcaklığında görülür. Ekzotik gibi göründüklerinden bu parçacıkları göz ardı edemeyiz. Korkusuz araştırmacılar olduğumuzdan doğanın onlar için hangi rolü biçtiğini bulup çıkarmaya uğraşmamız gerekir.

J/psi'yi büyülonyum haline getirmeyi öngören ve buna yardım eden kuramcılara doğrusu hak ettikleri dikkati yöneltmedim. Eğer SLAC deneysel yürektiyse Harvard da kuramsal beyindi. Glashow ve onun Bronx Bilim Lisesinden sınıf arkadaşı Steve Weinberg'e bir genç ustalar sürüsü yardım etmişti; bunlardan yalnızca Helen Quinn' den söz edeceğim çünkü büyülonyum neşesinin curcunasındaydı ve benim rol-modeli takımımdaydı.

ÜÇÜNCÜ KUŞAK

Duralım ve öyle ilerleyelim. Yeni olayları betimlemek her zaman daha zordur özellikle de betimleyici işin içindeyse. Nesnel olmak için zamanın süzgecinden yeterince geçilmemiştir. Ama yine de uğraşacağız.

Şimdi, zaman 1970'lerdi ve yeni hızlandırıcıların harika büyütmeleri ve uyumlu ustaca yapılmış tarayıcılar sayesinde a-tomu bulma yolunda ilerleme çok hızlıydı. Deneyciler her yöne gidiyorlar, çeşitli büyüleyici nesneler hakkında bir şeyler öğreniyorlar, ımikroskopik bir

bakış açısıyla kuvvetleri inceliyorlar, enerji sınırlarını zorluyorlar, çok küçük çözülmemiş problemleri bildiriyorlardı. Sonra araştırma fonlarını bulmak giderek daha zorlaşınca gelişme hızına fren kondu. Ruhları ve hazineyi kurutan Vietnam ve petrol krizi ve de genel huzursuzluk temel araştırmadan uzaklaşmaya yol açtı. Bu bizim "küçük bilim"deki meslektaşlarımızı daha da fazla zedeledi. Yüksek enerji fizikçileri çabalarını aynı havuzda toplamaları ve büyük laboratuarlardaki tesisleri paylaşmalarıyla kısmen korundular.

Daha ucuza çalışan (onlara bir kalem, biraz kâğıt ve bir fakülte salonu verin) kuramcılar verilerin çağlayanıyla uyarılmış serpiliyorlardı. Hâlâ aynı profesyonelleri görüyorduk: Lee, Yang, Feynman, Gell-Mann, Glashow, Weinberg ve Bjorken ama kısa sürede başka adlar da ortaya çıktı: Martinus Veltman, Gerard 't Hooft, Abdus Salam, Jeffrey Goldstone, Peter Higgs bunlardan bazıları.

Çabucak deneysel dönemeçlere göz atalım ki "bilinmeyene huruç hareketleri" "cephenin yavaş ve düzenli ilerleyişi"ne haksız bir üstünlük sağlamasın. 1975'de Martin Perl neredeyse tek başına ve kendi meslektaş–çalışma arkadaşlarıyla d'Artagnan gibi düello ederek onları ve sonunda herkesi SLAC verilerinde beşinci bir leptonun pusuya yattığına inandırdı. Tau (τ) adı verilen bu lepton daha hafif kuzenleri elektron ve muon gibi iki işaretle ortaya çıkıyordu: τ^+ ve τ^-.

Üçüncü bir kuşak yaratılmaktaydı. Hem elektron hem de muonun kendilerine eşlik eden nötrinoları olduğu için bir nötrino altı tau'nun (ν_τ) varlığını var saymak doğal görünüyordu.

Bu sırada Fermilab'da Lederman grubu sonunda dimuon deneyini nasıl doğru olarak gerçekleştireceklerini öğrenmişlerdi ve yeni, büyük ölçüde daha etkin bir aygıt örgütlenmesi 3.1 deki J/psi zirvesinden neredeyse Fermilab'ın 400 GeV'luk enerjisinin sınırı olan 25 GeV'a (burada durağan hedeflerden söz ettiğimizi anımsayın bu nedenle etkin enerji ışının enerjisinin bir kesridir) kadar kütle alanını gözler önüne serdi. Ve orada 9.4, 10.0 ve 10.4 GeV'ta üç yeni tümsek güneşli bir günde Grand Thargee kayak pistindeki kuzey Avrupalılar kadar açık bir şekilde görünüyorlardı. Verilerin kocaman kütlesi dünyanın dimuon koleksiyonunu 100'le çarpıyordu. Upsilon (eldeki son Yunan harfi diye düşünüyorduk) diye vaftiz edilen yeni parçacık

J/psi'nin öyküsünü yineledi ve korunan yeni şey enfes quarktı –ya da bazı daha az artistik fizikçilerin dediği gibi en alt quark. Upsilonun yorumu onun yeni bir e quarkına bağlı bir anti-e quarkının yaptığı bir "atom" olduğuydu. Daha yüksek kütle durumları bu yeni "atom"un durumlarını basitçe uyarıyordu. Keşfin heyecanı J/psi'ninkinin yanına bile yaklaşamazdı ama üçüncü bir kuşağın gerçekten haberiydi ve apaçık bir soruyu ortaya çıkardı: daha kaç tane var? Ayrıca doğa neden fotokopilere gereksinim duyuyordu; bir kuşak bir öncekinin neden kopyasıydı?

Upsilona ulaştıran çalışmanın kısa bir betimlemesini sunayım. Columbia, Fermilab ve Stony Brook'tan (Long Island) fizikçiler grubumuzda bazı yaman genç deneyciler vardı. Tel odaları, mıknatıslar, ışıltı hodoskopları, daha fazla odalar, daha fazla mıknatıslarla bir sanat eseri spektrometre yapmıştık. Veri toplama sistemimiz dahi mühendis William Sippach'ın tasarladığı elektroniğe dayalı bir "dernier cri"ydi.[1] Hepimiz Fermilab ışınlarının aynı alanında çalışıyorduk. Sorunları biliyorduk. Birbirimizi biliyorduk.

John Yoh, Steve Herb, Walter Innes ve Charles Brown gördüğüm en iyi doktoralı öğrencilerdi. Önemli yazılım cephede çalışmak için gerekli karmaşıklık düzeyine ulaşıyordu. Sorunumuz her yüz trilyon çarpışmada bir derecesinde seyrek ortaya çıkacak reaksiyonlara duyarlı olmamızın gerekmesiydi. Bu nadir dimuon olaylarını kaydetmeye gereksindiğimiz için aygıtı çok büyük oranlarda gereksiz parçacıklara karşı takviye etmemiz gerekiyordu. Ekibimiz yüksek radyasyonlu bir ortamda çalışıp hâlâ kullanılabilir tarayıcılara nasıl sahip olunabileceği konusunda eşsiz bir anlayış geliştirmişti. Doğa bizi ne denli zekice kandırmaya çalışırsa çalışsın hatâlı bilgiyi bastırmak için nasıl da bolca emek harcanacağını öğrenmiştik.

Öğrenme sürecinin başında dielektron biçeminde çalıştık ve 4 GeV'un üzerinde yaklaşık yirmi beş elektron çifti elde ettik. Gariptir, bunların on iki tanesi 6 GeV çevresinde kümelendi. Bir tümsek mi? Tartıştık ve 6 GeV'ta bir parçacık bulunma olasılığını yayınlamaya karar verdik. Altı ay sonra veri üç yüz olaya ulaştıktan sonra puff –6

---

[1] *[(Fr.) Son çığlık. –çev.]*

GeV'ta tümsek yok. Sahte tümseğe "upsilon" adını önermiştik ama daha iyi veriler öncekilerle çelişince olay *oops-leon* diye bilinmeye başladı.

Sonra hedef, kalkanlama, mıknatısların ve odaların yerleşimi üzerine tüm deneyimlerimizle donanmış olarak yeni kurgumuz geldi. 1977 Mayısında veri almaya başladık. Yirmi yedi ya da üç yüz olaylık bir ay süren çalışmalar dönemi bitmişti; esas olarak geri plandan arınmış haftada binlerce olay gelmekteydi. Fizikte yeni bir aygıtın insanın yeni bir alanın nerelere vardığını araştırmasına izin vermesi pek sık olmaz. İlk mikroskop ve ilk teleskop çok büyük önemi olan tarihi örneklerdir ama onların ilk kullanıldıklarındaki heyecan ve neşe bizimkinden çok daha yoğun olmamıştır. Bir hafta sonra 9.5 GeV yakınlarında geniş bir tümsek belirdi ve kısa sürede bu genişleme istatistiksel olarak kesin bir hal aldı. Aslında John Yoh üç yüz olaylık çalışmamız sırasında 9.5 GeV yakınında bir kümelenme görmüş ama 6 GeV'tan ağzı yandığı için yalnızca bir şişe Mumm şampanyasının üzerine "9.5" diye bir etiket yapıştırıp onu buzdolabımıza saklamıştı.

Haziranda şampanyayı içtik ve laboratuara (zaten sızmış olan) haberi verdik. Steve Herb tıklım tıklım dolu ve heyecanlı bir konferans salonunda bir konuşma yaptı. Bu Fermilab'ın ilk büyük keşfiydi. O ay daha sonra 9.5 GeV'ta 770 olaylık (istatistiksel olarak güvenli) büyük bir tümseğin keşfini yazdık. Adamların (ne yazık ki hiç kadın iş arkadaşımız yoktu) bitmez tükenmez saatlerini bir tümseği taklit edebilecek tarayıcı hatasını aramada kullanmamış değildik. Tarayıcıda ölü bölgeler var mı? Yazılım hatası mı? Acımasızca düzinelerle olası hatanın izini sürdük. Kurulu tüm güvenlik sistemlerimiz –yanıtlarının ne olması gerektiğini bildiğimiz soruları sorarak verilerin geçerliliğinin sınanması– gözden geçirildi. Ağustosa doğru ek veriler ve daha karmaşık analizler sayesinde üç dar zirvemiz vardı, upsilon ailesi: upsilon, upsilon üssü ve upsilon iki üssü. 1977'nin bilinen fiziğinin temelinde bu verilerden başka bir şeyi sorumlu tutmanın yolu yoktu. Enfes (ya da en alt) sahnede!

Yeni bir quarkın –ona **e** quarkı deyin– ve onun karşıparçacık ikizinin bağlı halini görmekte olduğumuza pek az direnç vardı. J/psi bir $\mathbf{b\bar{b}}$ mezondu. Upsilon bir $e\bar{e}$ mezondu. Upsilon tümseğinin kütlesi

yaklaşık 10 GeV yakınlarında olduğu için **e** quarkının 5 GeV yakınlarında bir kütlesi olmalıydı. **b** quarkı 1.5 GeV yakınlarında olduğu için bu şimdiye dek kaydedilmiş en ağır quarktı. $\mathbf{b}\bar{\mathbf{b}}$ ve $\mathbf{e}\bar{\mathbf{e}}$ gibi "atomlar"ın en düşük enerjili bir zemin durumları ve bir çok uyarılmış durumları vardır. Üç zirvemiz zemin durumunu ve iki uyarılmış durumu temsil ediyordu.

Upsilonla ilgili eğlenceli şeylerden biri biz deneycilerin ağır bir antiquarkın etrafında dönen ağır bir quarktan oluşmuş bu garip atomu yönetebilmemizdi. Eski dost Schrödinger'in eşitliği iyi işlemişti ve yalnızca okuldaki notlarımıza kısaca göz atarak bizim ölçtüğümüz enerji düzeylerini ve diğer özellikleri hesaplayan profesyonel kuramcılarla yarışmıştık. Biz eğlendik...ama onlar kazandı.

Keşifler her zaman yarı cinsel yaşantılardır ve John Yoh'un "tekerlek dönerken" yaptığı çabuk analiz tümseğin varlığını ilk gösterdiğinde şimdi (benim için) tanıdık gelen yoğun neşeyi duyumsadım ama "gerçekten doğru olamaz" biçiminde bir sıkıntıyla karışık. En açık dürtü iletişimdi, insanlara söylemek. İyi de kime? Eşler, en iyi arkadaşlar, çocuklar, bu olguda laboratuarı fena halde bir keşfe gereksinen Yönetici Bob Wilson. Almanya'da DORIS makinesindeki meslektaşlarımıza telefon ettik ve onların e^+e^- çarpıştırıcılarıyla upsilonlar yapmaya yetecek enerjiye ulaşıp ulaşamayacaklarını sorduk. Bu enerjide çalışma şansı olan başka tek hızlandırıcıydı. Makine cininin zorlamasıyla başardılar. Daha çok neşe! (ve biraz daha rahatlama.) Daha sonra ödülleri düşünüyorsunuz. Bu kez olur mu?

İyi bir çalışma haftasından sonra bir yangınla keşif yaralandı. 1977 Mayısında mıknatıslarımızın akımını ölçen bir alet, hiç kuşkusuz ihalede ucuza alınmış biri, ateş aldı ve yangın kablolara sıçradı. Bir elektrik yangını klor gazı üretir ve sizin dost itfaiyecileriniz hortumlarıyla içeri dalıp her tarafa su sıkınca hidroklorik asitten bir atmosfer oluştururlar. Asit tüm transistör kartlarına yerleşir ve yavaşça onları yemeye başlar.

Elektronik yangından mal kurtarma bir sanat türüdür. CERN'deki arkadaşlar bana oradaki benzer bir yangından söz etmişlerdi; bu yüzden öneri almak için onları aradım. Merkezi İspanya'da yaşayan ve bir Alman firması için çalışan Hollandalı bir kurtarma uzmanının

adını ve telefon numarasını verdiler. Yangın Cumartesi olmuştu ve şimdi Pazar, sabahın 3'üydü. Fermilab'daki odamdan İspanya'yı aradım ve adamıma ulaştım. Evet, gelirdi. Salı günü Chicago'da olacaktı ve Almanya'dan özel kimyasallarla dolu bir kargo uçağı da Çarşamba günü varacaktı. Ama bir A.B.D. vizesine gereksinimi vardı ki bu da genellikle on gün sürüyordu. Madrid'deki A.B.D. büyükelçisini aradım ve "Atom enerjisi, ulusal güvenlik, milyon dolarlar tehlikede..." diye püskürdüm. Kendimi bir Columbia profesörü olarak tanıtana dek etkilenmeyen bir büyükelçi yardımcısına bağlandım. "Columbia! Neden bunu söylemediniz? Ben de elli altı mezunuyum" diye bağırdı "Sizin adama beni aramasını söyleyin."

Salı günü Mr Jesse geldi ve her birinde yaklaşık 50 transistör bulunan (1975 teknolojisi) 900 kartı kokladı. Çarşamba günü kimyasallar geldi. Gümrük bize daha da karın ağrısı oldu ama A.B.D. Enerji Departmanı yardım etti. Perşembe günü bir montaj bandımız vardı: fizikçiler, sekreterler, eşler, kız arkadaşlar, hepimiz, kartları gizli A çözeltisine sonra da B'ye daldırıyor sonra temiz azot gazıyla kurutuyor sonra deve tüyü fırçalarla fırçalıyor sonra da istif ediyorduk. Mırıl mırıl bir Hollanda büyüsü törenine katılmamızın da isteneceğini düşünmeye başlamıştım ama gerek kalmadı.

Jesse, bir biniciydi, İspanya'da İspanyol süvarileriyle eğitim görmek için yaşıyordu. Üç atım olduğunu öğrenince karım ve Fermilab atlı kulübüyle ata binmek için dışarı fırladı. Gerçek bir uzmandı; herkese önderlik etti. Kısa zamanda çayırın binicileri çeşitli binicilik numaralarının ipuçlarını değiş tokuş etmeye başladılar. Artık laboratuarı eğer atlı saldırıya karar verirlerse CERN ya da SLAC'ın düşman güçlerine karşı koruyacak bir Fermilab süvari takımımız vardı.

Cuma günü her birini özenle kontrol ederek tüm kartları taktık. Cumartesi sabah ayakta ve çalışıyorduk ve birkaç gün sonra hızlı bir analiz tümseğin hâlâ orada olduğunu gösterdi. Jesse; atlara binerek, herkesi hayran bırakarak, yangın önlemleri konusunda önerilerde bulunarak iki hafta daha kaldı. Ondan hiçbir zaman bir fatura almadık ama kimyasalların parasını ödedik. Ve dünyanın üçüncü kuşak quarkları ve leptonları nasıl kazandığının öyküsü böyleydi.

Tam da "en alt" adı bir "tepe" quarkı bulunması gerektiğini telkin

ediyordu. (Ya da eğer "enfes" terimini seçerseniz bir taç quarkı vardır.) Yeni periyodik tablo şimdi şöyleydi:

İlk kuşak	*İkinci kuşak*	*Üçüncü kuşak*
	QUARKLAR	
yukarı (**y**)	büyülü (**b**)	tepe (**t**)
aşağı (**a**)	garip (**g**)	en alt (**e**)
	LEPTONLAR	
elektron nötrinosu (ν_e)	muon nötrinosu (ν_μ)	tau nötrinosu (ν_τ)
elektron (e)	muon (μ)	tau (τ)

Bu kitap yazılırken tepe quarkı henüz bulunmamıştı. Tau nötrinosu da deneysel olarak hiç yakalanmamıştı ama varlığından gerçekten hiç kimse kuşku duymuyordu. Bir "üç nötrino deneyi", bizim iki nötrino deneyimizin arazi vitesli türü için çeşitli öneriler yıllar içinde Fermilab'da benimsendi ama böyle bir proje son derece pahalı olacağı için tümü reddedildi.

Tablomuzun Sol alt grubunun ($\nu - e - \nu_\mu - \mu$) 1962'de iki nötrino deneyinde geliştirildiğine dikkat edin. Sonra en alt quarkıyla tau leptonu 1970'lerin sonlarındaki modele (neredeyse) son fırça darbelerini vurdular.

Tablo, çeşitli kuvvetler de eklenince, Galileo Pisa'daki neredeyse düşey kuleden eşit olmayan ağırlıkta küreler düşürdüğünden bu yana tüm hızlandırıcılardan çıkan tüm verilerin yoğun bir özetidir. Bu tabloya *standart model* denir ya da standart resim veya standart kuram. (Ezberleyin.)

1993'de bu model hâlâ parçacık fiziğinin buyurgan dogmasıydı. 1990'ların makineleri başta Fermilab'ın Tevatron'u ve CERN'in elektron pozitron çarpıştırıcısı (LEP) binlerce deneycinin çabasını standart modelin arkasında ne olduğunun ipuçlarında yoğunlaştırıyor. DESY, Cornell, Brookhaven, SLAC ve KEK'deki (Tsukuba, Japonya) daha küçük makineler de standart modelin çoğu parametreleri üzerine bilgimizi inceltmekte ve daha derin bir gerçekliğin ipuçlarını bulmaya çalışmaktadır.

Yapılacak çok şey var. Bir görev quarkları araştırmak. Anımsayın doğada yalnızca iki tür kombinasyon var: (1) quark artı antiquark ($q\bar{q}$) –bunlar mezonlar– ve (2) üç quark (**qqq**)- baryonlar. Şimdi biz $y\bar{y}$, $y\bar{b}$, $y\bar{t}$, ve $y\bar{b}$, $y\bar{t}$, $a\bar{q}$, $a\bar{e}$ gibi hadronlar birleştirip oynayabiliriz... İyi eğlenceler! Ve de **yya**, **bba**, **tte**... Yüzlerce kombinasyon olasıdır (birileri kaç tane olduğunu biliyordur). Tümü ya keşfedilmiş ve tablolara yerleştirilmiş ya da keşfedilmeye hazır parçacıklardır. Kütleyi, ömrü ve parçalanma biçimlerini ölçerek insan gluonlar tarafından taşınan güçlü quark kuvveti ve zayıf kuvvet nitelikleri hakkında giderek daha çok şey öğrenir. **Çok** iş var.

Bir başka deneysel zirve "nötr akımlar" adını alır ve bizim Tanrı Parçacığı öykümüzde hayati bir yeri vardır.

Zayıf Kuvvete Yeni Bir Ziyaret

1970'lerde kararsız hadronların parçalanması üzerine pek çok veri toplanmıştı. Bu parçalanma gerçekten bileşen quarkların reaksiyonlara girdiğinin –örneğin bir yukarı quarkın aşağı quarka değişmesi ve bunun tersi– göstergesiydi. Birkaç onyıllık nötrino saçma deneylerinin sonuçları çok daha bilgi yüklüydü. Veriler hep birlikte zayıf kuvvetin üç yoğun haberci parçacık tarafından taşınması gerektiğinde ısrar ediyordu: bir W^+, bir W^- ve bir Z^0 Bunların yoğun olması gerekiyordu çünkü zayıf kuvvetin yaklaşık 10^{-19} metreden daha uzağa gitmeyen çok küçük bir etki küresi vardır. Kuantum kuramı bir kuvvetin haberci parçacığın kütlesiyle ters orantılı olarak değiştiği yolunda katı bir kuralı dayatır. Elektromanyetik kuvvet (uzaklıkla zayıflamakla birlikte) sonsuza dek ulaşır ve onun haberci parçacığı sıfır kütleli fotondur.

Ama neden üç kuvvet taşıyıcısı? Türlerin değişimini tetikleyen alanı oluşturmak için neden üç –biri artı yüklü, biri eksi yüklü, biri nötr– haberci parçacık? Açıklamak için biraz fizik muhasebesi yapacağız ve okun (→) iki yanındaki şeylerin eşit olduğunun sağlamasını yapacağız. Bu elektriksel işaretleri de kapsar. Örneğin eğer nötr bir parçacık yüklü parçacıklara parçalanırsa artı yükler eksileri dengelemek zorundadır.

Önce işte bir nötron bir protona parçalanırken olanlar, tipik bir zayıf kuvvet süreci. Onu şöyle yazarız:

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

Bunu daha önce görmüştük: bir nötron bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya parçalanır. Reaksiyonun sağ tarafında artı protonun elektronun eksi yükünü iptal ettiğine antinötrinonun da nötr olduğuna dikkat edin. Her şey tamam. Ama bu, reaksiyonun yüzeysel bir görünümüdür, bir yumurtanın mavi kargaya dönüşmesini izlemek gibi. İçeride ceninin ne yaptığını görmüyorsunuz. Nötron aslında üç quarkın yığılmasıdır; –bir yukarı ve iki aşağı (**yaa**); bir proton iki yukarı ve bir aşağı (**yya**). Böylece bir nötron bir protona parçalanırken bir aşağı quark bir yukarı quarka değişir. Böylece nötronun içine bakmak ve quarklara ne olduğunu betimlemek daha öğreticidir. Ve quark dilinde aynı reaksiyon şöyle yazılabilir:

$$\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{y} + e^- + \bar{\nu}_e$$

Yani nötronun içindeki bir aşağı quark bir elektron ve bir antinötrino yayarak bir yukarı quarka değişir. Ancak bu da gerçekte olanların basitleştirilmiş bir versiyonudur. Elektronla antinötrino aşağı quarktan doğrudan doğruya çıkmazlar. Bir W^- nin işe karıştığı bir ara reaksiyon vardır. Zayıf kuvvetin kuantum kuramı nötron parçalanması sürecini iki evrede yazar:

$$1)\ \mathbf{a}^{-1/3} \rightarrow W^- + \mathbf{y}^{+2/3}$$

ve sonra

$$2)\ W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$$

Aşağı quarkın önce bir W^- ve bir yukarı quarka parçalandığına dikkat edin. Sonra W bir elektronla bir antinötrinoya parçalanır. W, zayıf kuvvetin aracısıdır ve parçalanma reaksiyonuna katılır. Yukarıdaki reaksiyonda **a** **y**'ye değişirken elektrik yükündeki değişikliği dengelemek için bir eksi W'ya gereksinim vardır. W^-'nin -1 yükünü yukarı quarkın $+^2/_3$ yüküne eklediğinizde $-^1/_3$ elde edersiniz ki bu da reaksiyona başlayan aşağı quarkın yüküdür. Her şey yolunda.

Çekirdeklerde yukarı quarklar protonları nötronlara dönüştürerek aşağı quarklara da parçalanabilirler. Quark dilinde süreç şöyle betimlenir: $\mathbf{y} \rightarrow W^+ + \mathbf{a}$ ve sonra $W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$. Burada yük değişikliğini dengelemek için bir artı W'ya gereksinimimiz vardır. Böylece quarkların nötronların protonlara değişimi ve bunun tersi yoluyla gözlemlenen parçalanmaları hem W^+'yı hem de W^-'yi gerektirir. Ama öykünün tümü bu da değil.

1970'lerin ortalarında gerçekleştirilen ve nötrino ışınları içeren deneyler "nötr akımlar"ın varlığını ortaya koydu ki bu da nötr bir ağır yük taşıyıcısını gerektirdi. Bu deneyleri Glashow gibi kuvvetlerin tekleştirilmesi cephesinde çalışan ve zayıf kuvvetlerin yalnızca yüklü kuvvet taşıyıcılarına gereksinmesiyle düş kırıklığına uğrayan kuramcılar uyarmıştı. Nötr akımlar için sürek avı başladı.

Bir akım temelde akan herhangi bir şeydir. Bir su akımı bir nehirde ya da bir borunun içinde akar. Bir elektron akımı bir telin ya da bir eriyiğin içinde akar. W^- ve W^+ parçacıkların bir durumdan ötekine akımına aracılık eder ve elektrik yükünün izini kovalama gereksinimi olasılıkla "akım" kavramından çıkmıştır. W^+ bir artı akıma aracılık eder; W^- ise eksi bir akıma. Bu akımlar az önce betimlenenler gibi kendiliğinden zayıf parçalanmalarda incelenir. Ama hızlandırıcılarda Brookhaven iki nötrino deneyindeki nötrino ışınlarının gelişmesinin olası kıldığı nötrino çarpışmalarında da üreyebilir.

Brookhaven'da keşfedilen türünde bir muon nötrinosu bir protonla –ya da daha özgül olarak protonun içindeki bir yukarı quarkla– çarpışınca ne olduğuna bakalım. Bir muon antinötrinosuyla bir yukarı quarkın çarpışması bir aşağı quarkla bir artı muon oluşturur.

$$\bar{\nu}_\mu + \mathbf{y}^{-2/3} \rightarrow \mathbf{a}^{-1/3} + \mu^{+1}$$

Ya da İngilizce'de muon antinötrinosu artı yukarı quark → aşağı quark artı artı muon. Sonuç olarak nötrino ile yukarı quark çarpıştığında yukarı aşağıya dönüşür; nötrino da bir muona. Yine aslında zayıf kuvvet kuramında ne olup bittiği iki reaksiyonlu bir dizidir:

$$1)\ \bar{\nu}_\mu \rightarrow W^- + \mu+$$

$$2)\ W^- + y \rightarrow a$$

Antinötrino yukarı quaarkla çarpışır ve çarpışmayı bir muon olarak terk eder. Yukarı bir aşağıya dönüşür ve tüm reaksiyona bir eksi W aracılık eder. Bu yüzden eksi bir akımımız vardır. Şimdi daha 1955'de bile kuramcılar (özellikle Glashow'un hocası Julian Schwinger) nötr bir akımın olası olduğunu belirtmişti; şöyle:

$$\nu_\mu + y \rightarrow y + \nu_\mu$$

Burada ne oluyor? Reaksiyonun her iki yanında da muon nötrinolarımız ve yukarı quarklarımız var. Nötrino yukarı quarka çarpıyor ama önceki reaksiyonda olduğu gibi bir muon olarak değil bir nötrino olarak ayrılıyor. Yukarı quark dürtükleniyor ama yukarı quark olarak kalıyor. Yukarı quark bir protonun (ya da nötronun) bir kesimi olduğu için proton itilip kakıldığı halde bir proton olarak kalıyor. Eğer bu reaksiyona yüzeysel olarak baksaydık bir muon nötrinosunun bir protona çarptığını ve sağlam olarak sıçradığını göreçektik. Ama işler bundan daha incedir. Bir önceki reaksiyonlarda bir yukarı quarkın bir aşağı quarka ya da bunun tersine dönüşmesini kolaylaştırmak için ister artı ister eksi bir W gerekiyordu. Burada nötrino yukarı quarkı tekmelemek (ve onun tarafından yutulmak) için bir haberci parçacık yaymalıdır. Bu reaksiyonu yazmaya çalıştığımızda bu haberci parçacığın *nötr* olması gerekeceği açıktır.

Bu reaksiyon diyelim iki proton arasındaki elektriksel kuvveti anlayış biçimimize benzer; bir nötr haberci, bir foton değiş tokuşu vardır ve bu bir protonun ötekine vurmasına olanak veren Coulomb'un kuvvet yasasını üretir. Tür değişimi yoktur. Benzerlik rastlantısal değildir. Tekleştirme kalabalığı (Muhterem Peder Moon'unki değil Glashow ve arkadaşlarının) bir zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri tekleştirme ayini yapacak olsalardı böyle bir sürece gereksinimleri olurdu.

O halde deneysel meydan okuma şudur: nötrinoların çekirdeklerle çarpışacakları ve nötrinolar olarak çıkacakları reaksiyonlar yapabilir miyiz? Karışımın hayati bir bileşeni bizim çarpılan çekirdekteki darbeyi gözlemlememizdir. Bizim Brookhaven'daki iki nötrino deneyimizde böyle reaksiyonların bazı kuşkulu kanıtları vardı. Mel Schwartz onlara "barbutçular" adını verdi. Nötr bir parçacık içeriye girer, nötr bir parçacık çıkar; elektrik yükünde hiçbir değişiklik yoktur. Çarpılan çekirdek parçalanır ama çok küçük bir enerji Brookhaven'ın görece

düşük enerjili nötrino ışınında çok küçük bir enerji görünür –bu yüzden Schwartz'ın tanımlaması. Nötr akımlar. Unuttuğum nedenlerle nötr zayıf haberci parçacığa W^0 değil de Z^0 (ze sıfır diyoruz) adı verildi. Ama arkadaşlarınızı etkilemek isterseniz "nötr akımlar" terimini kullanın; bu, bir zayıf kuvvet reaksiyonunu öldürmek için nötr bir haberci parçacığın gerektiği fikrini ifade etmenin daha süslü bir yolu.

DAHA HIZLI SOLUMA ZAMANI

Biraz kuramcıların ne düşündüğünü gözden geçirelim.

Zayıf kuvvet ilk kez Fermi tarafından 1930'larda fark edilmişti. Kuramını kaleme aldığı zaman Fermi onu kısmen elektromanyetik kuvvetin kuantum alan kuramına, kuantum elektrodinamiğine (KED) göre düzenledi. Fermi bu yeni kuvvetin eski kuvvetin (yani bizim onunla ilgili bilgimiz eski) elektromanyetizmin dinamiklerini izleyip izlemediğini merak etti. Anımsayın KED'de alan fikri haberci parçacıklarla, fotonlarla taşınır. Bu nedenle zayıf kuvvetin Fermi kuramında da haberci parçacıklar bulunması gerekiyordu. Ama onlar nasıl bir şey olacaktı?

Fotonun sıfır kütlesi vardır ve bu elektrik kuvvetinin ünlü uzun erimli ters kare yasasını ortaya çıkarır. Zayıf kuvvetin erimi çok kısaydı bu yüzden sonuç olarak Fermi, kuvvet taşıyıcılarına sonsuz kütle verdi. Mantıksal. Fermi kuramının sonraki versiyonları, en belirgin olarak Schwinger'inki, zayıf kuvvet taşıyıcıları olarak ağır W^+ ve W^- yi tanıttı. Başka birçok kuramcı da öyle yaptı. Görelim: Lee, Yang, Gell-Mann... Yüzde 99'u altüst olacağı için herhangi bir kuramcıyı öne çıkarmaktan nefret ediyorum. Eğer arasıra bir kuramcının adını vermeyi ihmal ediyorsam unuttuğum için değil. Olasılıkla ondan nefret ettiğim için.

Şimdi ustalık isteyen kısım geliyor. Konulu müzikte yineleyen bir tema bir fikri ya da kişiyi veya hayvanı tanıtır -*Peter ve Kurt*'taki Peter'in sahneye çıkmak üzere olduğunu bize söyleyen leitmotif gibi. Bu olguda belki daha uygun olanı *Jaws*'da büyük beyaz köpekbalığının görünmesini haber veren uğursuz çellodur. Sonun ilk konusal

notalarını, Tanrı Parçacığının işaretini çıkarmak üzereyim. Ama onu çok erken ortaya çıkarmak istemiyorum. Herhangi bir soyunma gösterisinde yavaşlık daha iyidir.

Altmışların sonlarında ve yetmişlerin başlarında bir çok genç kuramcı KED'nin başarısını öteki kuvvetlere de yaymak umuduyla kuantum alan kuramını incelemeye başladılar. Uzaktan etkiye bu zarif çözümlerin matematiksel sorunlara yol açtığını anımsayabilirsiniz: küçük ve ölçülebilir nicelikler eşitlikte sonsuz olarak ortaya çıkıyordu –ve de bu biraz fazlaydı. Feynman ve arkadaşları sonsuzları ölçülen niceliklerde örneğin *e* ve *m*'de elektronun yük ve kütlesinde gizlemek için yeniden normalleştirme sürecini icat ettiler. Ancak kuantum alan kuramı öteki üç kuvvete –zayıf kuvvet, güçlü kuvvet ve yerçekimi– uygulandığında tam bir hüsrana uğradı. Bu tatlı dostlara bu yapılamazdı. Bu kuvvetlerle sonsuzlar çılgına döndü ve her şey öyle bozuldu ki kuantum alan kuramının tüm yararlılığı sorgulandı. Bazı kuramcılar KED'ni (elektromanyetizm için) neden bu kuramın işleyip diğerlerinin işlemediğini anlamaya çalışmak için yeniden gözden geçirdiler.

g değerine virgülden sonra on bir basamaklık doğruluk kazandıran KED, ayar kuramları diye bilinen bir kuramlar sınıfına aittir. Ayar terimi burada ölçek anlamına gelir, demiryolunda HO-ayarında olduğu gibi. Ayar kuramı doğada deneysel olgulara sıkıca bağlı soyut bir simetrinin ifadesidir. C.N.Yang ve Robert Mills'in 1954'te yazdığı anahtar bir makale ayar simetrisinin gücüne vurgu yapar. Gözlemlenen görüngüleri açıklamak için yeni parçacıklar öngörmekten çok bu görüngüleri tahmin edecek simetriler aranmalıdır. KED'ne uygulandığında ayar simetrisi gerçekten elektromanyetik kuvvetleri üretir, yük korunumunu güvence altına alır ve daha pahalıya mal olmayacaksa en kötü sonsuzlara karşı bir korunma sağlar. Ayar simetrisi sergileyen kuramlar yeniden normalleştirilebilirler. (Bu cümleyi dilinizden kolayca yuvarlanana kadar yineleyin sonra da onu yemeğinizin içinden çıkarın.) Ama ayar kuramları ayar parçacıklarının varlığını ima eder. Onlar bizim haberci parçacıklarımızdan başka bir şey değildir: KED için fotonlar ve zayıf için W^+ ve W^- Ya güçlü için? Kuşkusuz gluonlar.

İki, yok yok üç nedenden ötürü bazı en iyi ve en zeki kuramcılar zayıf kuvvet üzerinde çalışmaya güdülendiler. Birincisi zayıf kuvvetin

sonsuzlarla dolu olmasıydı ve onun bir ayar kuramına nasıl sokulacağı açık değildi. İkincisi Einstein tarafından övülmüş ve bu genç kuramcılar grubunun akıllarında çok fazla yer etmiş tekleştirme arayışı. Odak noktaları, zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri tekleştirmekti; yılgınlık yaratıcı bir ödev çünkü zayıf kuvvet elektromanyetik kuvvetten çok zayıftır; çok çok daha kısa bir erimi vardır ve denklik gibi simetrileri ihlal eder. Aksi halde iki kuvvet tümüyle aynıdır.

Üçüncü neden bilmeceyi çözecek adamın payına düşecek şan ve şöhretti. Önde gelen adaylar o zaman Princeton'da olan Steven Weinberg; Weinberg'le aynı bilim kurgu derneğinin üyesi Sheldon Glashow; İngiltere İmparatorluk Kolejinde Pakistan'lı bir dahi olan Abdus Salam; Hollanda, Utrecht'de Veltman ve onun öğrencisi Gerard 't Hooft. Daha yaşlı kuramcılar (otuzlarında olanlar) sahneyi kapmışlardı. Schwinger, Gell-Mann, Feynman. Etrafta bir çok başkaları vardı: Jeffrey Goldstone ve Peter Higgs en önemli piccoloculardı.

Aşağı yukarı 1960'dan 1970'lerin ortalarına kadar kuramsal şamatayı adım adım özetlemekten kaçınırsak yeniden normalleştirilebilen bir kurama nihayet ulaşıldığını görürüz. Aynı zamanda elektromanyetik kuvvetle, KED ile bir evliliğin şimdi daha doğal göründüğü bulundu. Ama tüm bunların olması için birleşik "elektrozayıf" kuvvet için ortak bir haberci parçacık ailesini bir araya getirmek gerekiyordu: W^+, W^- Z^0 ve foton. (Şu karışık ailelere benziyor; daha önceki evliliklerden üvey kardeşler aynı banyoyu kullandıkları halde ahenk içinde yaşıyorlar.) Ağır parçacık, Z^0, ayar kuramının gereksinimini karşılamaya yardımcı oldu denklik ihlalinin tüm gereksinimlerini dört kere karşıladı, zayıf kuvvetin apaçık zayıflığını da. Yine de bu evrede (1970'ten önce) yalnız W'ları ve Z'yi görmemiş değildik Z^0'ın üreyebileceği hiçbir reaksiyonu da görmemiştik. Ve de laboratuardaki herhangi bir çocuk elektromanyetik kuvvetle zayıf kuvvet arasındaki büyük farkı ortaya koyabilirken birleşik bir elektrozayıf kuvvet hakkında nasıl konuşabilirdik?

Uzmanların her biri bürolarında ya da evde veya uçak koltuğunda kendi yalnızlıkları içindeyken karşılaştıkları bir problem zayıf kuvvetin kısa erimi nedeniyle ağır kuvvet taşıyıcılarına gereksinmesiydi. Ama ayar simetrisinin tahmin ettiği şey ağır haberciler değildi ve de protestolar sonsuzlar biçiminde geliyordu, kuramcının entelektüel

barsaklarına saplanan bıçaklar. Ayrıca üç ağır, W^+, W^- ve Z^0, nasıl oluyor da kütlesiz fotonla mutlu bir aile oluşturuyordu?

Manchester Üniversitesinden (İngiltere) Peter Higgs o zaman Harvard'da olan şimdi Texas Üniversitesindeki Steven Weinberg'in sömürdüğü bir anahtar sağladı –yine başka bir parçacık, birazdan tartışılacak. Tabii biz laboratuardaki musluk tamircileri hiçbir zayıf-elektromanyetik simetrisi görmüyorduk. Kuramcılar bunu biliyordu ama umutsuzca temel eşitliklerde simetri arıyorlardı. Bu yüzden simetriyi kurmak sonra da eşitlikler deneyin sonuçlarını tahmin ettiğinde kırmak için bir yol bulmakla yüz yüzeydik. Görüyorsunuz soyutta dünya mükemmeldir ama ayrıntılara girdiğimiz zaman mükemmel olmuyor tamam mı? Durun! Bunların hiçbirini düşünmedim.

Ama işte nasıl olduğu.

Weinberg, Higgs'in çalışması sayesinde, bir düzenek keşfetti ve onunla birleşik bir elektrozayıf kuvveti temsil eden sıfır kütleli bozulmamış bir parçacıklar kümesi, kuramın istenmeyen öğelerini besleyerek, çok şiirsel bir anlatımla, kütle kazandı. Tamam mı? Hayır mı? Higgs'in simetriyi tahrip etme fikrini kullanınca işte bu! -W'lar ve Z'ler kütle kazanır, foton aynı kalır ve tahrip edilmiş birleşik kuramın küllerinden zayıf kuvvet ve elektromanyetik kuvvet doğar. Kütleli W'lar ve Z'ler parçacıkların radyoaktivitesini ve ara sıra evreni geçen nötrinolarla karışan reaksiyonları yaratmak için paytak paytak ortalıkta dolanırken haberci fotonlar hepimizin bildiği, sevdiği ve parasını ödediği elektriği oluşturur. İşte. Radyoaktivite (zayıf kuvvet) ve ışık (elektromanyetizm) zarifçe (?) birbirine bağlandı. Aslında Higgs fikri simetriyi tahrip etmedi sadece gizledi.

Geriye tek bir soru kaldı. İnsan bu matematiksel gak gukların birine bile neden inansın ki? Pekala, Tini Veltman (tini mini filan değil) ve Gerard 't Hooft aynı alanda belki çok daha kapsamlı olarak çalıştılar ve simetriyi kırmak için (hâlâ gizemli) Higgs hilesini kullanırsanız kuramı tipik olarak delik deşik eden tüm sonsuzların yok olduğunu ve kuramın gıcır gıcır temizlendiğini gösterdiler. Yeniden normalleşiyordu.

Matematiksel olarak eşitliklerde geleneksel olarak sonsuz olan terimleri iptal edecek işaretleriyle tüm bir terimler dizisi ortaya çıktı.

Ama bu sonsuzlardan öyle çok vardı ki! Bunu sistematik olarak yapmak için 't Hooft bir bilgisayar programı yazdı ve 1971 Temmuzunda bir gün karmaşık integralleri çıkardıktan sonra kalanları izledi. Bunların her biri tek tek hesaplanırsa bir sonsuz sonucu veriyordu. Hesap tamamlandığında bilgisayar her terim için "0" bastı. Sonsuzların hepsi gitmişti. Bu 't Hooft'un teziydi ve o da de Broglie'ninkiyle birlikte tarih değiştiren bir Ph.D. tezi olarak tarihe geçmelidir.

ZE SIFIRI BUL

Bu kadar kuram yeter. İtiraf edeyim karmaşık zımbırtı. Ama sonra ona geri döneceğiz ve kırk yılı aşkın süredir –yeni yetmelerden doktoralılara kadar– öğrencilerle karşı karşıya olmanın kazandırdığı sağlam bir pedagojik ilke der ki ilk geçişte yüzde 97 anlaşılmaz da olsa onu tekrar gördüğümüzde bir biçimde akıldan çıkmayacak derecede tanıdık gelir.

Tüm bu kuram gerçek dünya için ne gibi çıkarsamalar getirir? Büyük çıkarsama 8.Bölüme kadar bekleyecek. Deneyciler için hemen 1970'deki çıkarsama her şeyin çalışması için bir Z^0'ın var olması gerektiğiydi. Ve eğer Z^0 bir parçacıksa biz onu bulmalıydık. Z^0 üvey kızkardeşi foton gibi nötrdü. Ama kütlesiz fotonun tersine Z^0'ın, oğlan kardeşleri W ikizler gibi çok ağır olduğu varsayılıyorlardı. O halde görevimiz açıktı: ağır bir fotona benzeyen bir şey ara.

W'lar aralarında benim de birçok deneyimin bulunduğu pek çok deneyde araştırılmıştı. Nötrino çarpışmalarına baktık, hiç görmedik ve W göremememizin ancak W'nun kütlesi 2 GeV'tan daha büyük olmasıyla anlaşılabileceğini öne sürdük. Daha hafif olsaydı Brookhaven'daki ikinci dizi nötrino deneyimizde görünürdü. Proton çarpışmalarına baktık W yok. O halde şimdi kütlesi 5 GeV'tan daha büyük olması gerekiyordu. Kuramcıların da W özelliklerine ilişkin görüşleri vardı ve kütleyi yükseltmeye devam ederek yetmişlerin sonuna doğru 70 GeV dolayında olduğu tahmin edildi. O dönemin makineleri için çok yüksek.

Ama Z^0'a geri dönelim. Bir çekirdekten bir nötrino saçılır. Eğer dışarıya bir W^+ gönderirse (bir antinötrino bir W^- gönderecektir) bir

muona değişir. Ama eğer bir Z^0 gönderirse nötrino olarak kalır. Söz edildiği gibi biz leptonları izlerken elektrik yükünde hiçbir değişiklik olmadığı için ona nötr bir akım deriz.

Nötr akımları araştırmak kolay değildir. İşaretleyici içeri giren görünmez bir nötrinodur eşit derecede bir nötrino da beraberinde nukleon çarpışmasının sonucu olan bir hadron kümesiyle çıkar. Tarayıcımızda yalnızca bir hadron kümesi görmek çok etkileyici değildir. Sadece bir zemin nötronu da bunu yapabilir. CERN'de Gargamelle adlı dev bir kabarcık odası bir nötrino ışınında, 1971'de çalışmaya başladı. Hızlandırıcı yaklaşık 1 GeV'luk nötrinolar üreten 30 GeV'luk bir makine olan PS'ydi. 1972'de CERN grubu muonsuz olayların izindeydiler. Eş zamanlı olarak yeni Fermilab makinesi David Cline (Wisconsin Üniversitesi), Alfred Mann (Pennsylvania Üniversitesi) ve Carlo Rubbia (Harvard, CERN, Kuzey İtalya, Alitalia...) yönetiminde masif bir elektronik tarayıcıya 50 GeV'luk nötrinolar gönderiyordu.

Bu keşfin öyküsünde çok adil olamayız. İçinde çok fazla buhran dönemi, insan ilgisi ve bilim sosyopolitiği var. Bunların tümünü atlayıp basitçe 1973'de Gargamelle grubunun biraz geçici olarak nötr akımların gözlemini duyurduğunu söylüyoruz. Fermilab'da Cline-Mann-Rubbia ekibi de ona benzer veriler aldı. Şaşırtıcı geri planlar ciddi ölçüdeydi ve sinyal sizi yerinizden zıplatacak türden değildi. Nötr akımlar bulduklarına karar verdiler. Sonra vaz geçtiler. Sonra yeniden karar verdiler. Şakacının biri onların çabalarına "alternatif nötr akım" adını verdi.

1974'de Londra'daki Rochester Konferansında (iki yılda bir yapılan uluslararası bir toplantı) her şey apaçıktı: CERN nötr akımları keşfetmişti ve Fermilab grubunda bu sinyalin inandırıcı doğrulaması vardı. Kanıt "Z^0'a benzer bir şeyin" var olması gerektiğini gösteriyordu. Ama resmi olarak nötr akımlar 1974'de geliştirildiği halde Z^0'ın varlığını doğrudan doğruya kanıtlamak bir dokuz yıl daha aldı. CERN 1983'de şerefi kazandı. Kütle mi? Z^0 gerçekten ağırdı: 91 GeV.

Bu arada 1992'nin ortasına doğru CERN'deki LEP makinesi dört devasa tarayıcısında biriken 2 milyondan fazla Z^0 saptamıştı. Z^0'ın üretimi ve onu izleyen parçalanmasını incelemek zengin bir veri madeni sağlıyor ve 1400 kadar fizikçiyi meşgul tutuyordu. Ernest

Rutherford'un alfa parçacıklarını keşfedişini, sonra onları açıklayışını ve onları çekirdeği keşfetmek için bir alet olarak kullanmaya devam edişini anımsayın. Aynı şeyi nötrinolarla yaptık ve gördüğümüz gibi nötrino ışınları haberci parçacıkları bulmada, quarkları incelemede ve bir çok başka şeyde yararlı bir endüstri haline geldi. Dünün düşlemi, bugünün keşfi ve yarının aletidir.

Güçlü Kuvvete Yeni Bir Ziyaret: Gluonlar

1970'lerde standart modeli tamamlamak için bir keşfe daha gereksiniyorduk. Quarklarımız vardı ama birbirlerine öyle sıkı bağlıydılar ki serbest quark diye bir şey yoktu. Bağlayan düzenek neydi? Kuantum alan kuramına başvurduk ama sonuç yine düş kırıklığıydı. Bjorken Stanford'da elektronların protonun içindeki quarklara çarptığı eski deneysel sonuçları aydınlatmıştı. Kuvvet ne olursa olsun elektron saçılmışsa quarklar birbirine yaklaştıkça kuvvetin zayıfladığını gösteriyordu.

Bu ilginç bir sonuçtu çünkü insan buraya ayar simetrisi uygulamak isterdi. Ayar kuramları güçlü kuvvetin sıkı yakınlıkta çok zayıfladığını, quarklar birbirinden uzaklaştıkça daha güçlü olduğunu tahmin edebilmişti. Bazı çocukların, Harvard'da David Politzer ve David Gross ile Princeton'da Frank Wilczek'in keşfettiği süreç her politikacıyı kıskandıracak bir ad taşıyordu: asimptotik serbestlik. Asimptotik kabaca birbirine yaklaşmak ama asla değmemek demektir. Quarkların asimptotik serbestliği vardır. Güçlü kuvvet bir quark ötekine yaklaştıkça giderek zayıflar. Bunun anlamı paradoksal olarak quarklar bir araya geldikçe neredeyse serbestmişler gibi davranırlar. Ama ayrıldıkça kuvvetler etkin biçimde daha güçlü olur. Kısa uzaklıklar yüksek enerjileri ima eder o halde güçlü kuvvet yüksek enerjilerde zayıflar. Bu elektriksel kuvvetin tam tersidir. (Alice her şey daha garipleşiyor diyor.) Daha önemlisi güçlü kuvvet de diğer kuvvetler gibi bir haberci parçacığa gereksiniyordu. Bir yerlerde haberci gluon adını aldı. Ama ona ad vermek onu bilmek değildir.

Bir başka fikir kuramsal literatürde dolandıktan sonra bugün geçerlik kazandı. Buna Gell-Mann ad verdi. Ona renk denir ve sizin ve benim tanıdığımız renkle hiçbir ilgisi yoktur. Renk belli deneysel sonuçları açıklar ve diğerlerini tahmin eder. Örneğin Pauli ilkesi özgül olarak iki aynı nesnenin aynı durumda olmasını dıştaladığında bir protonun nasıl iki yukarı quark ve bir aşağı quarka sahip olabileceğini açıklar. Eğer yukarı quarklardan biri mavi diğeri yeşilse Pauli'nin kuralına uymuş oluruz. Renk güçlü kuvvete elektrik yükü eşdeğerini verir.

Gell-Mann ve bu bahçede çalışan diğerleri renklerin *üç* türde olması gerektiğini söylediler. Faraday ve Ben Franklin'in elektrik yükünün artı ve eksi diye adlandırılan iki türde olduğunu belirlediklerini anımsayın. Quarkların üç türe gereksinimi vardır. O zaman tüm quarklar üç renkte ortaya çıkarlar. Belki de renk fikri paletten çalınmıştı çünkü üç tane asal renk vardır. Daha iyi bir benzetme elektrik yükünün tek boyutlu, artı ve eksi yönlü, rengin üç boyutlu (üç eksen kırmızı, mavi ve yeşil) olduğudur. Renk quark kombinasyonlarının eşsiz olarak neden quark artı antiquark (mezonlar) ya da üç quark (baryonlar) biçiminde olduğunu açıklıyordu. Bu kombinasyonlar hiçbir renk göstermez; bir mezon ya da baryona baktığımızda quarklık kaybolur. Kırmızı bir quark bir antikırmızı antiquarkla renksiz bir mezon üretmek üzere birleşir. Kırmızı ve antikırmızı iptal olur. Benzer biçimde bir protonun içindeki kırmızı, mavi ve yeşil quarklar beyaz yapmak üzere karışır (bir renk tekerleğini çevirerek bunu deneyin.). Yine renksiz.

Bunlar "renk" sözcüğünü kullanmak için güzel nedenler de olsa hiçbir sözcük anlamı yoktur. Kuramcıların artan miktarda verileri açıklamak için quarklara verdikleri bir başka soyut özelliği betimliyoruz. Tom, Dick ve Harry ya da A, B ve C'yi de kullanabilirdik ama renk daha uygun (renkli?) bir mecazdır. Bu nedenle renk, quarklar ve gluonlarla birlikte kara kutunun ebedi bir parçası, bir Geiger sayacını tıkırdatmayacak, bir kabarcık odasında asla iz bırakmayacak, elektronik bir tarayıcıda telleri titreştirmeyecek soyut kavramlar olarak kalacak gibi görünüyor.

Yine de güçlü kuvvetin quarklar birbirine yaklaştıkça zayıflaması kavramı daha ileri tekleştirme açısından ilginçti. Parçacıklar arasında-

ki uzaklık azaldıkça göreceli enerjileri yükselir (küçük uzaklık yüksek enerjiyi ima eder.) Bu asimptotik serbestlik güçlü kuvvetin yüksek enerjide zayıfladığını düşündürür. O zaman tekleştirme arayıcılarına yeterince yüksek enerjide güçlü kuvvetin gücünün elektrozayıf kuvvete yaklaşabileceği umudu gelmişti.

Peki ya haberci parçacıklar? Renk-kuvvet taşıyıcı parçacıkları nasıl tanımlarız? Ortaya çıkan şey gluonların *iki* rengi olduğu –bir renk ve bir başka antirenk– ve onların quarklar tarafından yayılım ya da soğurulmaları sırasında quarkın rengini değiştirdiğidir. Örneğin bir kırmızı-antimavi gluonu bir kırmızı quarkı bir antimavi quarkına dönüştürür. Bu değiş tokuş güçlü kuvvetin kökenidir ve Büyük Adlandırıcı Murray kurama kuantum elektrodinamiğiyle (KED) uyum içinde kuantum kromodinamiği (KKD) adını vermiştir. Renk değiştirme görevi olası tüm değişimleri yapmaya yetecek kadar gluona gereksinmemiz olduğu anlamına gelir. Sekiz gluonun buna yeteceği ortaya çıkar. Eğer bir kuramcıya "Neden sekiz?" diye sorarsanız bilgece "çünkü sekiz dokuz eksi birdir." diyecektir.

Quarkların hadronların dışında asla görünmemesinden huzursuzluğumuz quarkların neden ömür boyu hapiste olduğuna ilişkin bir resimle yalnızca ılımlı biçimde yatışmıştı. Yakın uzaklıklarda quarklar birbirlerine görece zayıf kuvvetler uyguluyorlardı. Kuramcıların zafer alanı budur, orada quark durumunun özelliklerini ve çarpışma deneylerinde quarkın etkisini hesaplayabilirler. Ancak quarklar ayrılınca kuvvet daha güçlü hale gelir ve onların arasına uzaklık eklemek için gerekli enerji biz quarkları gerçekten ayırmadan çok daha önce enerji girişi yeni bir quark-antiquark çiftinin yaratılmasına yol açana dek hızla artar. Bu garip özellik gluonların basit, aptal haberci parçacıklar olmamasından ileri gelir. Gerçekten birbirlerine kuvvet uygularlar. Bu KED'nin KKD'nden ayrıldığı yerdir, çünkü fotonlar birbirine aldırmaz.

Yine de KED ve KKD'nin özellikle yüksek enerji bölgesinde bir çok yakın benzerliği vardır. KKD'nin başarısı yavaş ortaya çıkmış ama kanıtı olmuştu. Kuvvetin puslu uzun mesafe kesimi yüzünden hesaplar hiçbir zaman çok kesin değildi ve çoğu deney oldukça bulanık "sonuçlarımız KKD'nin tahminleriyle uyumludur" gibi cümlelerle sonuçlanırdı.

Serbest bir quarkı hiç ama hiç görmüyorsak ne tür bir kuramımız var? Onların tümü atomların içinde bağlıyken bile elektronların varlığını algılayan ve onları şu ya da bu biçimde ölçen deneyler yapabilirsiniz. Aynı şeyi quarklar ve gluonlar için de yapabilir miyiz? Bjorken ve Feynman çok sert parçacık çarpışmalarında enerji kazanmış quarkların başlangıçta dışarı fırlayacağını ve quark partnerlerinin etkisinden çıkmadan hemen önce kendilerini dar bir hadron demetiyle –örneğin üç ya da dört veya sekiz pion ya da bazı kaonlar ve nukleonlar ekleyerek– maskeleyeceklerini öne sürmüşlerdi. Bunlara "püskürmeler" adı verildi ve araştırma başladı.

1970'lerin makineleriyle bu püskürmeleri ayırt etmek kolay değildi çünkü tek üretebildiğimiz az sayıda hadrondan oluşan geniş püskürmelerdi. Biz dar, yoğun püskürmeler istiyorduk. İlk başarı SLAC'da çalışan MIT'den bir Ph.D., Gail Hanson adlı genç bir kadın deneyciye aitti. Onun özenli istatistiksel analizi SPEAR'deki 3 GeV'lık e^+ e^- çarpışmasının kalıntılarında bir hadron karşılıklı ilişkisinin var *olduğunu* ortaya koydu. Ona yardımcı olan olgu girenlerin elektronlar ve çıkanların momenti korumak için arka arkaya bir quarkla bir antiquark olmasıydı. Bu karşılıklı ilişkili püskürmeler analizde yakın ama kesin olarak görünüyordu. Democritus ile ben ÇTT'nin kontrol odasında otururken on ya da daha fazla hadronun iğnemsi demetleri, 180 derece aralıkla iki püskürme, her birkaç dakikada bir büyük ekranda parlıyordu. Püskürme çok yüksek bir enerjinin, çıkmadan önce kendini giydiren çok yüksek momentli bir quarkın ürünü olmadıkça böyle bir yapının var olması için hiçbir neden yoktur.

Ama 1970'lerin bu çizgideki büyük keşfi Almanya, Hamburg'da PETRA e^+ e^- makinesinde yapıldı. 30 GeV'luk toplam enerjili çarpışmasıyla bu makine de analize gerek olmadan iki püskürme yapısı gösterdi. Burada insan, verilerin içinde neredeyse quarkları görüyordu. Ama başka bir şey de görüldü.

PETRA'ya on-line bağlı dört tarayıcıdan birinin kendi kısa adı vardı: TASSO Two-Armed Solenoidal Spectrometer'den. TASSO grubu *üç* püskürmenin görüneceği olayları arıyorlardı. KKD kuramının bir sonucu olarak e^+ ve e^- bir quark ve antiquark üretmek için yok olduğunda çıkan quarklardan birinin bir haberci parçacık, bir

gluon yayması olasılığı vardır. Burada "sanal" gluonu gerçek gluon haline getirmeye yetecek enerji vardır. Gluonlar quarkların utangaçlığını paylaşırlar ve quarklar gibi karşılaşma bölgesinin kara kutusunu terketmeden önce kendilerini giydirirler. Bu nedenle üç hadron püskürmesi. Ama bu daha fazla enerji alır.

1978'de 13 ve 17 GeV'luk toplam enerjideki çalışmalar boş çıktı ama 27 GeV'ta bir şeyler oldu. Analiz, bir başka kadın fizikçi Wisconsin Üniversitesinden bir profesör olan San Lan Wu tarafından yürütüldü. Wu'nun programı kısa sürede her birinin üç ila on izi (hadronu) olan üç hadron püskürmesi içeren kırktan fazla olayı ortaya çıkardı. Diziliş bir Mercedes armasına benziyordu.

Diğer PETRA grupları hemen halaya katıldılar. Verilerini inceleyip onlar da üç püskürmeli olaylar buldular. Bir yıl sonra binlercesi biriktirilmişti. Gluon böylece "görülmüş" oldu. İzlerin örüntüsü kuramcı CERN'den John Ellis tarafından KKD kullanılarak hesaplandı ve araştırmayı güdülemedeki görüşmenin hakkı verilmelidir. Gluon taranmasının duyurusu 1979 yazında Fermilab'da bir konferansta yapıldı ve Chicago'da Phil Donahue'nun televizyon programına katılıp keşfi açıklamak benim işimdi. Fermilab bufalolarının tehlikeli radyasyon için uyarı aygıtları olarak laboratuarda dolanmadıklarını açıklamaya daha fazla enerji harcadım. Ama fizikte gerçek haber gluonlardı –bizonlar değil bozonlar.

Böylece şimdi tüm haberci parçacıklar ya da daha bilgince söylendiği üzere ayar bozonları elimizdeydi. ("Ayar", ayar simetrisinden gelir; bozon ise parçacık sınıfını dönmenin tam sayı değeri olarak tanımlamış olan Hintli fizikçi S.N.Bose'dan.) Oysa madde parçacıklarının tümünün dönmesi ½'ydi ve fermionlar diye anılıyorlardı, haberci parçacıkların tümünün dönmesi 1'di ve bozonlardılar. Bazı ayrıntıları atladık. Örneğin foton Einstein tarafından 1905'de tahmin edilmişti ve deneysel olarak 1923'de Arthur Compton tarafından atom elektronlarından saçılan X-ışınları kullanılarak gözlemlenmişti. Nötr akımların 1970'lerin ortalarında keşfedilmelerine karşın W'lar ve Z'ler CERN'in hadron çarpıştırıcısında tarandıkları 1983-84'e dek doğrudan gözlemlenmemişlerdi. Söz edildiği gibi gluonlar 1979'da yakalandı.

Güçlü kuvvetin bu uzun tartışmasında onu gluonlar tarafından taşınan quark-quark kuvveti olarak tanımladığınızı belirtmemiz gerekir. Ama nötronlarla protonlar arasındaki "eski" güçlü kuvvete ne oldu? Şimdi bunu gluonların kalıntı etkisi, çekirdeğin içinde birbirine bağlı nötronlar ve protonlardan dışarıya bir tür sızma olarak anlıyoruz. Pionların değiş tokuşu olarak tanımlanmış eski güçlü kuvvet şimdi quark-gluon süreçlerinin karmaşıklığının bir sonucu olarak görülmektedir.

YOLUN SONU MU?

1980'lere girildiğinde tüm madde parçacıklarını (quarklar ve hadronlar) ortaya çıkarmıştık ve üç kuvvetin (yerçekimi dışında) tüm haberci parçacıkları ya da ayar bozonları epeyce elimizdeydi. Madde parçacıklarına kuvvet parçacıklarını ekleyerek tam standart modeli ya da SM'yi elde edersiniz. O halde işte "evrenin gizi"

MADDE

İlk kuşak	*İkinci kuşak*	*Üçüncü kuşak*
	QUARKLAR	
y	**b**	**t (?)**
a	**g**	**e**
	LEPTONLAR	
ν_e	ν_μ	ν_τ
e	μ	τ
	KUVVETLER	
	AYAR BOZONLARI	
elektromanyetizm		foton (γ)
zayıf kuvvet		**W+ W- Z^0**
güçlü kuvvet		**sekiz gluon**

Quarkların üç renkte ortaya çıktığını anımsayın. Eğer biri edepsizlik etmek isterse on sekiz quark, altı lepton ve on iki ayar bozonu kuvvet taşıyıcısı sayabilir. Ayrıca tüm madde parçacıklarının karşı maddelerinin yer aldığı bir karşı tablo da vardır. Bu toplam altmış parçacık eder. Ama sayan kim? Yukarıdaki tabloya bağlı kalın; bilmemiz gereken her şey odur. Sonunda Democritus'un a-tomlarını elde ettiğimize inanıyoruz. Onlar quarklar ve leptonlardır. Üç kuvvet ve onların haberci parçacıkları Democritus'un "sürekli müthiş devinim"inden sorumludur.

Tüm evrenimizi karışık da olsa bir tabloda özetlemek küstahça gelebilir. Yine de insanlar böyle sentezler yapmaya güdüleniyor gibi; "standart modeller" Batı tarihinde yineleyen bir tema olmuştur. Çağdaş standart modele bu ad 1970'lere dek verilmedi ve terim fiziğin son zamanlardaki modern tarihine özgüdür. Ama yüzyıllar boyunca başka standart modeller de olmuştur. Bir sonraki sayfa onların birkaçını gösteriyor.

STANDART MODEL: hızlandırılmış bir tarih

Mimarlar	Tarih	PARÇACIKLAR	KUVVETLER	Not	Düşünceler
Thales *(Milet'li)*	İ.Ö. 600	Su	Söz edilmemiş	B -	Dünyayı tanrılar yerine doğal nedenlerle açıklayan ilk kişidir. Mitolojinin yerine mantığı geçirdi.
Empedocles (Acraga'lı)	İ.Ö. 460	Toprak, hava ateş ve su	Sevgi ve Çekişme	B+	Her tür maddeyi yapmak için bir araya gelen çoğul "parçacık" fikriyle ortaya çıktı.
Democritus (Abdera'lı)	İ.Ö. 430	Görünmeyen bölünmeyen atomos ya da a-tom	Sürekli müthiş devinim	A	Modeli, her biri farklı biçimde çok fazla parçacık gerektiriyordu ama kesilemeyen a-tom temel fikri öğesel bir parçacığın tanımı olarak kaldı

Isaac Newton	1687	Katı, kütleli, nüfuz edilemez atomlar	Yerçekimi (evren için Bilinmeyen kuvvetler (atomlar için)	C	Atomları sevdi ama nedenlerini ilerletmedi. Onun yerçekimi büyük oğlanlara 1990'larda büyük bir başağrısı oluyor.
Roger J. Boscovich (Dalmaçya'lı)	1760	Bölünmez ve biçim ya da boyuttan yoksun "kuvvet noktaları"	Noktalar arasında etki gösteren çekici ve itici kuvvetler	B+	Kuramı eksikti, sınırlıydı ama "kuvvet alanları" yaratan "sıfır yarıçap"lı noktamsı parçacıklar fikri modern fizik için esastır.
John Dalton (İngiliz)	1808	Atomlar - kimyasal elementlerin (karbon, oksijen v.b.) temel birimleri.	Atomlar arasında çekim kuvveti.	C+	Democritus'un terimini yeniden hayata geçirerek hatâlı çıkış yaptı - Dalton'un atomu bölünemez değildi- ama atomların Democritus'un düşündüğü gibi biçimce değil ağırlıkça farklı olduğunu söyleyerek bir ipucu sağladı.
Michael Faraday (İngiliz)	1820	Elektrik Yükleri	Elektromanyetizm (artı yer çekimi)	B	Akımların "elektrik cisimcikleri"nden - elektronlardan- ibaret olduğunu söylediğinde atomculuğu elektriğe uyguladı.
Dimitri Mendeleev (Sibirya'lı)	1870	Elementlerin periyodik tablosunda dizilmiş elliden fazla atom.	Kuvvetler üzerine varsayımda bulunmadı.	B	Dalton'un kavramını aldı ve bilinen tüm elementleri düzenledi. Periyodik tablosu güçlü bir biçimde daha anlamlı bir yapının ipuçlarını taşıyordu.

Ernest Rutherford (Yeni Zelanda'lı)	1911	İki parçacık: çekirdek ve elektron	Çekirdeksel (güçlü) kuvvet artı elektromanyetizm, yerçekimi	A-	Çekirdeği keşfederek tüm Dalton atomlarında yeni bir basitliği ortaya çıkardı.
Bjorken, Fermi, Friedmann, Gell-Mann, Glashow, Kendall, Lederman, Perl, Richter, Schwartz, Steinberger, Taylor, Ting artı binlerce figüran	1992	Altı quark ve altı lepton artı onların karşı parçacıkları. Quarklar üç renkte ortaya çıkar.	Elektromanyetizm, güçlü kuvvet, zayıf kuvvet on iki kuvvet taşıyıcı parçacık -artı yerçekimi	Yeter siz	"Γφφαω" (kahkaha) -Abdera'lı Democritus

Neden standart modelimiz yetersiz? Apaçık bir çatlak, tepe quarkının henüz görülmemiş olması. Bir diğeri kuvvetlerden birinin atlanıyor olması: yerçekimi. Bu büyük eski kuvveti modele nasıl yerleştireceğini hiç kimse bilmiyor. Bir başka estetik çatlak yeterince basit olmaması –Empedocles'in toprak, hava ateş ve su artı sevgi ve çekişmesine daha çok benzemeliydi. Standart modelde çok fazla parametre, oynanacak çok fazla düğme vardı.

Standart modelin bilimin büyük başarılarından biri olmadığı söylenemez. Bir sürü insanın (her iki cinsten) gece geç saatlere dek süren emeğini temsil eder. Ama onun güzelliğine ve ufkuna hayran olurken insan rahatsızlık hissetmeden edemiyor ve daha basit, eskil bir Yunanlının bile sevebileceği bir model arzu etmeden duramıyor.

Dinleyin: boşluktan yayılan bir kahkaha işitiyor musunuz?

• 8 •

SONUNDA

TANRI PARÇACIĞI

Ve Tanrı dünyasına baktı ve onun güzelliğiyle büyülendi - öyle çok güzellik vardı ki ağladı. Tek tür bir parçacık ve kendisi de ilahi basitlikle tek parçacık olan tek haberciyle taşınan tek kuvvetten oluşan bir dünyaydı.

Ve Tanrı yarattığı dünyaya baktı ve gördü ki o aynı zamanda sıkıcıydı. Bu yüzden o hesapladı ve güldü ve Evrenini genişletip soğuttu. Ve işte o, soğumadan önce yaratışın inanılmaz ısısına dayanamayan Tanrının güvenilir ve gerçek ajanı Higgs alanını etkinleştirmek için yeterince soğudu. Ve Higgs'in etkisiyle parçacıklar alandan enerji emdiler ve bu enerjiyi soğurdular ve kütleleştiler. Her biri kendi yolunda gelişti ama tümü de aynı yolda değil. Bazıları inanılmaz derecede kütleli bir hal aldı, bazıları biraz ve bazıları da hiç. Ve her ne kadar önceden yalnızca bir parçacık vardıysa da şimdi on iki tane vardı ve her ne kadar önceden haberci ve parçacık aynıydıysa şimdi farklıydılar ve her ne kadar önceden yalnızca bir kuvvet ve bir taşıyıcı vardıysa da şimdi on iki taşıyıcı ve dört kuvvet vardı ve her ne kadar önceden sonsuz, anlamsız bir güzellik vardıysa da şimdi Demokratlar ve Cumhuriyetçiler vardı.

Ve Tanrı yarattığı dünyaya baktı ve tutamadığı kahkahalarla kırıldı. Ve Higgs'i çağırttı ve neşesini bastırıp ona sert davrandı ve ona dedi:

"Dünyanın simetrisini neden tahrip ettin"

Ve Higgs en hafif onaylanmama imasıyla sarsılıp kendini şöyle savundu:

"Oh, Patron ben simetriyi tahrip etmedim. Yalnızca enerji tüketimi hilesi olarak onun gizlenmesine neden oldum. Ve böyle yapmakla dünyayı gerçekten karmaşık bir hale getirdim.

"Bu sıkıcı benzer nesneler serisinden çekirdekler, atomlar, moleküller, gezegenler ve yıldızlar yapabileceğimizi kim tahmin edebilirdi ki? "Günbatımlarını ve okyanusları ve şimşek ve sıcaklığın kışkırttığı şu berbat moleküllerden oluşan organik çamuru kim tahmin edebilirdi ki? Ve evrimi ve dürtüp, sondalayıp sizin buyruğunuzla bu kadar özenle gizlediğim şeyi bulmaya uğraşan şu fizikçileri kim tahmin edebilirdi ki?"

Ve Tanrı gülmesini zor zaptederek Higgs'in affını ve terfiini imzaladı.

– Çok yeni Ahid 3:1

Bu bölümde görevimiz Çok Yeni Ahid'in şiirini (?) parçacık kozmolojisinin katı bilimine dönüştürmektir. Ama standart model tartışmamızı henüz terkedemeyiz. Birkaç tane birleştirilecek uç var – birkaç tane de birleştiremediğimiz. Standart model ve ötesi öyküsünde her iki grubun da önemi var ve ben günümüzdeki mikrodünya anlayışımızı sağlamca kuran birkaç deneysel zaferden daha söz etmeliyim. Bu ayrıntılar, modelin kısıtlılıkları kadar gücü hakkında da bir anlayış oluşturacaktır.

Standart modelde aldırış edilmesi gereken iki tür çatlak vardır. Birincisi onun tam olmayışıyla ilgilidir. 1993'ün başlarında bile tepe quarkı hâlâ aranmaktaydı. Nötrinolardan biri (tau) doğrudan taranmamıştı ve gereksindiğimiz pek çok sayı kesin olmayan bir biçimde

biliniyor. Örneğin nötrinoların bir âtıl kütleleri olup olmadığını bilmiyoruz. YD simetri ihlalinin –maddenin kökeni sürecine– nasıl girdiğini bilmiyoruz ve en önemlisi standart modelin matematiksel sabitliğini korumak için Higgs alanı dediğimiz yeni bir görüngüyü yerleştirmek zorundayız. İkinci tür çatlak yalnızca estetik türden. Standart model karmaşık olduğu için çoğu kişiye dünyanın daha basit bir görünümüne doğru bir yol istasyonu gibi gelmektedir. Higgs fikri ve onun hizmetindeki parçacık, Higgs bozonu, saydığımız bütün konularla uyumludur o yüzden bu kitaba onun şerefine Tanrı Parçacığı adını verdik.

STANDART MODEL ISTIRABINDAN BİR PARÇA

Bir nötrino düşünün.

"Hangi nötrino?"

Farketmez. Elektron nötrinosunu alalım –harc-ı alem türden, ilk kuşak nötrino– çünkü en düşük kütle onun. (Kuşkusuz tüm nötrino kütleleri sıfır olmadığı sürece.)

"Tamam, elektron nötrinosu."

Hiç elektrik yükü yok.

Hiç güçlü ya da elektromanyetik kuvveti yok.

Hiç büyüklüğü, mekansal uzanımı yok. Yarıçapı sıfır. Kütlesi olmayabilir.

Hiçbir şeyin (dekanlar ve politikacılar hariç) bu kadar az niteliği olamaz. Varlığı bir fısıltıdan bile az.

Çocukken şöyle bir şarkı söylerdik:

Duvarın üstündeki küçük sinek
Senin hiç kimsen yok mu?
Annen yok mu?
Baban yok mu?
Yuh sana, seni piç!

Şimdi ben şöyle söylüyorum:

Dünyadaki küçük nötrino
Işık hızıyla dolanıyorsun.
Yüksüz, kütlesiz, boyutsuz musun?
Utan! Geleneği bozuyorsun.

Yine de nötrino var. Bir tür yeri var – her zaman bir yönde ışık hızına yakın (ya da eşit) bir hızda bir rotası. Eğer dönenin ne olduğunu sorarsanız kendinizi saf olmayan kuantum öncesi düşünüşten henüz arındıramamış biri olarak ortaya koymuş olmanıza karşın nötrinonun bir dönmesi var. Dönme "parçacık" kavramının içeleminde bulunur ve eğer nötrinonun kütlesi gerçekten sıfırsa dönmesi ve sabit sapmaz ışık hızı ona çakışmasızlık denen yeni eşsiz bir nitelik kazandırmak üzere birleşirler. Bu sonsuza dek dönme yönünü (saat yönünde ya da saatin tersi yönünde) bağlar. "Sağlak" çakışmasızlığı olabilir yani saat yönünde dönerek ilerler ya da solak olabilir saatin tersi yönünde bir dönmeyle ilerler. Bunun içinde güzel bir simetri bulunur. Ayar kuramı tüm parçacıkların sıfır kütlesi ve evrensel çakışmasız simetrisi olmasını yeğler. İşte yine aynı sözcük: simetri.

Çakışmasız simetri erken evreni bitimsiz olarak betimleyen zarif simetrilerden biridir –bir örüntü duvar kâğıdı gibi yinelenir, yinelenir, yinelenir ama koridorlar, kapılar ya da köşelerle çeşitlendirilmemiştir. Tanrının onu sıkıcı bulup Higgs alanına kütle verilmesini ve çakışmasız simetrinin kırılmasını emretmiş olmasında şaşacak hiçbir şey yok. Kütle çakışmasız simetriyi neden kırar? Bir kere bir parçacığın kütlesi olunca ışıktan daha düşük bir hızla yolculuk yapar. Şimdi siz, gözlemci, parçacıktan daha hızlı gidebilirsiniz. O zaman size görece parçacık devinim yönünü değiştirmiş olur ama dönmesini değil böylece bazı gözlemcilere göre solak bir nesne başkalarına göre sağlak olur. Ama nötrinolar, çakışmasız simetri savaşının sağ kalanları vardır. Nötrino her zaman sağlaktır. Bu durum zavallı küçük arkadaşın pek az özelliğinden biridir.

Oh evet, nötrinoların bir başka özelliği daha var, zayıf kuvvet. Nötrinolar ortaya çıkması sonsuz zaman alan (bazan mikrosaniyeler) zayıf süreçlerden doğarlar. Görmüş olduğumuz gibi bir başka parçacıkla çarpışabilirler. Bu çarpışma öyle yakın bir temas, öyle derin bir

içtenlik gerektirir ki son derece nadirdir. Bir nötrino için iki buçuk santim kalınlığında bir çelik dilimine sertçe çarpmak küçük bir mücevheri Atlantik Okyanusu kadar uçsuz bucaksız bir yerde rastlantısal olarak –yani rastgele alınmış bir bardak Atlantik suyu içinde.onu bulmak– yakalamak gibi bir şeydir. Ve tüm nitelik yoksunluklarına karşın nötrino olayların gidişi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin çok büyük sayıda nötrinonun merkezden dışarıya doğru saldırması yıldızların patlamasını ve ölmekte olan yıldızda kısa süre önce pişirilmiş ağır elementlerin saçılmasını kışkırtır. Bu patlamaların artıkları sonunda pıhtılaşırlar ve gezegenlerimizde bulduğumuz silikon, demir ve diğer iyi zımbırtılardan sorumlu olurlar.

Son zamanlarda nötrinonun, eğer gerçekten varsa, kütlesini saptamak için yoğun çabalar harcanmıştır. Bizim standart modelimizin bir parçası olan üç nötrino astronomların "karanlık madde" dedikleri, evrene yayılan ve onun yerçekimsel olarak yönetilen evrimine egemen olan şeyin adaylarıdır. Şu ana kadar bildiğimiz tek şey nötrinoların küçük bir kütlesi ya da kütlelerinin sıfır olabildiğidir. Sıfır öyle özel bir sayıdır ki en küçük bir kütlenin, diyelim bir elektronun milyonda birinin bile büyük kuramsal önemi olur. Standart modelin bir parçası olarak nötrinolar ve onların kütleleri bu açıdan açık soru konularıdır.

GİZLENMİŞ BASİTLİK: STANDART MODEL COŞKUSU

Bir bilimci, diyelim İngiliz inançlı biri, gerçekten ama gerçekten birine kızar ve uç noktada söylenme gereği duyarsa dişlerinin arasından "Pis Aristocu" diyecektir. Onların dövüş sözcüklerini ve ölümcül saldırılarını düşleyemezsiniz bile. Aristoteles (biraz da mantıksızca) genellikle 2 000 yıl boyunca fiziğin gelişmesini elinde tutmakla onurlandırılır –ta ki Galileo ona meydan okuma cesaretini ve inancını gösterene kadar. O Aristoteles'in yardakçılarını bugün Kulenin eğildiği ve piazzayı hatıra eşya satıcılarıyla dondurmacıların doldurduğu Piazza del Duomo'nun kalabalığının gözü önünde utandırdı.

Eğik kulelerden düşen şeylerin öyküsünü gözden geçirmiştik –bir tüy süzülür, çelik bir top hızla düşer. Bu "Ağır çabuk düşer, hafif yavaş düşer." diyen Aristoteles için iyi bir örnek gibidir. Mükemmel biçimde sezgisel. Aynı şekilde eğer bir topu yuvarlarsanız sonunda

durur. Bu yüzden Ari, durmanın "doğal ve yeğlenen" olduğunu "devinimin ise onun devinimini sürdürecek güdücü bir kuvvete gereksindiğini" söylemişti. Son derece açık, gündelik deneyimlerimizle desteklenen ve yine de ...yanlış. Galileo aşağılamalarını Aristoteles'e değil Aristoteles'in tapınağında kuşaklar boyu tapınan ve görüşlerini soru sormadan benimseyen düşünürlere yöneltti.

Galileo'nun gördüğü şey devinim yasalarının derin basitliğiydi; yeter ki hava direnci ve sürtünme gibi gerçek dünyanın parçaları olan ama basitliği gizleyen etmenleri elimine edelim. Galileo dünyanın gerçekten olması gerektiği biçimi matematik –paraboller, ikinci dereceden eşitlikler– olarak gördü. Neil Armstrong, aydaki ilk astronot, havasız ay yüzeyine bir tüyle bir çekici düşürdü ve Kule deneyini tüm dünyanın izleyicilerine gösterdi. Hiç dirençsiz ortamda iki nesne aynı hızla düştü. Ve de yatay bir yüzeyde yuvarlanan bir top eğer sürtünme olmasaydı sonsuza dek yuvarlanırdı. Çok cilalanmış bir masada daha çok yuvarlanır bir hava tünelinde ya da kaygan buz üzerinde daha da fazla yuvarlanır. Soyut düşünmek, havasız, sürtünmesiz bir devinimi düşlemek biraz yetenek ister ama bunu yaptığınızda ödülünüz devinim, uzay ve zaman yasaları konusunda yeni bir içgörü olur.

Bu yürek ısıtıcı öyküden bu yana gizli basitliği öğrendik. Soyut matematikle betimlenebilecek simetri, basitlik ve güzelliği gizlemek doğanın tarzıdır. Şimdi göreceğimiz Galileo'nun hava direnci ve sürtünme (ve eşdeğer politik engelleme) yerine bizim standart modelimiz. Bu fikri 1990'lara dek izleyebilmek için zayıf kuvveti taşıyan ağır haberci parçacıkların öyküsünü toplamamız gerekiyor.

STANDART MODEL: 1980

Seksenli yıllar büyük ölçüde kuramsal kendini beğenmişlikle başladı. Standart model parçacık fiziğinin üç yüz yılının sarsılmaz özetiyle deneycilere "boşlukları doldurmaları" için meydan okuyarak orada duruyordu. W^+, W^- ve Z^0 henüz gözlemlenmemişti; tepe quark da öyle. Tau nötrinosu bir üç nötrino deneyi gerektiriyordu ve böyle deneyler önerilmişti ama düzenlemeler karmaşıktı ve başarı şansı da

düşüktü. Onaylanmamışlardı. Yüklü tau leptonu üzerine deneyler tau nötrinosunun var olması gerektiğini güçlü bir biçimde gösteriyordu.

Tepe quarkı tüm makinelerde, hem proton makinelerinde hem de elektron-pozitron çarpıştırıcılarında, araştırma konusuydu. Japonya'da yepyeni bir makine, Tristan (Tristan –Japon kültürüyle Kuzey Avrupa mitolojisi arasında nasıl bir derin bağlantı var ki?) inşa halindeydi. O, eğer tepe quark 35 GeV'tan daha ağır değilse ya da farklı renkteki kuzeni, 5GeV ağırlığındaki en alttan yedi kez daha ağır değilse bir tepe artı antitepe, $t\bar{t}$, üretebilirdi. Deney ve en azından tepe söz konusu olduğunda Tristan'dan beklentiler boşa çıktı. Tepe ağırdı.

TEKLEŞTİRME DÜŞÜ

W araştırması Avrupalıların tüm güçleriyle çabaladıkları şeydi; dünyaya bu konuda ustalaştıklarını göstermeye kararlıydılar. W'yu bulmak onu üretmeye yetecek enerjide bir makine gerektiriyordu. Ne kadar enerji gerekliydi? Bu W'nun ne kadar ağır olduğuna bağlıydı. Carlo Rubbia'nın ısrarlı ve zorlayıcı tartışmalarına karşılık olarak CERN 1978'de 400 GeV'luk makinelerine dayalı bir proton-antiproton çarpıştırıcısı inşa etmeye girişti.

1970'lerin sonlarında kuramcılar W ve Z'nin "protondan yüz kez daha ağır" olduğunu hesaplamışlardı. (Anımsarsanız protonun âtıl kütlesi ulaşılması kolay 1 GeV'a epeyce yakındır.) W ve Z kütlelerinin bu tahmini öyle bir güvenle yapılmıştı ki CERN "kesin bir şey"e, bir çarpışmada W'ları ve Z'leri yapmaya yetecek enerji verebilecek bir hızlandırıcıya ve çarpışmaları gözlemlemek için bir dizi incelikli ve pahalı tarayıcıya 100 milyon dolar ya da daha fazlasını yatırmaya istekliydi. Onlara bu kibirli güveni ne veriyordu?

Tekleştirilmiş bir kuramın, nihai hedefin çok yakınlarda olduğu duygusundan doğan bir coşku vardı. Altı quarklı ve altı leptonlu ve dört kuvvetli bir dünya modeli değil ama belki de yalnızca bir parçacık sınıfı ve bir büyük –ah, çok büyük– tekleştirilmiş kuvvetten oluşmuş bir model. Bu kesinlikle eskil Yunan görüşünün, sudan havaya oradan toprağa oradan ateşe oradan da dördüne birden ilerlediğimiz hedefin gerçekleşmesi olurdu.

Tekleştirme, basit ve her şeyi kapsayan bir kuramın araştırılması Kutsal Kupaydı.[1] Einstein daha 1901'de (yirmi iki yaşındayken) moleküler (elektriksel) kuvvetlerle yerçekimi arasındaki bağlantılar hakkında yazmıştı. 1925'den 1955'te ölene dek boşu boşuna tekleştirilmiş bir elekromanyetik-yerçekimsel kuvvet aradı. Onun gibi en büyük fizikçilerden birinin bu büyük çabası onun zamanında ya da başka herhangi bir zamanda başarısız oldu. Şimdi iki başka kuvvet daha olduğunu biliyoruz, zayıf ve güçlü. Bu kuvvetler olmaksızın Einstein'ın tekleştirme çabaları başarısızlığa yazgılıydı. Einstein'ın ikinci büyük hatası yirminci yüzyıl fiziğinin merkezi başarısından (ki oluşum evrelerinde büyük katkısı olmuştu), kuantum kuramından uzaklaşması oldu. Aslında tüm kuvvetlerin tekleştirilmesi için çerçeveyi sağlayan bu köktenci ve devrimci kavramı hiçbir zaman benimsemedi. 1960'larda dört kuvvetin üçü bir kuantum alan kuramı terimleriyle formüle edilmişti ve "tekleştirme" çığlığının atıldığı noktaya dek inceltilmişti.

Tüm derin kuramcılar onu tutuyordu. Ellilerin başlarında Columbia'da Heisenberg ve Pauli'nin öğesel parçacıkların tekleştirilmiş yeni kuramını sundukları bir seminer anımsıyorum. Seminer salonu (301 Pupin Salonu) yoğun biçimde kalabalıktı. Ön sırada Niels Bohr, I. I. Rabi, Charles Townes, T. D. Lee, Polykarp Kusch, Willis Lamb ve James Rainwater –hali hazırdaki taçlanmışlar ve gelecekte taçlanması beklenenler. Doktoralılar sanki çağrılmışlar gibi tüm yangın yasalarını ihlal ediyorlardı. Mezuniyet öğrencileri çatı kirişlerine bağlanmış özel kancalardan sarkmışlardı. Bayağı kalabalıktı. Kuram başımın üzerindeydi ama benim anlamıyor olmam onun doğru olduğunu göstermiyordu. Pauli'nin son cümlesi bir itiraftı. "Evvet, bu çılgın bir kuram." Dinleyiciler arasından Bohr'un herkesin anımsadığı sözü şöyle bir şeydi: "Sorun yeterince çılgın olmamasında." Kuram çoğu başka cesurca çıkışlar gibi yok olduğu için Bohr yine haklıydı.

Kuvvetlerin tutarlı bir kuramı iki ölçüte uymalıdır: özel görelilik kuramını ve ayar simetrisini birleştiren bir kuantum alan kuramı olmalıdır. Bu ikinci özellik ve bildiğimiz kadarıyla yalnızca o,

---

[1] *[İsa'nın son akşam yemeğinde kullandığı kupa. Hıristiyan dünyasında yüzyıllar boyunca bulmak üzere çaba harcanmıştır. –çev.]*

kuramın matematiksel olarak sabit olmasını, yeniden normalleştirilebilmesini güvence altına alır. Ama daha fazlası da var; bu ayar simetrisi konusu derin bir estetik çekiciliğe de sahiptir. Gariptir fikir bir kuantum alan kuramı halinde formüle edilmemiş bir kuvvetten çıkar: yerçekimi. Einstein'ın yerçekimi (Newton'unkinin tersine) tüm gözlemciler, âtıl olanlar kadar hızlandırılmış sistemler içindekiler ve de saatte 1 000 mil hızla dönen dünya yüzeyi gibi yerçekimsel alanların varlığındakiler, için aynı olacak fizik yasalarına sahip olma arzusundan doğmuştur. Böyle dönen bir laboratuarda deneyleri yapan kuvvetler düzgünce devinen –hızlanmayan– laboratuarlardakinden çok farklı olacakmış gibi görünmektedir. Einstein *tüm* gözlemcilere aynı gelecek yasalar aradı. Einstein'ın genel görelilik kuramında (1915) doğaya yerleştirdiği bu "değişmezlik" gerekliliği mantıksal olarak yerçekimsel kuvvetin varlığını ima ediyordu. Bunu çok çabuk söylüyorum ama anlamak için çok çalışmıştım! Görelilik kuramı doğanın bir kuvvetinin –bu olguda yerçekimi– varlığını ima eden kendinden bir simetri içerir.

Benzer bir biçimde ayar simetrisi, geçerli eşitliklere dayatılan daha soyut bir değişmezlik ima ederek her durumda zayıf, güçlü ve elektromanyetik kuvveti üretir.

AYAR

Tanrı Parçacığına götüren özel yolun eşiğindeyiz. Çeşitli fikirleri gözden geçirmeliyiz. Biri model parçacıklarıyla ilgili: quarklar ve leptonlar. Tümünün garip kuantum dönme birimiyle yarım dönmeleri vardır. Yine parçacıklarla temsil edilebilen kuvvet alanları bulunur: alan kuantumları. Bu parçacıkların tümünün dönmesi tam sayıdır –bir birimlik dönme. Sıkça tartıştığımız haberci parçacıklar ve ayar bozonlarından başka bir şey değildirler: fotonlar, W'ler ve Z ve de gluonlar; tümü keşfedilmiş ve kütleleri ölçülmüştür. Madde parçacıkları ve kuvvet taşıyıcılarının bu dizisini anlamlı kılmak için değişmezlik ve simetri kavramlarını inceleyelim.

Bu ayar simetrisi fikri çevresinde dans edip durduk çünkü tam olarak açıklanması zor, belki de olanaksız. Sorun bu kitabın İngilizce,

ayar kuramının dilinin ise matematik olması İngilizce'de mecazlara güvenmemiz gerekir. Daha fazla dans ama belki işe yarar.

Örneğin bir kürenin mükemmel bir simetrisi vardır; onu her eksende herhangi bir açıda sistemde bir değişiklik yapmaksızın döndürebiliriz. Dönme eylemi matematiksel olarak betimlenebilir; dönüşten sonra küre dönüşten önceki eşitlikle her bakımdan özdeş bir eşitlikle betimlenebilir. Kürenin simetrisi kürenin dönüşünü betimleyen eşitliklerin değişmezliğine yol açar.

Ama küreler kimin umurunda? Boş uzay da dönüşsel olarak küre gibi değişmezdir. Bu yüzden fizik eşitlikleri dönüşsel olarak değişmez olmalıdır. Matematiksel olarak bu eğer bir x - y - z koordinat sistemini herhangi bir eksen çevresinde herhangi bir açıyla döndürürsek o açının eşitlikte görünmeyeceği anlamına gelir. Böyle başka simetrileri tartışmıştık. Örneğin düz sonsuz bir düzlem üzerinde bulunan bir nesne herhangi bir yönde herhangi bir uzaklığa devinebilir ve yeni sistem devinimden önceki koşula göre aynıdır (değişmezdir). A noktasından B noktasına bu devinime kaydırma denir ve biz uzayın kaydırmaya karşı da değişmez olduğuna inanırız yani tüm uzaklıklara 12 metre eklersek 12 eşitliklerden düşer. Böylece nakaratları yineleyen fizik eşitlikleri kaydırmaya karşı da değişmezlik sergilemelidir. Bu simetri/korunum öyküsünü tamamlamak için enerji korunum yasamız vardır. Gariptir, bununla ilişkili simetri zamanla ilgilidir yani fizik yasaları zaman kaydırmalarına karşı da değişimsizdir. Bu, fizik eşitliklerinde sabit bir zaman aralığını, diyelim 15 saniyeyi zamanın ortaya çıktığı her yere eklersek toplamın temizlendiği, eşitliği bu kaydırmaya karşı değişmez bıraktığı anlamına gelir.

Şimdi de çifteci. Simetri uzayın doğasına yeni nitelikler ekler. Emmy Noether'den bu kitapta daha önce söz etmiştim. Onun 1918'deki katkısı şöyleydi: (temel eşitliklerin örneğin uzaysal dönüşleri ve çevirileri ve zaman çevirilerini belirtme yeteneksizliği gösterdikleri) her simetri için bir korunum yasası vardır! Şimdi korunum yasaları deneysel olarak sınanabilir. Noether'in çalışması çeviri değişmezliğini iyi sınanmış moment korunumu yasasıyla ilişkilendirmişti; dönüş değişmezliğini açısal moment korunumuyla ve zaman çevirisini de enerji korunumuyla. Böylece deneysel olarak

saldırılamayacak bu korunum yasaları (mantığını tersine çevirirsek) zaman ve uzayın uyduğu simetriler hakkında bir şeyler söyler.

Arasöz C'de tartışılan denklik korunumu mikroskopik kuantum evrenine uygulanan ayrı bir simetriye örnektir. Ayna simetrisi bir fiziksel sistemin tüm koordinatlarının bir aynadaki sözlük anlamıyla yansıması anlamına gelir. Matematiksel olarak z aynaya yönelik olduğunda tüm z koordinatlarının $-z$'ye çevrilmesi demektir. Gördüğümüz gibi güçlü ve elektromanyetik kuvvetler bu simetriye uyduğu halde zayıf kuvvet uymaz ki bu bize 1957'de sonsuz keyif vermişti.

Buraya kadar bu malzemenin çoğu gözden geçirildi ve sınıf da iyi gidiyor. (Bunu duyumsuyorum.) 7. Bölümde yukarıdaki örneklerimizin epeyce bağlı olduğu, geometriyle ilişkisiz, daha soyut simetriler olabildiğini görmüştük. Bizim en iyi kuantum alan kuramımızın, KED'nin, matematiksel betimlemede dramatik bir değişiklik – geometrik bir dönüş, çeviri ya da yansıma değil alanı tanımlamada çok daha soyut bir değişiklik– gibi görünen şey karşısında değişmez olduğunu ortaya çıkardı. Değişikliğin adı ayar dönüşümüdür ve daha ayrıntılı bir tanımı yaratacağı matematik sıkıntısına değmez. Kuantum elektrodinamiğinin (KED) eşitliklerinin ayar dönüşümüne karşı değişmez olduğunu söylemekle yetinelim. Bu, insanın elektromanyetik kuvvetin tüm özelliklerini yalnızca ondan türetebileceği çok güçlü bir simetridir. Tarihte böyle yapılmamıştır ama bugün bazı okul kitaplarında böyle anlatılır. Simetri, kuvvet taşıyıcısının, fotonun, kütlesiz olduğunu güvence altına alır. Kütlesizlik ayar simetrisiyle ilişkili olduğu için fotona "ayar bozonu" denir. ("Bozon"un tam sayı dönmesi olan parçacıkları, sıklıkla da haberci parçacıkları, tanımladığını anımsayın.) Ve KED'nin, güçlü kuvvetin ve zayıf kuvvetin ayar simetrisi sergileyen eşitliklerle betimlendiği gösterilmiş olduğu için *tüm* kuvvet taşıyıcıları –fotonlar, W'lar, Z ve gluonlar– ayar bozonu diye adlandırılır.

Einstein'ın tekleştirilmiş bir kuram için otuz yıllık sonuçsuz çabaları 1960'ların sonlarında Glashow, Weinberg ve Salam'ın zayıf kuvvetle elektromanyetik kuvveti tekleştirmeleriyle olabileceğin en iyisi haline getirildi. Kuramın temel iması bir haberci parçacıklar ailesinin varlığıydı: foton, W^+ ve W^- ve de Z^0

Şimdi Tanrı Parçacığı müziği geliyor. Bir ayar kuramında ağır W'lar ve Z'leri nasıl elde edebiliriz? Sıfır kütleli fotonla kütleli W'lar ve Z'ler gibi tamamen farklı nesneler nasıl olup da aynı ailede görünebilir? Çok büyük kütle farkları elektromanyetik ve zayıf kuvvetlerin arasındaki büyük davranış farkından sorumludur.

Bu rahatsız edici girişe sonra döneceğiz; fazla kuram benim ruhumu karartıyor. Ayrıca da kuramcılar bu soruyu yanıtlayamadan bizim W'yu bulmamız gerek. Eğer onlar beklerse.

W'YU BUL

Böylece CERN parayı koydu (ya da daha doğrusu onu Carlo Rubbia'ya verdi) ve W araştırması başladı. Eğer W'nun kütlesi 100 GeV dolayındaysa insanın 100 GeV'luk bir çarpışma enerjisi sağlaması gerektiğini belirtmem gerekir. 400 GeV'luk bir proton âtıl bir protona çarptığında yeni parçacıklar yapmak için elde edilebilen enerji yalnızca 27 GeV'tur. Enerjinin kalanı momenti korumaya harcanır. Rubbia'nın çarpıştırıcı rotasını önermesi bu yüzden. Onun fikri p çizgiler üretmek için CERN'in 400 GeV'luk Süper Proton Sinkrotronuna (SPS) giden enjektörü kullanıp bir antiproton kaynağı yapmaktı. Yeterli bir sayı biriktiğinde yukarıda 6.Bölümde az çok açıkladığımız gibi onları SPS'nin mıknatıs çemberine koyacaktı.

Daha sonraki Tevatron'un tersine SPS bir süperiletken hızlandırıcı değildi. Bu onun maksimum enerjisinin kısıtlı olduğu anlamına gelir. Eğer her iki ışın da, protonlar ve antiprotonlar, SPS'nin tam enerjisine, 400 GeV'a, hızlandırılırlarsa 800 GeV elde edecektiniz –devasa. Ama seçilen enerji her ışın için 270 GeV'tu. Neden 400 GeV değil? Birincisi, o zaman mıknatıslar çarpışma zamanı boyunca uzun bir süre –saatlerce– yüksek akım çekmek zorunda kalacaktı. CERN'in mıknatısları bunun için tasarlanmamıştı ve ısınacaklardı. İkincisi, yüksek alanda herhangi bir süre kalmak pahalıydı. SPS mıknatısları manyetik alanlarını 400 GeV'luk tam enerjiye kadar tırmandırmak, orada kullanıcılara sabit hedef deneyleri için ışın sağlayarak birkaç saniye kalmak sonra da alanı sıfıra düşürmek üzere tasarlanmışlardı. Rubbia'nın iki ışını çarpıştırma fikri ustacaydı ama onun temel sorunu makinesinin başlangıçta bir çarpıştırıcı olarak tasarlanmamış olmasıydı.

CERN otoriteleri her ışında 270 GeV'un –toplam 540 GeV'luk bir enerji– "ağırlığı" yalnızca 100 GeV falan olan W'lar yapmak için yeterli olacağı konusunda Rubbia'yla uzlaştılar. Proje onaylandı ve 1978'de yeterli sayıda İsviçre frangı verildi. Rubbia iki ekip oluşturdu. Birincisi bir grup hızlandırıcı dahisiydi –Fransız, İtalyan, Hollandalı, İngiliz, Norveçli ve arasıra ziyaret eden birkaç Yankee. Dilleri bozuk bir İngilizce ama pürüzsüz bir "hızlandırıcıca"ydı. İkinci ekip, deneysel fizikçiler, protonlarla antiprotonlar arasındaki çarpışmaları gözlemlemek için şiirsel bir düşgücünün esinlemesiyle UA-1 adı verilen masif bir tarayıcı inşa etmek zorundaydılar.

p çizgi hızlandırıcı grubunda bir Hollandalı mühendis, Simon Van der Meer, bu nadir nesneleri biriktiren depolama halkasında antiprotonları küçük bir hacme sıkıştırmak için bir yöntem icat etmişti. "Stokastik soğutma" denen bu icat saygın bir p/p cizgi çarpışması sayısına yani yaklaşık saniyede 50 000 çarpışmaya ulaşmak için yeterli p çizgi elde etmenin anahtarı olmuştu. Harika bir teknisyen olan Rubbia grubunu ateşledi, seçim bölgesini oluşturdu, pazarlamayı, telefon konuşmalarını ve propagandayı yaptı. Tekniği şuydu: konuş, yolculuk yap. Sunumları makineli tüfek biçimindeydi, dakikada beş slayt projeksiyonu hızla, pohpohlama, kabadayılık, tumturaklı sözler ve cevherin derinlemesine bir karışımı.

CARLO VE GORİL

Fizikte pek çokları için Carlo Rubbia kahraman yanları olan bir bilimcidir. Bir keresinde Santa Fe'deki seçkin bir uluslararası toplantıdaki şölen konuşmasını yapmadan önce onu tanıtma işi bana verilmişti. (Bu W ve Z'yi bulduğu için Nobel Ödülünü kazandıktan sonraydı.) onu bir öyküyle tanıttım.

Stockholm'deki Nobel töreninden önce Kral Olaf Carlo'yu bir kenara çekmiş ve ona bir sorunları olduğunu söylemiş. Bir sıkışıklık nedeniyle bu yıl yalnızca bir madalya sağlanabildiğini açıklamış kral. Hangi adayın altını alabileceğini belirlemek için kral üç tane kahramanlık görevi hazırlamış ve onları tüm davetlilerin önüne bahçedeki üç çadıra yerleştirmiş. Carlo'ya ilk çadırda çok iyi damıtılmış dört litre slivovitz bulacağını söylemiş; Bulgaristan'ı çökerten içki.

Tümünü içmek için atanmış süre 20 saniye! İkinci çadırda üç gündür aç bırakılmış ve kırık bir yirmilik diş yüzünden acı çeken bir goril varmış. Görev: ağrıyan dişi çekmek. Süre: 40 saniye. Üçüncü çadırda Irak ordusunun en becerikli fahişesi varmış. Görev: onu tam anlamıyla tatmin etmek. Süre: 60 saniye.

Başlama atışıyla birlikte Carlo ilk çadıra dalmış. Herkes lıkırtıları duymuş ve 18.6 saniyede bomboş dört tane litrelik slivovitz şişesi zafer edasıyla gösterilmiş.

Hiç zaman yitirmeden efsanevi Carlo ikinci çadıra dalmış herkes kulakları sağır edici homurtular işitmiş. Sonra sessizlik olmuş. Ve 39.1 saniyede Carlo dışarı fırlamış mikrofonu yakalamış ve rica etmiş "Tamam dişi ağrıyan goril nyerde?

Dinleyiciler belki de konferans şarabı çok cömertçe sunulduğu için takdirle şamata ettiler. Sonunda Carlo'yu sundum ve o kürsüye doğru önümden geçerken "Anlamadım. Sonra bana açıkla." dedi.

Rubbia aptal yerine konmaktan rahatsız olmazdı ve güçlü kontrolü kızgınlık yaratırdı. Başarısından bir süre sonra Gary Taubes onun hakkında *Nobel Düşleri* diye gururunu okşamayan bir kitap yazdı. Bir keresinde Carlo'nun dinleyiciler arasında olduğu bir kış okulunda kitabın film haklarının satıldığını ve beden ölçüleri kabaca Carlo'nun aynı olan Sydney Greenstreet'in onu oynamak için sözleşme imzaladığını duyurdum. Birileri Sydney Greenstreet'in öldüğünü yoksa iyi bir seçim olacağını söyledi. Bir başka toplantıda Long Island'da bir yaz konferansında birileri kumsala şu levhayı koydu: "Yüzmek yasak. Carlo okyanusu kullanıyor."

Rubbia W'nun araştırılmasının her cephesinde at koşturdu. Tarayıcı inşacılarını 270 GeV'luk protonlarla 270 GeV'luk antiprotonların kafa kafaya çarpışmalarından doğan elli ya da altmış parçacıklı olayları tarayıp analiz edecek dev mıknatısların bir araya getirilmesi için durmadan sıkıştırdı. Antiproton biriktiricisi ya da AA halkası, Van der Meer'in fikrini hayata geçirecek ve SPS halkasına enjekte edilip onun içinde hızlandırılacak yoğun bir antiproton kaynağı üretecek aygıt konusunda da aynı derecede bilgili ve etkindi. Halkanın radyo frekansı oyukları ve genişletilmiş su soğutması ve UA-1'in birleştirileceği özel olarak donatılmış bir etkileşim salonu

olması gerekiyordu. Rubbia'yı dürüst tutmak ve biraz sigorta elde etmek için CERN otoriteleri bir rakip tarayıcı, UA-2'yi doğal olarak onayladılar. UA-2 kesinlikle ortamın Avis'iydi ama onu inşa eden grup genç ve hevesliydi. Daha küçük bir bütçeyle kısıtlı oldukları halde çok farklı bir tarayıcı inşa ettiler.

Rubbia'nın üçüncü cephesi CERN otoritelerini hevesli tutmak, dünya kamuoyunu bulandırmak ve büyük W deneyi için sahneyi hazırlamaktı. Tüm Avrupa bunda yer kapmak istiyordu çünkü o Avrupa biliminin gelmekte olan çağı anlamına geliyordu. bir gazeteci bir hatanın "papayı ve başpiskoposları ezeceğini" öne sürdü.

Deney 1981'de başlatıldı. Her şey yerli yerindeydi –UA-1, UA-2, AA halkası– test edilmiş ve hazırdı. Çarpıştırıcı artı tarayıcının karmaşık sistemindeki her şey için sınama turları olarak tasarlanmış ilk dönüşler oldukça verimliydi. Sızıntılar, hatalar, kazalar vardı ama sonunda veriler! Ve tümü yeni bir karmaşıklık düzeyindeydi. 1982 Rochester Konferansı Paris'teydi ve CERN laboratuarının tümü sonuçları almak için dışarıya çıktı.

İronik bir biçimde UA-2, sonradan düşünülen tarayıcı püskürmeleri, quarkların imzası olan dar hadron bantlarını gözlemlemede ilk gösterişi yaptı. Hâlâ öğrenmekte olan UA-1 keşfi kaçırdı. Ne zaman Davut Goliat'ı yense Goliat dışında herkes hoşnut olur. Bu olguda kaybetmekten nefret eden Rubbia püskürmelerin gözlemlenmesinin CERN'in gerçek bir zaferi –güçlü bir göstergeye harcanmış makine, tarayıcı ve yazılım çabalarının zaferi– olduğunu ayrımsadı. Tümü çalışmıştı! Eğer püskürmeler görüldüyse W'lar yakındaydı.

NO. 29 ÜZERİNDE BİR GEZİNTİ

Belki de düşsel bir yolculuk tarayıcıların işleyiş biçimini en iyi anlatabilir. Burada Fermilab'daki ÇTT tarayıcısına atlayacağım çünkü her ne kadar tüm "dört pi" tarayıcıları için genel fikir aynıysa da o UA-1'den daha modern. (Dört pi – 4π – tarayıcının çarpışma noktasını tümüyle çevrelemesi demektir.) bir protonla antiproton çarpıştığında bir parçacıklar püskürtüsünün her yönde fışkırdığını anımsayın.

Ortalama olarak üçte biri nötr geri kalanı yüklüdür. Görev her parçacığın nereye gittiğini ve ne yaptığını bulup çıkarmaktır. Herhangi bir fiziksel gözlemde olduğu gibi insan yalnızca kısmen başarılı olur.

Bir parçacığın üzerine binelim. Diyelim onun yolu No.29 olsun. Çarpışma çizgisinden bir açıyla fırlar boşluk borusunun (ışın tüpü) ince metal duvarıyla karşılaşır hiç zorlanmadan bunun içinden geçer ve sonraki elli santim boyunca çok büyük sayıda çok ince altın teller içeren bir gazın içinden geçer. Hiçbir levha olmamasına karşın burası Charpak bölgesidir. Parçacık izleme odasının sonuna varmadan önce bu tellerin kırk ya da ellisinin yakınından geçer. Eğer parçacık yüklüyse yakındaki her tel onun geçişini ne kadar yakından geçtiğine ilişkin bir hesapla birlikte kaydeder. Tellerden gelen yığılımlı bilgi parçacığın yolunu belirler. Tel odası güçlü bir manyetik alan içinde olduğu için yüklü parçacığın yolu eğrilir ve bu eğrinin bağlantılı bilgisayar tarafından hesaplanan ölçümü fizikçiye 29 No.lu parçacığın momentini verir.

Parçacık manyetik tel odasını belirleyen silindirik duvardan geçtikten sonra parçacığın enerjisini ölçen bir "kalorimetre bölgesi" nden geçer. Şimdi parçacığın daha sonraki davranışı onun ne olduğuna bağlıdır. Eğer o bir elektronsa tüm enerjisini kurşun sandviçlere et sağlayan duyarlı tarayıcılara vererek bir dizi birbirine yakın yerleştirilmiş ince kurşun levhada parçalanır. Bilgisayar No. 29'un ilerlemesinin kurşun ışıltı kalorimetresinde yedi buçuk ya da on santim sonra kesildiğini belirler ve sonuca varır: elektron! Ancak eğer No. 29 bir hadronsa enerjisinin tümünü tüketmeden önce kalorimetre malzemesinin yirmi beş ila elli santimini geçer. Her iki durumda da enerji ölçülür ve parçacığın ıknatıs içindeki eğiminin belirlediği moment ölçümüyle karşılıklı olarak kontrol edilir. Ama bilgisayar sonuç çıkarma işini nazikçe fizikçiye bırakır.

Eğer No. 29 nötr bir parçacıksa izleme odası onu hiç kaydetmez. Kalorimetrede ortaya çıktığında davranışı temelde yüklü bir parçacığın aynıdır. Her iki durumda da parçacık kalorimetre malzemesiyle çekirdeksel çarpışmalar üretir ve atıklar da başlangıçtaki tüm enerji tüketilinceye kadar daha başka çarpışmalar üretir. Böylece nötrleri kaydedip ölçebiliriz ama momenti saptayamayız ve devinim yönünün kesinliğini de yitiririz çünkü tel odasında hiç iz kalmaz. Bir nötr

parçacık, foton, elektron gibi kurşun tarafından oldukça hızlı soğurulmasıyla kolayca tanınır. Bir başka nötr, nötrino, enerjisini ve momentini taşıyarak arkasında güzel kokusundan bir iz bile bırakmadan tarayıcıyı tümden terk eder. Son olarak muon kalorimetrenin içinden küçük bir enerji bırakarak geçer (onun hiçbir güçlü çekirdeksel çarpışması yoktur). Ortaya çıktığında içinden yalnızca bir muon tarayıcısı –tel odaları ya da parıltı sayaçları– bulmak için geçeceği yetmiş beş ya da yüz elli santim demirle karşılaşır. Muonların etiketlenme biçimi de bu.

İnsan kırk yedi parçacık ya da sayıları kaçsa o kadar parçacık için bu tek bir olayda tüm bunları yapar. Sistem verileri depolar, yaklaşık her olay için bir milyon bitlik bilgi –yüz sayfalık bir kitabın içindeki bilgiye eşdeğer. Veri toplama sistemi çabucak bu olayın ilginç olup olmadığına karar vermek zorundadır; göz ardı etmeli ya da kaydetmeli veya verileri bir "tampon" belleğe atmalı ve tüm kütükleri bir sonraki olay için hazır olsunlar diye temizlemelidir. Yeni olay eğer makine çok iyi çalışıyorsa ortalama milyonda bir saniye sonra ulaşacaktır. Tevatron'un en son tam randımanlı çalışmasında (1990-91) ÇTT'nin tarayıcısının manyetik teyplerinde depolanan bilgi miktarı bir milyon romanın ya da beş bin takım *Encyclopaedia Britannica*'nın metnine denkti.

Çıkan parçacıklar arasında bazılarının çok kısa ömrü vardır. Bunlar kendiliğinden ayrışmadan önce ışın tüpü içinde çarpışma noktasından üç beş milimetre uzaklaşabilirler. W'lar ve Z'ler öylesine kısa ömürlüdürler ki uçuş mesafeleri ölçülemez ve insan onların varlığını yarattıkları parçacıkların ölçümünden belirlemelidir. Bunlar sıklıkla tipik olarak her çarpışmada uçuşan atıkların arasına gizlenmişlerdir. W kütleli olduğu için parçalanma ürünleri ortalamadan daha yüksek enerjiye sahiptir ki bu yerlerinin saptanmasına yardımcı olur. Bir tepe quarkı ya da Higgs parçacığı gibi ekzotik parçacıklar ortaya çıkan parçacıkların pisliği arasından ayıklanması gereken bir dizi beklenen parçalanma türüne sahip olacaktır.

Muazzam sayıda elektronik veri parçalarını çarpışmaların doğası hakkında sonuçlara dönüştürmek etkileyici bir çaba ister. On binlerce sinyalin sınanması ve ölçeklendirilmesi gerekir; "anlamlı" olaylara bakılarak on binlerce kod çizgisinin incelenmesi ve doğrulanması

gerekir. Güçlü çalışma istasyonları ve keskin analiz kodlarıyla çok yetenekli ve güdülenmiş bir profesyoneller (resmen mezuniyet öğrencileri ya da doktoralılar diye adlandırılabilseler de) taburunun bir Tevatron çarpıştırıcı çalışmasında biriktirilen verilerin hakkını vermesinin iki ya da üç yıl sürmesi sürpriz değildir.

ZAFER!

Çarpışma fiziğinin öncülüğünün yapıldığı CERN'de her şey tasarımın hakkını vererek iyi gitti. 1983 Ocağında Rubbia W'ları duyurdu. Sinyal, yalnızca bir W nesnesinin üretimi ve sonraki ayrışması olarak yorumlanabilecek beş olaydı.

Bir gün falan sonra UA-2 ek dört olay daha elde ettiğini duyurdu. Her iki olguda da deneyciler her tür çekirdeksel atık üreten yaklaşık bir milyon çarpışmayı ayıklamak zorundaydılar. İnsan kendini ve de pek çok kuşkucuyu nasıl inandırır? Keşfe götüren özel W parçalanması $W^+ \rightarrow e^+$ + nötrino ya da $W^- \rightarrow e^-$ + antinötrino'dur. Bu tür bir olayın ayrıntılı bir analizinde insan (1) gözlemlenen tek izin elektrondan başka bir şey olmadığını ve (2) elektron enerjisine W'nun kütlesinin yaklaşık yarısının eklenmiş olduğunu saptamalıdır. Görünmeyen nötrinonun götürdüğü "kayıp moment" olayda görülen tüm momenti toplayıp çarpışan parçacıkların başlangıç durumunun momenti olan "sıfır"la kıyaslamakla hesaplanabilir. Keşif CERN'in çarpıştırıcı parametreleriyle W'ların neredeyse âtıl halde yapılması gibi şanslı bir kazayla büyük ölçüde kolaylaştı. Bir parçacığı keşfetmek için pek çok kısıtlamaya uyulması gerekir. Önemli bir koşul tüm aday olayların (kabul edilebilir ölçüm sınırları içinde) W kütlesi ile aynı değeri vermesidir.

Rubbia'ya sonuçlarını CERN topluluğuna sunma onuru verildi ve alışılmışın dışında sinirliydi; sekiz yıllık çalışma ürün vermişti. Konuşması muhteşemdi. Onları tutkulu bir mantıkla (?) sunabilmek için gerekli tüm yetenek ve şovmenliğe sahipti. Rubbia'dan nefret edenler bile alkışladırlar. Avrupa haklı olarak Rubbia ve Van der Meer'e 1985'de verilen Nobel Ödülünü aldı.

W başarısından altı ay kadar sonra nötr partner Z sıfırın varlığının ilk kanıtları ortaya çıktı. Sıfır elektrik yüküyle pek çok olasılık

arasında bir e^+ ve e^-'ye (ya da bir çift muona, μ^+ ve μ^-'ye) parçalanır. Neden? Bir önceki bölümde uyumuş olanlar için söylüyorum çünkü Z nötrdür parçalanma ürünlerinin yükleri birbirini iptal etmelidir bu yüzden zıt yüklü parçacıklar mantıksal parçalanma ürünleridir. Hem elektron hem de muon çiftleri kesin olarak ölçülebildiği için Z^0, tanınması W'dan daha kolay olan bir parçacıktır. Sorun Z^0'ın W'dan daha ağır olması ve daha az sayıda yapılmasıdır. Yine de 1983'ün sonunda Z^0 hem UA-1 hem de UA-2 tarafından ortaya kondu. W'ların ve Z^0'ın keşfi ve kütlelerinin tam da tahmin edildiği gibi olduğunun belirlenmesiyle elektrozayıf kuram –ki elektromanyetizmle zayıf kuvveti birleştirir– kesin bir biçimde doğrulandı.

STANDART MODELİ AŞMAK

1992'de UA-1, UA-2 ve yeni çocuk Fermilab'ın Tevatron'undaki ÇTT'de on binlerce W toplanmıştı. W'nun kütlesi şimdi yaklaşık 79.31 GeV olarak biliniyordu. CERN'in "Z^0 fabrikası" LEP'de (Büyük Elektron-Pozitron Depolama Halkası) iki milyon kadar Z^0 toplanmıştı. Z^0'ın kütlesi 91.175 GeV olarak ölçülmüştü.

Bazı hızlandırıcılar parçacık fabrikası haline gelmişti. İlk fabrikalar –Los Alamos, Vancouver ve Zürih'te– pionlar ürettiler. Kanada şimdi bir kaon fabrikası tasarımlıyor. İspanya bir tau-büyülü fabrikası istiyor. Enfes ya da en alt fabrikası için üç ya da dört öneri var ve CERN Z^0 fabrikası 1992'de tam kapasiteyle üretimdeydi. SLAC'daki daha küçük bir Z^0 projesine tavan arası ya da butik adı verilmesi daha uygun olur.

Neden fabrikalar? Üretim süreci çok ayrıntılı olarak incelenebilir ve özellikle daha kütleli parçacıklar için bir çok parçalanma tipleri vardır. İnsan her tip için binlerce olay örneği ister. Kütleli Z^0 olgusunda insanın zayıf ve elektrozayıf kuvvet hakkında çok şey öğrenebileceği pek çok tip bulunur. insan orada olmayan şeyden de öğrenir. Örneğin eğer tepe quarkının kütlesi Z^0'ınkinin yarısından azsa (zorunlu olarak) $Z^0 \rightarrow$ tepe + antitepe'ye sahip oluruz. Yani bir Z sıfır nadir de olsa bir tepe quarka sıkıca bağlı bir antitepeden oluşan bir mezona parçalanabilir. Söz edildiği gibi Z^0'ın elektron çiftlerine ya da

muon çiftlerine veya en alt quark çiftlerine parçalanması daha olasıdır. Bu çiftlerden sorumlu kuramın başarısı bizi Z^0'ın bir tepe/antitepeye parçalanmasının tahmin edilebilir olduğuna inanma konusunda yüreklendirir. Fiziğin totaliter kuralı nedeniyle buna zorunlu diyoruz. Eğer yeterince Z^0'lar yaparsak kuantum kuramının olasılıklarına göre tepe quarkının kanıtlarını görmemiz gerekir. Yine de CERN'de Fermilab'da ve başka bir yerde üretilen milyonlarca Z^0'da bu özel parçalanmayı hiç görmedik. Bu bize tepe quarkı hakkında önemli bir şey söylemektedir. O, Z^0'ın kütlesinin yarısından daha ağır olmalıdır. Z^0'ın onu üretememesinin nedeni budur.

NEDEN SÖZ EDİYORUZ BİZ?

Tekleştirmeye yönelik şu ya da bu yolu izleyen kuramcılar tarafından geniş bir varsayımsal parçacıklar serisi önerilmiştir. Genellikle bu parçacıkların kütle dışındaki özellikleri model tarafından iyi belirlenir. Bu "ekzotikler"i görmemek, kütle ne kadar büyükse üretmesi o kadar zordur kuralına göre onların kütleleri için dar bir sınır sağlar.

Burada biraz kuram işe karışıyor. Kuramcı Lee der ki: bir p/p çizgi çarpışması, çarpışmada yeterli enerji olursa varsayımsal bir parçacık – ona Lee-on diyelim– üretecektir. Ancak Lee-on üretmenin bağıl frekansı ya da olasılığı onun kütlesine bağlıdır. Ne kadar ağırsa o kadar seyrek olarak üretilecektir. Kuramcı alelacele günde üretilen Lee-on sayısıyla parçacığın kütlesi arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik yapar. Örneğin: kütle = 20 GeV, 1 000 Lee-on (akıllara seza); 30 GeV, 2 Lee-on; 50 GeV, binde bir Lee-on. Bu son durumda bir olay elde etmek için aleti 1 000 gün çalıştırmak gerekir ve deneyciler etkinlik ve geri plan gibi ek problemleri de olduğu için genellikle en az on olay diye diretirler. Bu nedenle hiçbir olayın görülmediği belli bir çalışmadan, diyelim 150 günden (bir yıllık çalışma) sonra eğriye bakılır ve –bir kütleye, diyelim Lee-on için 40 GeV'a uygun olarak– on olayın üremesi gereken yere dek izlenir. Tutucu bir tahminle beş kadar olay atlanmış olabilir. O halde eğri bize kütle 40 GeV olsaydı birkaç olaylık zayıf bir sinyal göreceğimizi söyler. Ama biz hiçbir şey görmedik. Sonuç: kütle 40 GeV'tan daha ağır.

Şonra? Eğer Lee-on ya da tepe quarkı veya Higgs oyuna değiyorsa üç stratejiden biri seçilir. Birincisi daha uzun süre çalışma ama bu gelişmenin sert bir yoludur. İkincisi saniyede daha çok çarpışma elde etmek; yani parlaklığı arttırmak. Tamam! Bu tam da Fermilab'ın çarpışma oranını yaklaşık yüz kat arttırmak için 1990'larda yaptığı şeydi. Çarpışmada bolca enerji olduğu sürece (1.8 TeV bolcadır) parlaklığı arttırmak işe yarar. Üçüncü strateji makinenin enerjisini yükseltmektir ki bu da tüm ağır parçacıkların üretilme olasılığını arttırır. Bu Süper Çarpıştırıcı yoludur.

W ve Z'nin keşfiyle altı quark, altı lepton ve on iki ayar bozonu (haberci parçacıklar) belirlemiştik. Standart modelde henüz karşılaşmadığımız birkaç şey daha kaldı ama bu gizeme yaklaşmadan önce model üzerinde birazcık daha duralım. Onu üç kuşak olarak yazmak en azından ona bir örüntü verir. Başka örüntülerimiz de vardır. Üst kuşaklar birbirini izleyerek daha ağırdır ki bu da bizim bugünkü soğuk dünyamızda epeyce anlamlıdır ama dünya genç ve çok sıcakken o kadar önemli değildi. Çok genç evrendeki tüm parçacıkların muazzam enerjileri vardı –milyarlarca TeV– o yüzden bir en alt quarkla yukarı quarkın âtıl kütlesi arasındaki küçük bir fark anlamsızdı. Bir zamanlar tüm quarklar, leptonlar vb. aynı değerdeydiler. Bir nedenle Tanrı onların tümünü seviyordu ve tümüne gereksinimi vardı. Bu yüzden tümünü ciddiye almak zorundayız.

CERN'deki Z^0 verileri bir başka sonucu telkin ediyordu: bizim dördüncü ya da beşinci kuşak parçacıklara sahip olmamız pek de olası değildir. Bu nasıl bir sonuçtur? Karla kaplı dağlar, derin buz tutmuş göller ve görkemli restoranların çekimine kapılmış İsviçre'deki bu fizikçiler nasıl böyle kısıtlayıcı bir sonuç çıkarabilmişlerdi.

Etkileyici bir düşünce. Z^0'ın bir çok parçalanma tipleri vardır ve her tip, her parçalanma olasılığı, onun ömrünü biraz kısaltır. Eğer bir çok hastalık, düşman ve tehlike olursa insan hayatı da kısalır. Ama bu hastalıklı bir benzetme. Her parçalanma fırsatı Z^0'a bu ölümcül halkayı sarsması için bir kanal ya da yol açar. Tüm yolların toplamı ömrü belirler. Tüm Z^0'ların aynı kütlede olmadığını belirtelim. Kuantum kuramı bize eğer bir parçacık kararsızsa –sonsuza dek yaşamıyorsa– kütlesinin bir biçimde belirsiz olduğunu söyler. Heisenberg ilişkileri ömrün kütle dağılımını nasıl belirlediğini söyler:

uzun ömür dar dağılım; kısa ömür geniş dağılım. Başka bir deyişle ömür ne kadar kısaysa kütle o kadar belirsizdir ve kütlelerin dağılımı o kadar yaygındır. Kuramcılar ilişki için bize seve seve bir formül sağlarlar. Eğer epeyce Z^0'ınız ve bir tarayıcı inşa etmek için yüz milyon İsviçre frangınız varsa dağılım genişliğini ölçmek kolaydır.

Eğer çarpışmadaki e^+ ve e^- enerjilerinin toplamı Z^0'ın ortalama kütlesi olan 91.175 GeV'tan çok küçükse üretilen Z^0 sayısı sıfırdır. Operatör makinenin enerjisini tarayıcıların her birinden düşük bir Z^0 ürünü elde edinceye dek yükseltir. Makinenin enerjisini arttırın, ürün artar. Bu, SLAC'daki J/psi deneyinin bir yinelemesidir ama burada genişlik 2.5 GeV'tur yani 91.175 GeV'ta bir tepe ürün vardır ve bu her iki yanda 89.9 GeV ve 92.4 GeV'ta yarıya düşer. (Anımsayacak olursanız J/psi'nin genişliği çok daha dardı: yaklaşık 0.05 MeV.) Çan biçimi eğri bize aslında bir ömür olan bir genişlik verir. Olası her Z^0 parçalanma tipi onun ömrünü kısaltır ve genişliği yaklaşık 0.20 GeV arttırır.

Bunun dördüncü bir kuşakla ne ilgisi var? Her kuşağın düşük kütleli (ya da sıfır kütleli) bir nötrinosu olduğunu belirtmiştik. Eğer düşük kütleli nötrinosuyla bir dördüncü kuşak olsaydı Z^0'ın parçalanma tiplerinden biri olarak bu yeni kuşağın nötrino ν_x ve onun karşı parçacığı $\bar{\nu}_x$'i içeren bir parçalanma tipi olması gerekirdi. Bu olasılık genişliğe 0.17 GeV eklerdi. Bu yüzden Z^0'ın kütle dağılım genişliği dikkatle incelendi. Ve kesin olarak üç kuşaklık standart modelin öngördüğü şey olduğu ortaya çıktı. Z^0'ın genişliğindeki veriler düşük kütleli bir dördüncü kuşak nötrinoyu dıştalıyordu. Dört LEP deneyinin dördü de verilerinin yalnızca üç nötrino çiftine izin verdiğinin çanlarını çaldılar. Düşük –ya da sıfır– kütleli nötrino da dahil olmak üzere diğer üçüyle aynı yapıda bir dördüncü kuşak Z^0 üretim verileriyle dıştalanmıştı.

Bu arada aynı kayda değer sonuç kozmologlar tarafından yıllarca önce öne sürülmüştü. Onlar bu sonuca varışlarını evrenin şu devasa patlamanın arkasından genişleyip soğuduğu erken evrede nötronlarla protonların kimyasal elementleri oluşturmak üzere birleşme biçimlerine dayandırmışlardı. Helyum miktarına kıyasla hidrojen miktarı kaç nötrino türünün bulunduğuna bağlıydı (açıklamayacağım) ve fazlalığa

ilişkin veriler güçlü biçimde üç tür olduğunu ima ediyordu. Bu yüzden LEP araştırması bizim evrenin evrimi anlayışımızla uyumluydu.

Pekala işte elimizde neredeyse tam bir standart model var. Yalnızca tepe quarkı kayıp. Tau nötrinosu da öyle ama görmüş olduğumuz gibi bu o kadar ciddi bir durum değil. Kuramcılar onu daha iyi anlayıncaya kadar yerçekiminin ertelenmesi gerekiyor ve tabii Higgs, Tanrı Parçacığı da kayıp.

TEPENİN ARAŞTIRILMASI

1990'da hem CERN'in p çizgi/p çarpıştırıcısı hem de Fermilab'ın ÇTT'si çalışmaya başlayınca "Tepe İçin Yarış" adlı bir NOVA TV programı yayınlandı. ÇTT'nin avantajı CERN'in 620 GeV'una karşı 1.8 TeV ile üç kat yüksek enerjisiydi. CERN, bakır bobinlerini biraz daha iyi soğutarak yarışabilmek için bulabildikleri her enerji parçasını sıkıştırarak ışın enerjilerini 270 GeV'tan 310 GeV'a yükseltmeyi başarmıştı. Yine de bire üç inciticiydi. CERN'in avantajı dokuz yıllık deneyim, yazılım gelişimi ve veri analizinde bilgi birikimiydi. Ayrıca Fermilab'ın bazı fikirlerini kullanarak antiproton kaynaklarını yeniden yapmışlardı ve çarpışma oranları bizimkinden hafifçe daha iyiydi. 1989-90'da UA-1 tarayıcısı emekliye ayrılmıştı. Rubbia şimdi bir gözü laboratuarının geleceğinde olmak üzere CERN'in genel yöneticisi olmuştu bu yüzden tepeyi bulma görevi UA-2'ye verildi. Bir yan hedef W'nun kütlesini daha kesin olarak ölçmekti çünkü bu standart modelin hayati bir parametresiydi.

NOVA programı kaldırıldığında hiçbir grup tepe için herhangi bir kanıt bulamamıştı. Aslında program yayındayken "yarış" bitmişti; yarışta CERN resmin dışında kalmak üzereydi. Her iki grup da bir sinyal yokluğunu tepenin bilinmeyen kütlesi açısından analiz etmişti. Görmüş olduğumuz gibi bir parçacığı bulmamak onun kütlesi hakkında bir fikir verir. Kuramcılar tepenin üretimi ve onun olası parçalanma kanalları hakkında her şeyi biliyorlardı –kütlesi dışında her şeyi. Üretim olasılığı kritik olarak bilinmeyen kütleye bağlıydı. Fermilab da CERN de aynı sınırı koydu: tepe quarkının kütlesi 60 GeV'tan büyüktü.

Fermilab'ın ÇTT'si çalışmaya devam etti ve yavaşça makinenin enerjisi bedelini ödemeye başladı. Çarpıştırma çalışması bittiğinde ÇTT onbir ay çalışmış ve 100 milyardan (10^{11}) fazla çarpışma görmüştü –ama hiçbir tepe yoktu. Analiz kütle için tepeyi en alt quarktan en az on sekiz kat daha ağır kılan 91 GeV'luk bir sınır verdi. Bu şaşırtıcı sonuç tekleştirilmiş kuramlar, özellikle de elektrozayıf örüntü üzerinde çalışan bir çok kuramcıyı rahatsız etti. Bu modellerde tepe quarkın çok daha düşük bir kütlesi olmalıydı ve bu bazı kuramcıları tepeyi özel bir ilgiyle göz önüne almaya yöneltti. Kütle kavramı bir biçimde Higgs ile bağlantılıdır. Tepe quarkın ağırlığı özel bir ipucu muydu? Tepeyi bulmadıkça, kütlesini ölçmedikçe ve genelde onu deneysel üçüncü dereceye uğratmadıkça bilemeyeceğiz.

Kuramcılar hesaplamalarına geri döndüler. Standart model aslında hâlâ sağlamdı. Kuramcılar onun tepe quarkı 250 GeV kadar ağır olduğunda uyduğunu ortaya çıkardılar ama daha ağır bir şey standart modelle ilgili kökten bir sorun yaratacaktı. Deneyciler tepe quarkı izlemede kararlılıklarını yeniden canlandırdılar. Ama 91 GeV'tan daha büyük tepe kütlesiyle CERN düştü. e^+ e^- makinelerinin enerjileri çok düşüktü bu yüzden de kullanışsızdılar; dünyanın envanterinde yalnızca Fermilab'ın Tevatron'u tepeyi yapabilirdi. Gereken şey şimdiki çarpışma sayısının en az beş ila elli katıydı. 1990'ların yarışı buydu.

STANDART MODEL SARSAK BİR PLATFORMDUR

Beyaz uzun giysili bir tanrıçanın başında halesiyle bir "Evren Makinesi"ne baktığı sevdiğim bir slaytım var. Makinenin her biri belli bir numaraya ayarlanmış yirmi lövyesi ve "Evreni yaratmak için basın" yazılı bir pistonu var. (Bu fikri bir öğrencinin tuvaletteki el kurutucusunun üzerine yapıştırdığı bir etiketten aldım: "Dekandan bir mesaj almak için basınız.") Fikir evrene başlamak için yirmi ya da daha fazla sayının belirlenmesi gerektiğiydi. Nedir bu sayılar (ya da fizik dünyasında adlandırıldıkları üzere parametreler)? Pekala quarkların ve leptonların kütlelerini belirlemek için on iki sayıya gereksinimimiz var. Kuvvetlerin gücünü belirlemek için üç sayıya gereksiniyoruz. (Dördüncüsü, yerçekimi, aslında standart modelin bir kesimi değil, en azından şimdilik.) Bir kuvvetin diğeriyle nasıl ilişki

kurduğunu göstermek için birkaç sayıya gereksinimimiz var. Sonra YD simetrisi ihlalinin nasıl girdiğini göstermek için bir sayıya, Higgs parçacığı için bir kütleye ve birkaç tane de başka kullanışlı maddeye gereksinimimiz var.

Eğer bu temel sayılar elimizde olursa öteki tüm parametreler onlardan türer –örneğin ters kareler yasasındaki 2, protonun kütlesi, hidrojen atomunun büyüklüğü, H_2O'nun ve çifte sarmalın (DNA) yapısı, suyun donma ısısı ve Arnavutluk'un 1995'deki GSMH'sı. Türeyen sayıların çoğunun nasıl elde edildiğine ilişkin hiçbir fikrim yok ama şu kocaman bilgisayarlarımız ...

Basitlik dürtüsü yirmi parametreyi belirlememiz hakkında bizi çok alaycı olmaya yöneltiyor. Kendine saygısı olan hiçbir Tanrı evrenler üretmek için makinelerini böyle yapmaz. Bir parametre –bilemediniz iki. Bunu söylemenin başka bir yolu doğal dünyayla ilgili deneyimlerimizin bizi daha zarif bir örgütlenme beklentisi içine girmeye yönelttiği. Daha önce de yakındığımız gibi işte bu standart modelin asıl sorunu. Kuşkusuz bu parametreleri tam olarak saptamak için hâlâ büyük çaba harcıyoruz. Sorun estetik –altı quark, altı lepton, on iki kuvvet taşıyıcı ayar parçacığı ve quarklar üç renkte ortaya çıkıyor ve sonra karşı parçacıklar var. Yerçekimi de kanatlarda bekliyor. Tam da şimdi ona gereksinimimiz varken Thales nerede?

Neden yerçekimi dışarıda *bırakılır*? Çünkü şimdiye dek hiç kimse yerçekimini –genel görelilik kuramını– kuantum kuramına uymaya zorlamadı. Konu, kuantum yerçekimi, 1990'ların cephelerinden biri. Evreni şimdiki büyük ölçeğinde betimlerken kuantum kuramına gereksinimimiz yoktur. Ama bir zamanlar evren bir atomdan daha büyük değildi; aslında epeyce daha küçüktü. Olağanüstü zayıf yerçekimi kuvveti tüm gezegenleri, yıldızları, milyarlarca yıldızlı gökadaları yapan parçacıkların muazzam enerjisiyle arttı; tüm bu kütle bir toplu iğne başının üzerindeki toplu iğne başına, bir atomla kıyaslanabilecek küçük bir ölçüye sıkıştırıldı. Kuantum fiziğinin kuralları bu ilkel yerçekimsel girdaba uygulanmalıdır ama bunu nasıl yapacağımızı bilmiyoruz! Kuramcılar arasında genel görelilikle kuantum kuramının evliliği çağdaş fiziğin merkezi sorunu olarak görülür. Bu doğrultudaki kuramsal çabalara "süper yerçekimi" ya da "süper simetri" ya da "süper teller" veya "Her Şeyin Kuramı" (HŞK) adı verilir.

Burada dünyanın en iyi matematikçilerine kaşlarını çattıracak ekzotik matematiklerimiz vardır. Bunlar on boyuttan söz ederler: dokuz uzay ve bir zaman boyutu. Biz dört boyutta yaşarız: üç uzay boyutu (doğu–batı, kuzey–güney ve yukarı–aşağı) ve bir zaman boyutu. Üç uzay boyutundan fazlasını herhalde sezemeyiz. "Dert değil." Fazlalık altı boyut "sıkıştırılmış"tır, bildiğimiz dünyada izi görülmeyecek biçimde kıvrılıp düşlenemeyecek küçük bir boyuta indirgenmiştir.

Bugünün kuramcılarının cesurca bir hedefi vardır: çok erken evrenin yoğun sıcaklığındaki ilkel basitliği betimleyecek bir kuram arıyorlar, hiçbir parametresi olmayan bir kuram. Her şey temel eşitlikten çıkmalı; tüm parametreler kuramdan doğmalı. Sorun, tek aday kuramın gözlem dünyasıyla hiçbir bağlantısının olmaması – henüz. Kuramın uzmanların "Planck kütlesi" dedikleri hayali bir alanda, evrendeki tüm parçacıkların Süper Çarpıştırıcının enerjisinin 1 000 trilyon katı enerjisi olduğu bir alanda kısa bir anlık uygulanabilirliği vardır. Bu büyük zaferin zaman aralığı bir saniyenin trilyonda birinin trilyonda birinin trilyonda biri kadar sürmüştü. Bundan kısa süre sonra kuram karıştı –çok fazla olasılık, biz insanların ve gezegenlerin ve gökadaların aslında bir tahmin olduğunu gösteren hiçbir berrak yol yok.

1980'lerin ortalarında HŞK kuramsal ilgileri olan genç fizikçiler üzerinde büyük bir çekime sahipti. küçük geri dönüşler için uzun yıllar harcama riskine karşın (bazılarının diyeceği üzere fareler gibi) önderlerini Planck kütlesine doğru izlediler. Biz evde Fermilab'da ve CERN'de oturanlar hiçbir kart, hiçbir faks almadık. Ama düş kırıklığı ortaya çıkmaya başladı. HŞK'ye en son devşirilenlerin bazıları ayrıldılar ve kısa sürede Planck kütlesinden hesaplamak için gerçek bir şeyler arayan düş kırıklığına uğramış fizikçilerle dolu otobüsler gelmeye başladı. Tüm macera henüz bitmiş değil ama daha dingin bir hıza düşmüş durumda oysa tekleştirmeye doğru daha geleneksel yollar dolu.

Tam, kapsamlı bir ilkeye doğru daha gözde yolların bazı moda adları var: birkaç tanesinin adını vermek gerekirse büyük tekleştirme, bileşen modeller, süper simetri, Technicolor. Tümü bir sorunu paylaşır: hiç veri yok! Bu kuramlar zengin bir tahminler güveci pişirdiler. Örneğin süpersimetri (sevecenlikle "Susy" diye kısaltılır) olasılıkla en

gözde kuramdır; eğer kuramcılar oy verseler (ki vermezler) parçacık sayısının en az iki katını tahmin ederdi. açıklamış olduğum gibi topluca fermionlar denen quarklar ve leptonların tümünün yarım dönme birimleri vardır; oysa toplu olarak bozon denen haberci parçacıkların tümünün tam bir birimlik dönmeleri bulunur. Susy'de bu asimetri her fermiona bir bozon partner ve her bozona bir fermion partner varsayarak onarılır. Adlandırma dehşet vericidir. Elektronun Susy partnerine "selektron" denir ve tüm leptonların partnerleri topluca "slepton" adını alır. Quark partnerleri "squarklar"dır. Bir dönmeli bozonların yarım dönmeli partnerlerine bir "ino" eklenir; böylece gluonlar "gluinolar"la birleşir, fotonlar "fotinolar"la eşleşir ve "winolar"ımız (W'nun partneri) ve "zinolar"ımız vardır. Sevimlilik bir kuram yaratmaz ama bu gözdedir.

Tevatron 1990'lar boyunca gücünü yükseltir ve 2000 yılının makineleri devreye girerken squarkların ve winoların aranması sürecek. Texas'ta inşa edilmekte olan Süper Çarpıştırıcı 2 TeV'a kadar "kütle bölgesi"nin araştırılmasına olanak verecek. Kütle bölgesinin tanımı çok gevşektir ve yeni bir parçacık yapacak reaksiyonun ayrıntılarına bağlıdır. Ancak Süper Çarpıştırıcının gücünün bir işareti eğer bu makineden hiçbir Susy parçacığı bulunmazsa çoğu Susy yandaşlarının, kuramı tüm kurşun kalemlerini kıracakları bir halk töreniyle terk etme konusunda uzlaşmaları.

Ama SSÇ'nin çok daha ivedi bir amacı, squarklardan ve sleptonlardan çok daha baskı yapıcı bir avı var. Bildiğimiz her şeyin çok sıkıştırılmış bir özeti olarak standart modelin iki büyük kusuru var, biri estetik, biri somut. Estetik duygularımız çok fazla parçacık çok fazla kuvvet olduğunu bize söylüyor. Daha kötüsü çoğu parçacıklar görünüşe göre quarklara ve leptonlara atanmış rast gele kütlelerle ayırt ediliyor. Kuvvetler bile haberci parçacıkların kütleleri yüzünden büyük ölçüde farklılar. Somut sorun bir tutarsızlık sorunudur. Kuvvet alan kuramları tüm verilerle etkileyici bir uzlaşma içindeyken çok yüksek enerjilerde gerçekleştirilen deneyleri tahmin etmeleri istendiğinde fiziksel saçmalıklara dönüşüyorlar. Her iki sorun da standart modele canlılıkla eklenmesi gereken bir nesne (ve bir kuvvet) tarafından aydınlatılabilir ve belki de çözülebilir. Nesne ve kuvvet aynı adı taşıyor: Higgs.

SONUNDA...

> Görünen tüm nesneler mukavvadan maskelerden başka bir şey değildir. Ama her olayda bilinmeyen ama yine de mantıklı bir şeyler mantıksız maskenin arkasından kendi biçimini öne çıkarır. Eğer insan vuracaksa maskeye vurmalıdır.
>
> –Kaptan Ahab

Amerikan edebiyatının en güzel romanlarından biri Herman Melville'in *Moby Dick*'idir. Aynı zamanda en düş kırıklığına uğratıcısıdır da –en azından kaptan için. Yüzlerce sayfa boyunca Ahab'ın Moby Dick adlı büyük beyaz bir okyanus memelisini bulup zıpkınlama uğraşını okuruz. Ahab çok kızgındır. Bu balina bacağını koparmıştır ve öç almak istiyordur. Bazı eleştirmenler balinanın bacaktan biraz daha fazlasını kopardığını, bunun, iyi kaptanın kızgınlığını daha iyi açıkladığını öne sürerler. Ahab birinci süvarisi Starbuck'a Moby Dick'in bir balinadan daha fazla bir şey olduğunu açıklar. O mukavvadan bir maskedir; o doğada Ahab'ın yüzleşmesi gereken daha derin bir gücü temsil etmektedir. Böylece yüzlerce sayfa Ahab ve adamları çılgınca okyanusta koşuşurlar, maceralar ve şanssızlıklar yaşarlar, değişik kütlelerde başka küçük balinalar öldürürler. Sonunda şans patlar: büyük beyaz balina. Sonra hızla balina Ahab'ı boğar, öteki zıpkıncıları öldürür sonra da gemiyi bir güzel batırır. Öykünün sonu. Serserilik. Belki de Ahab'ın daha büyük bir zıpkına gereksinimi vardı, şu ondokuzuncu yüzyıl bütçe kısıntılarının reddettiği türden bir zıpkına. Bizim başımıza bunlar gelmesin. Moby Parçacık atış uzaklığında.

Standart modelimiz hakkında bu soruyu sormamız gerek: o sadece bir mukavva maske mi? Bir kuram nasıl olur da düşük enerjide tüm verilerle uyumlu olur da yüksek enerjide saçma sonuçlar öngörür? Yanıt kuramın, bir şeyleri, kurama yerleştirilince diyelim Fermilab

enerjilerindeki verilere önemsiz bir katkıda bulunacak ve bu yüzden deneysel verilerle uzlaşmayı bozmayacak yeni bir görüngüyü dışarıda bıraktığını önermektir. Neyin dışarıda bırakıldığına verilecek örnekler yeni bir parçacık ya da bir kuvvetin davranışında bir değişiklik olabilir. Bu varsayılan yeni görüngüler düşük enerjide önemsiz katkılar yapmalı ama Süper Çarpıştırıcıda ya da daha yüksek enerjilerde yoğun bir katkı yapmalıdır. Bir kuram (biz onlar hakkında bir şey bilmediğimiz için) bu terimleri içermeyince bu yüksek enerjilerde matematiksel olarak tutarsız sonuçlar elde ederiz.

Bu bir bakıma sıradan görüngülerle çok iyi işleyen ama bizim bir nesneyi sonsuz hıza kadar hızlandırabileceğimizi öngören Newton fiziğine benzer; bu olanaksız sonuca Einstein'ın özel görelilik kuramı oluşturulduğunda tümüyle karşı çıkıldı. Görelilik kuramı mermi ve roket hızlarında sonsuz küçük bir etkiye sahiptir. Ancak hız ışık hızına yaklaştığında yeni bir etki ortaya çıkar: hızlanan nesnelerin kütleleri artmaya başlar ve sonsuz hızlar olanaksızlaşır. Olup biten şey özel göreliliğin ışık hızına göre küçük hızlarda Newtoncu sonuçlarla çakışmasıdır. Bu örneğin zayıflığı sonsuz hız kavramı Newtoncuları rahatsız ettiği halde bunun standart modelin başına yüksek enerjilerde gelenler kadar zedeleyici olmaktan çok uzak olmasıdır. Az sonra buna geri döneceğiz.

KÜTLE KRİZİ

Higgs parçacığının kütlesiz parçacıklara kütle verme ve böylece dünyanın gerçek simetrisine kılık değiştirtme işlevine değinmiştim. Bu yeni ve garip bir fikirdir. Buraya kadar bizim söylence –tarihimizde gördüğümüz gibi basitliğe altyapılar keşfedilerek ulaşıldı– Democritus'çu *atomos* fikri. Ve böylece moleküllerden kimyasal atomlara, çekirdeklere, protonlara ve nötronlara (ve onların bir sürü Yunanca akrabasına) ve quarklara gittik. Tarih insanın şimdi quarkın içindeki küçük insanları ortaya çıkarmamızı beklemesine yol açabilir ve bu hâlâ gerçekleşebilir. Ama biz uzun süredir beklenen tamamlanmış dünya kuramının ortaya çıkma yolunun bu olduğuna gerçekten inanıyoruz. Belki de daha önce söz ettiğim ayna parçalarının birkaç parça renkli camı büyük sayıda, görünürde karmaşık, desene dönüş-

türen kaleidoskopa daha çok benziyordur. Higgs'in nihai amacı (bu bilim değil, felsefe) bu bölümün başındaki surede önerildiği gibi daha eğlenceli, daha karmaşık bir dünya yaratmak olabilir.

Yeni fikir tüm uzayın boşluğu dolduran ve her yerde aynı olan bir alan, Higgs alanı, içerdiğidir. Bu bulutsuz bir gecede yıldızlara baktığınızda Higgs alanının içinden baktığınız anlamına gelir. Bu alanın etkilediği parçacıklar kütle kazanır. Bu kendi başına belirgin değildir çünkü parçacıklar tartışmış olduğumuz (ayar) alanlarından, yerçekimsel alandan ya da elektromanyetik alandan enerji kazanabilirler. Örneğin bir kurşun bloku Eiffel kulesinin tepesine çıkarırsanız blok yerin yerçekimsel alanındaki konum değiştirmesi yüzünden potansiyel enerji kazanır. $E = mc^2$ olduğu için potansiyel enerjideki bu artış kütlede bir artışa eşdeğerdir; bu olguda dünya-kurşun blok sisteminin kütlesi. Burada Einstein'ın ihtiyar eşitliğine zarifçe küçük bir karmaşıklık eklemek zorundayız. Kütle, *m*, aslında iki parçadır. Biri, parçacık dururken laboratuarda ölçülen âtıl kütle, m_0. Kütlenin diğer kesimi parçacığın devinimiyle (Tevatron'daki protonlar gibi) ya da bir alandaki potansiyel enerjiyle "kazanılmış" kütlesidir. Benzer bir dinamiği atom çekirdeklerinde görürüz. Örneğin döteryum çekirdeğini oluşturan protonla nötronu birbirinden ayırırsanız kütlelerin toplamı artar.

Ama Higgs alanından edinilen potansiyel enerji bir çok bakımdan daha tanıdık alanların etkisinden farklıdır. Edinilmiş Higgs kütlesi aslında âtıl kütledir. Gerçekten Higgs kuramının en ilginç yönü âtıl kütlenin *tümünün* Higgs alanı tarafından yaratılmasıdır. Bir diğer fark alandan emilen kütle miktarının çeşitli parçacıklar için farklı olmasıdır. Kuramcılar, standart modelimizdeki parçacıkların kütlelerini onların Higgs alanıyla ne denli güçlü biçimde eşleştiklerinin ölçüsü olduğunu söylerler.

Quarklar ve leptonlar üzerine Higgs etkisi Pieter Zeeman'ın 1896' daki bir keşfine, bir atoma bir manyetik alan uygulandığında bir elektronun enerji düzeylerinin ayrışmasını anımsatır. Alan (mecazi olarak Higgs'in rolünü oynayarak) elektronların oynaştığı uzayın simetrisini kırar. Örneğin mıknatıs tarafından etkilenen bir enerji düzeyi üçe ayrılır; A düzeyi alandan enerji kazanır, B düzeyi enerji yitirir ve C düzeyi hiç değişmez. Kuşkusuz şimdi tüm bunların nasıl olduğunu tam olarak anlıyoruz. O basit kuantum elektromanyetizmidir.

Buraya kadar Higgs'ten doğan kütle artışını kontrol eden kurallar hakkında hiçbir fikrimiz yoktu. Ama soru dırdır eder: neden yalnızca bu kütleler –W^+ W^- ve Z^0'ın ve yukarı, aşağı, büyülü, garip, tepe ve en alt quarkların ve de leptonların kütlesi– hiçbir açık örüntü oluşturmaz? Kütleler elektronun 0.0005 GeV'undan 91 GeV'tan daha büyük olması gereken tepe quarka kadar değişir. Bu garip fikrin –Higgs– elektrozayıf kuramı formüle etmede büyük başarıyla kullanıldığını anımsamanız gerekir. Orada Higgs alanı elektromanyetik kuvvetleri zayıf kuvvetin birliğini gizlemek için bir yol olarak öngörülmüştü. Birlikte elektrozayıf kuvveti taşıyan dört kütlesiz haberci parçacık – W^+, W^-, Z^0 ve foton– vardı. Sonra Higgs alanı ortaya çıktı ve presto, W'ler ve Z Higgs'in özünü emdiler ve ağırlaştılar; foton aynen kaldı. Elektrozayıf kuvvet zayıf (zayıf çünkü habercileri çok şişman) ile özellikleri kütlesiz foton tarafından belirlenen elektromanyetik kuvvete parçalandı. Kuramcılar simetrinin kendiliğinden kırıldığını söylerler. Ben Higgs'in kütle veren gücüyle simetriyi gizlediği tanımlamasını yeğliyorum. W'ların ve Z'nin kütleleri elektrozayıf kuram parametrelerinden başarıyla hesaplanıyordu. Ve kuramcıların gevşek gülümsemesi 't Hooft ve Veltman'ın tüm bu kuramın hiçbir sonsuz taşımamasını sağladığını bize anımsatıyor.

Bu kütle konusunda oyalanmamın nedeni kısmen onun tüm meslek hayatım boyunca benimle olmasıdır. 1940'larda konu iyi odaklanmış gibiydi. Kütle bilmecesini örnekleyen iki parçacığımız vardı: elektron ve muon. Onlar muonun çelimsiz kuzeninden iki yüz kat daha ağır olması dışında her bakımdan özdeş görünüyorlardı. Bunların güçlü kuvveti ihmal eden leptonlar olmaları konuyu daha ilginç kılıyordu. Problemi takıntı haline getirdim ve muonu gözde inceleme nesnem yaptım. Amaç muonla elektronun davranışları arasında kütle farkının düzeneğine ipucu olabilecek kütle dışında bazı farklılıklar bulmaya çalışmaktı.

Elektron bazan bir çekirdek tarafından yakalanıyor bir nötrino ve geri tepen bir çekirdek oluşturuyordu. Muon bunu yapabilir mi? Muon yakalanması sürecini ölçtük –bingo, aynı süreç! Yüksek enerjili bir elektron ışını protonları saçar. (Bu reaksiyon Stanford'da incelendi.) Aynı reaksiyonu Brookhaven'da muonlarla ölçtük. Oranlardaki küçük bir fark bizi yıllarca uğraştırdı ama hiçbir şey çıkmadı. Hattâ elektron

ve muonun ayrı nötrino partnerleri olduğunu da keşfettik. Aşırı duyarlı g eksi 2 deneyini tartışmıştık, orada muonun manyetizmi ölçülüp elektronunkiyle kıyaslanıyordu. Fazlalık kütle etkisi dışında aynıydılar.

Kütlenin kökenine bir ipucu bulma yolundaki tüm çabalar başarısız oldu. Bu doğrultuda Feynman ünlü sorgulamasını yazdı: "Muon neden ağır?" Şimdi tam değilse de hiç olmazsa kesin bir yanıtımız var. Gür bir ses "Higgs!" diyor. Elli ya da daha fazla yıldır kütlenin kökeni konusunda şaşkınlaştık ve şimdi Higgs alanı probleme yeni bir bağlam sunuyor: yalnızca muon değil. Higgs alanı sonunda tüm kütlelere ortak bir kaynak sağlıyor. Yeni Feynman'cı soru şöyle olabilir: Higgs alanı madde parçacıklarına verilmiş örüntüsüz gibi görünen kütleler dizisini nasıl belirliyor?

Kütlenin devinim durumuna göre değişimi, kütlenin sistem yapısına göre değişimi ve bazı parçacıkların –foton, kesin olarak, nötrino, olasılıkla– sıfır âtıl kütlelerinin olması, tümü de maddenin *temel* bir niteliği olarak kütle kavramına meydan okur. O zaman hiçbir zaman çözemediğimiz –yalnızca "yeniden normalleştirdiğimiz"– sonsuz çıkan kütle hesaplamalarını anımsamalıyız. Bu karşılaştığımız kütleleriyle farklılaşan quarklar, leptonlar ve kuvvet taşıyıcıları probleminin geri planıdır. Bu bizim Higgs öyküsünü –kütlenin parçacıkların içsel bir niteliği olmadığı, parçacıkların ve çevrelerinin etkileşimiyle edinilen bir özellik olduğu– akla yakın kılar. Kütlenin yük ya da dönme gibi içsel olmaması fikri tüm quarklar ve leptonlar için sıfır kütle biçimindeki saf kavramı akla yakın kılar. Bu durumda onlar doyurucu bir simetriye, çakışmasız simetriye uyarlar, burada dönmeleri sonsuza dek devinim yönleriyle ilişkili olacaktır. Ama bu saflık Higgs görüngüsü tarafından gizlenir.

Ah, bir şey daha. Ayar bozonlarından ve onların bir birimlik dönmelerinden söz ettik: fermion madde parçacıklarından da söz ettik (yarım birimlik dönme). Higgs ne tür bir kedidir? O sıfır dönmeli bir bozondur. *Dönme* uzayda yöneliş ima eder ama Higgs alanı nesnelere her yerde ve hiçbir yöneliş olmaksızın kütle verir. Bu yüzden Higgs'e bazan "skalar [yönsüz] bozon" denir.

BİRİMSELLİK KRİZİ

Biz bu yeni alanın kütle bağışlayıcı özelliğine şaşıp kalırken benim gözde kuramcılarımdan biri, Tini Veltman Higgs'in bu işini asıl görevinden çok daha aşağı sıralara yerleştirir; asıl görevi bizim standart modelimizi tutarlı kılmaktır. Higgs olmadan model basit bir tutarlılık sınavını geçemez.

Demek istediğim şu. Çarpışmalardan epeyce söz ettik. Yüz parçacığı özel bir hedefe, diyelim altı yedi santimetrekarelik bir demir parçasına hedefleyelim. Yeteneği orta düzeyde bir kuramcı bile orada bir saçılma olacağı olasılığını (kuantum kuramının yalnızca olasılıkları tahmin etmemize izin verdiğini anımsayın) hesaplayabilir. Örneğin kuram hedefimize yönelttiğimiz yüz parçacıktan on parçacığın saçılacağını tahmin edebilir, yüzde on olasılık. Şimdi bir çok kuram saçılma olasılığının kullandığımız ışının enerjisiyle bağlı olduğunu tahmin eder. Düşük enerjide bildiğimiz tüm kuvvet kuramları –güçlü, zayıf, elektromanyetik– gerçek deneylerle uyum içinde olasılıklar tahmin eder. Ancak zayıf kuvvet için olasılığın enerjiyle arttığı bilinir. Örneğin orta enerjide saçılma olasılığı yüzde 40'a yükselebilir. Eğer kuram saçılma olasılığının yüzde 100'den fazla olduğunu tahmin ederse kuram geçerliliğini yitirir. Bir şeyler yanlıştır çünkü yüzde 100'den fazla olasılık anlamsızdır. Bu başlangıçta ışında bulunandan daha fazla parçacığın saçıldığı anlamına gelir. Bu olduğu zaman kuramın birimselliği ihlal ettiğini (birim olasılığı aştığını) söyleriz.

Tarihimizde bilmece, zayıf kuvvet kuramının düşük enerjide deneysel verilerle iyi bir uzlaşma içinde olması ama yüksek enerjide saçma sapan tahminler yapmasıydı. Bu kriz, felaketin öngörüldüğü enerji, var olan hızlandırıcıların ulaştığı enerjiden yüksekken keşfedilmişti. Ama kuramın yanlışı, bir şeylerin, bazı yeni süreçlerin, belki yeni bir parçacığın dışarıda bırakıldığını, olasılığın saçma değerlere yükselmesini önleyebilmemiz için onun ne olduğunu bilmemiz gerektiğini işaret ediyordu. Anımsayacağınız üzere zayıf kuvvet Fermi tarafından çekirdeklerin radyoaktif parçalanmalarını tanımlamak için icat edilmişti. Bu parçalanmalar temelde düşük enerji görüngüleridir ve Fermi kuramı geliştikçe 100 MeV bölgesinde çok büyük sayıda süreci tahmin etmede çok kesin bir hal almıştır. İki nötrino deneyinin

güdülerinden biri kuramı daha yüksek enerjilerde sınamaktı çünkü tahminler 300 GeV dolaylarında bir birimsellik krizinin ortaya çıkacağı yolundaydı. Birkaç GeV'ta gerçekleşen bizim deneyimiz kuramın bir krize doğru gittiğini onayladı. Bunun kuramcıların yaklaşık 100 GeV kütlede bir W parçacığı kuramını dışarıda bıraktıklarının göstergesi olduğu ortaya çıktı. W'ları katmayan özgün Fermi kuramı matematiksel olarak sonsuz kütleli bir kuvvet taşıyıcısını kullanmaya denkti ve 100 GeV eski deneylere (100 MeV'un altındaki) kıyasla öylesine uç derecede büyüktü ki eski kuram pekala çalıştı. Ama kurama 100 GeV'luk nötrinoların ne yapacağını sorduğumuzda bir birimsellik krizini önlemek için 100 GeV'luk W'nun eklenmesi zorunlu oldu –ama daha fazlasına gereksinim var.

Pekala bu gözden geçirme basit olarak standart modelimizin en bulaşıcı türden bir birimsellik hastalığına yakalandığını açıklamak içindir. Felaket şimdi yaklaşık 1 TeV'luk bir enerjiyi vurdu. Felaketi önleyecek nesne eğer... eğer varsa özel nitelikleri olan ve adına – bildiğimiz– Higgs parçacığı diyeceğimiz nötr, ağır bir parçacıktı. (Daha önce Higgs alanından söz etmiştik ama bir alanın kuantumlarının bir dizi parçacık olduğunu anımsamamız gerekir.) Kütlelerin farklılığını yaratan parçacığın ta kendisi olabilirdi ya da benzer bir nesne olabilirdi. Tek bir Higgs parçacığı olabilirdi ya da bir Higgs parçacıkları ailesi.

HIGGS KRİZİ

Bir çok soru yanıtlanmalıdır. Higgs parçacıklarının nitelikleri nedir ve en önemlisi kütleleri nedir? Eğer bir çarpışmada karşılaşırsak onu nasıl ayırt ederiz? Kaç türü var? Higgs tüm kütleleri mi yaratıyor yoksa bazı kütle artışlarını mı? Ve onun hakkında daha fazlasını nasıl öğreniriz? Tanrının parçacığı olduğu için bekleyebilir ve örnek bir hayat sürersek Tanrının krallığına gidince bulabiliriz. Ya da 8 milyar dolar harcar kendimize Texas Waxahachie'de Higgs parçacığını üretmek için tasarlanmış bir Süper Çarpıştırıcı inşa ederiz.

Kozmologlar da Higgs fikrinden büyülendiler çünkü evreni genişletmek gibi karmaşık bir sürece katmak için skalar alanların

gereksinimiyle sarsılmışlardı bu yüzden Higgs'in taşıması gereken yükü eklemek gerekiyordu. Daha fazlası 9.Bölümde.

Şimdi ortaya çıktığına göre Higgs alanı yüksek enerjiyle (ya da yüksek ısılarla) tahrip edilebilir. Bunlar Higgs alanını nötrleştirebilecek kuantum dalgalanmaları oluştururlar. Bu nedenle erken bir evrenin saf ve göz kamaştırıcı simetriyle birleşik parçacık-kozmoloji tablosu Higgs için çok sıcaktı. Ama ısı/enerji 10^{15} derece Kelvin'in ya da 100 GeV'un altına düşünce Higgs eyleme geçer ve kütle üreten şeyini yapar. Böylece örneğin Higgs'den önce kütlesiz W'larımız, Z'lerimiz ve fotonlarımız ve de tekleşmiş bir elektrozayıf kuvvetimiz olur. Evren genişler ve soğur ve Higgs çıkagelir -W ve Z'yi şişmanlatarak ve bazı nedenlerle fotonu ihmal ederek –ve bu da elektrozayıf simetrinin kırılması sonucunu verir. Kütleli W^+, W^- Z^0 kuvvet taşıyıcılarıyla taşınan bir zayıf kuvvetimiz ve fotonlarla taşınan ayrı bir elektromanyetik kuvvetimiz olur. Sanki bazı parçacıklar için Higgs alanı, içinde tembelce devindikleri ve ağırmış gibi göründükleri ağır bir yağ gibidir. Diğer parçacıklar için Higgs su gibidir ve fotonlar ve belki de nötrinolar gibi daha başkaları içinse görünmezdir.

Belki de Higgs fikrinin kökenini gözden geçirmeliydim çünkü boşboğazlık ederim diye biraz çekiniyordum. Ona gizli simetri de denir ya da "kendiliğinden simetri kırılması" Fikir parçacık fiziğine Edinburgh Üniversitesinden Peter Higgs tarafından sokulmuştur. Birbirinden bağımsız çalışan kuramcılar Steven Weinberg ve Abdus Salam tarafından dört sıfır kütleli mutlu bir haberci parçacık ailesinin taşıdığı tekleşmiş ve simetrik elektrozayıf kuvvetin iki çok farklı kuvvete değişimini açıklamak için kullanıldı: kütlesiz fotonuyla KED ve kütleli W^+, W^- ve Z^0'larıyla zayıf kuvvet. Weinberg ve Salam çalışmalarını Julian Schwinger'i izleyerek tutarlı, tekleşmiş bir elektrozayıf kuram olduğunu bilen ama tüm ayrıntıları bir araya getirmemiş olan Sheldon Glashow'un daha eski çalışması üzerine inşa ettiler. Jeffrey Goldstone ve Martinus Veltman ve Gerard 't Hooft da vardı. Sözü edilmesi gereken başkaları da vardı ama hayat bu. Ayrıca bir ampulü yakmak için kaç tane kuramcı gerekir ki?

Higgs'e bir başka bakış yolu simetri açısından bakıştır. Yüksek ısıda simetri açığa vurulmuştur –şahane, saf basitlik. Daha düşük ısılarda simetri kırılır. Bazı mecazların tam sırası.

Bir mıknatıs düşünün. Bir mıknatıs bir mıknatıstır çünkü düşük ısılarda atomsal mıknatısları sıraya dizilmiştir. Bir mıknatısın özel bir yönü vardır, onun kuzey-güney ekseni. Böylece tüm mekansal yönleri eşdeğer olan mıknatıs olmayan bir demir parçasının simetrisini yitirmiştir. Biz mıknatısın "hakkından gelebiliriz" Isıyı yükselterek mıknatıs demirden mıknatıs olmayan demire ulaşırız. Isı moleküler kışkırtma yaratır bu da sonunda sıralanmayı bozar ve daha saf bir simetrimiz olur. Bir başka tutulan mecaz Meksika'lı şapkasıdır: simetrik bir kubbeyle onu çevreleyen simetrik bir kıvrık gölgelik. Kubbenin tepesine bir bilye yerleştirilir. Mükemmel dönüşsel simetri ama kararlılık yok. Bilye daha kararlı (daha düşük enerjili) bir konuma, gölgelikte bir yerlere düştüğünde temel yapı simetrik olduğu halde simetri kırılır.

Bir başka mecazda çok yüksek ısıda su buharıyla dolu mükemmel bir küre düşünürüz. Simetri mükemmeldir. Eğer sistemin soğumasına izin verirsek sonunda içinde biraz buzun yüzdüğü bir su havuzcuğu ve onun üzerinde biraz kalıntı buhar elde ederiz. basit soğutma eylemiyle simetri tümüyle kırılmıştır ki bu mecazda yerçekimsel kuvvet de kendini ortaya koyar. Ancak basitçe sistemi ısıtmakla cennet yeniden kurulabilir.

O halde: Higgs'den önce simetri ve can sıkıntısı; Higgs'den sonra karmaşıklık ve heyecan. Gece göğüne bir dahaki bakışınızda tüm uzayın kuramın öne sürdüğü gibi bildiğimiz ve sevdiğimiz dünyanın karmaşıklığından sorumlu olan bu gizemli Higgs etkisiyle dolu olduğunu bilin.

Şimdi Fermilab'da ve 1990'ların hızlandırıcı laboratuarlarımızda ölçtüğümüz parçacıkların ve kuvvetlerin doğru öngörülerini ve songörülerini veren formülleri (Oof!) gözünüzün önüne getirin. Çok daha yüksek enerjilerde gerçekleştirilecek reaksiyonları devreye soktuğumuzda formüller cacığa döner. Ammaa eğer Higgs alanını yerleştirirsek kuramı düzeltir ve 1 TeV'luk enerjide bile tutarlı bir kuram elde ederiz. Higgs durumu kurtarır, tüm üstünlükleriyle standart modeli kurtarır. Tüm bunlar onun doğru olduğunu kanıtlar mı? Hiç bile. O yalnızca kuramcıların yapabildiklerinin en iyisidir. Belki de Tanrı çok daha zekidir.

HİÇLİK ÜZERİNE BİR YAN SÖZ

Maxwell'in zamanında fizikçiler tüm uzayı kapsayacak ve içinden ışık ve öteki elekromanyetik dalgaların yolculuk yapabileceği bir ortama gereksinim duydular. Ona bir eter dediler ve işini yapabilsin diye nitelikler geliştirdiler. Eter aynı zamanda ışığın hızını ölçmek için mutlak bir koordinat sistemi sağlıyordu. Einstein'in içgörü şimşeği eterin uzay üzerinde gereksiz bir yük olduğunu gösterdi. Burada birisi Democritus'un icat ettiği (ya da keşfettiği) "boşluk"tan başka bir şey olmayan saygın bir kavramla oynamaktadır. Bugün boşluk ya da daha kesin olarak "boşluk durumu" önde ve ortadadır.

Boşluk durumu evrenin tüm maddenin uzaklaştırıldığı ve hiçbir enerji ya da momentin bulunmadığı bölgelerinden ibarettir. O, "hiçbir şey"dir. James Bjorken bu durum hakkında konuşurken parçacık fiziği için John Cage'in müzikte yaptığını yapmaya ayartıldığını söylemişti: dört dakika yirmi iki saniye... hiçbir şey. Yalnızca oturum başkanının korkusu onu caydırmıştı. Boşluk durumunun özellikleri üzerine uzman olan Bjorken hiçbir şeyi daha iyi anlamayan 't Hooft'la kıyaslanamaz.

Öykünün üzücü yanı (bir kavram olarak) boşluk durumunun bozulmamış mutlaklığının terk edilmiş on dokuzuncu yüzyıl eterinden çok daha karmaşık olacak biçimde yirminci yüzyıl kuramcıları tarafından kirletilmiş olması (Sierra Klübü bulana dek bekleyin!). Eterin yerini alan, tüm hayaletsi sanal parçacıklara ek olarak tüm boyutlarını henüz bilmediğimiz Higgs alanıdır. İşini yapmak için orada olması gerekir ve deneyler elektriksel olarak nötr en azından bir Higgs parçacığını ortaya çıkarmalıdır. Bu yalnızca buzdağının ucu olabilir; yeni eteri tam olarak tanımlamak için Higgs bozonu kuantumlarından bir hayvanat bahçesine gereksinim olabilir. Burada açık olarak yeni kuvvetler ve yeni süreçler bulunur. Bildiğimiz pek az şeyi özetleyebiliriz: Higgs eterini temsil eden en azından bazı parçacıkların sıfır dönmesi olmalı, kütleyle derinlemesine ve uç noktada bir ilişkisi bulunmalı ve kendilerini 1 TeV'tan düşük enerjiye denk düşen ısılarda ortaya koymalıdırlar. Higgs yapısı hakkında da çelişkiler bulunur. Bir ekol onun temel bir parçacık olduğunu söyler. Bir başka fikir onun sonunda laboratuarda görülecek yeni, quarksı nesnelerden ibaret olduğudur. Üçüncü bir kamp tepe quarkın

muazzam kütlesinden etkilenerek Higgs'in tepe ve antitepenin bağlı bir durumu olduğuna inanır. Yalnızca veriler söyleyecek. Bu arada yıldızları yine de görebilmemiz bir mucize.

O halde yeni eter enerji için bir başvuru çerçevesidir, bu olguda potansiyel enerji. Ve Higgs tek başına diğer artıkları ve boşluk durumunu dolduran diğer çöpleri açıklayamaz. Ayar kuramları gerekliliklerini ödünç verirler, kozmologlar "sahte" boşluk enerjisini sömürürler ve evrenin evriminde boşluk gerilip genleşebilir.

İnsan bir içgörü şimşeğiyle bizim güzel hiçliğimizi geri verecek yeni bir Einstein'ı özlüyor.

HIGGS'İ BUL!

O halde Higgs büyüktür. O zaman neden evrensel olarak kucaklanmamıştır? Kavrama adını (istemeden) veren Peter Higgs başka şeylerle uğraşmıştır. Higgs'in mimarlarından biri olan Veltman onu altına cehaletimizi süpürdüğümüz bir halı diye tanımlar. Glashow daha az kibardır onu içine şimdiki kuramlarımızın yetersizliklerini boşalttığımız bir tuvalet diye adlandırır. Diğer taşkın karşı çıkış ise tek bir deneysel kanıt izi olmamasıdır.

İnsan bu alanın varlığını nasıl kanıtlar? Higgs'in tıpkı KED, KKD ya da zayıf kuvvet gibi kendi haberci parçacığı, Higgs bozonu vardır. Higgs'in varlığını kanıtlar mı? Sadece parçacığı bul. Standart model bize en düşük kütleli (bir çok olabilir) Higgs parçacığının I TeV'dan düşük "ağırlıkta" olması gerektiğini söyleyecek kadar güçlüdür. Neden? Eğer o 1 TeV'tan daha büyükse standart model kararsız hale gelir ve birimsellik krizi oluşur.

Higgs alanı, standart model ve Tanrının evreni nasıl yarattığına ilişkin tablomuz Higgs bozonunu bulmaya bağlıdır. Ne yazık ki dünyada 1 TeV kadar ağır bir parçacık yaratmaya yetecek enerjisi olan hiçbir hızlandırıcı yoktur.

Ancak bir tane inşa edebilirsiniz.

DESERTRON

1981'de Fermilab'da biz Tevatron'un ve p/p çizgi çarpıştırıcısının inşaatıyla çok meşguldük. Kuşkusuz dünyada ne olup bittiğine ve CERN'in W araştırmasına da biraz dikkat yöneltiyorduk. O yılın ilkbahar sonlarına doğru süperiletken mıknatısların çalışabileceği ve gerekli ince niteliklerde seri üretim yapılabileceği konusunda güven kazanmaya başladık. 1 TeV kütle skalasına parçacık fiziğinin terra incognita'sına[1] oldukça ılımlı maliyetlerde ulaşılabileceğine ikna olmuştuk ya da yüzde 90 ikna olmuştuk.

Böylece süperiletken mıknatıslarla donatılmış daha büyük bir halka halinde "bir sonraki makineyi" (Tevatronu neyin izleyeceğini) düşünmeye başlamak anlamlı bir hal aldı. Ama 1981'de bu ülkede parçacık fiziğinin geleceği Brookhaven laboratuarında yaşamaya çalışan bir makineye ipotek edilmişti. Bu, Isabelle projesi, ılımlı enerjili bir proton-proton çarpıştırıcısıydı ve 1980'de çalışması gerekirken teknik sorunlar yüzünden ertelenmişti. Bu arada fizik cephesi ilerlemişti.

1981'in Mayısında Yıllık Fermilab kullanıcıları toplantısında usulüne uygun olarak Laboratuar Yönetimi üzerine bilgi verdikten sonra alanın geleceği hakkında bir tahmin yapmaya giriştim; özellikle de "1 TeV'taki enerji cephesi" hakkında. Zaten CERN'de egemen bir etkisi olan Carlo Rubbia'nın kısa sürede "LEP tünelini süperiletken mıknatıslarla döşeyeceğini" söyledim. Yaklaşık yirmiyedi kilometre çevresi olan LEP halkası $e^+ e^-$ çarpıştırıcısı için geleneksel mıknatıslar kullanıyordu. LEP elektronlar tarafından yitirilen enerjiyi azaltmak için bu çapa gereksinmişti. Elektronlar mıknatıslarla dairesel bir yörüngeye sıkıştırılınca enerji saçarlar. (Anımsayın çap ne kadar küçükse radyasyon o denli fazladır.) Bu ayrıca onu çok daha büyük kütleleri nedeniyle çok fazla enerji saçmayan protonları hızlandırmak için de ideal bir hale getirir. Uzak görüşlü LEP tasarımcıları büyük tünelin daha sonraki uygulaması olarak bunu akıllarında tutmuşlardı. Böyle bir makine süperiletken mıknatıslarla kolayca her halkada 5 TeV'a ve

---

[1] *[(Lat.) Bilinmeyen ülke –çev.]*

çarpışmada 10 TeV'a ulaşabilirdi. Ve tüm Birleşik Devletler'in 2 TeV'luk Tevatron'un karşısına çıkarabildikleri rakip her ne kadar çok yüksek bir çarpışma oranı olsa da 400 GeV'luk (toplam 0.8 TeV) bir çarpıştırıcı olan hasta Isabelle'di.

1982 yazında hem Fermilab süperiletken mıknatıs programı hem de CERN proton-antiproton çarpıştırıcısı başarılı olacak gibiydiler. Amerikan yüksek enerji fizikçileri Ağustosta alanın durumunu ve geleceğini tartışmak için Colorado, Snowmass'da toplandığında hamlemi yaptım. "Çöldeki Makine" başlıklı bir konuşmada topluluğun süpermıknatısların "kanıtlanmış" teknolojisine dayalı yeni muazzam bir hızlandırıcı inşaatını ve 1 TeV kütle alanını ileriye doğru zorlamayı gündemin başına geçirmeyi düşünmesi gerektiğini öne sürdüm. 1 TeV'luk bir kütlesi olabilecek parçacıklar üretmek için çarpışmaya katılacak quarkların en azından bu enerji miktarına katkıda bulunması gerektiğini anımsayalım. Quarklar ve gluonları taşıyan protonlar çok daha fazla enerjiye sahip olmalıdır. 1982'deki tahminim her ışında 10 TeV'tu. Kaba bir maliyet hesabı yaptım ve olgumu Higgs yeminin ihmal edilmeyecek çekiciliğine yasladım.

Başlangıçta adlandırıldığı üzere Desertron hakkında Snowmass ılımlı derecede canlı bir tartışma oldu. Ad bu denli büyük bir makinenin yalnızca insandan arınmış ve tepeleri vadileri olmayan bir arazide inşa edilebileceği fikrine dayanıyordu. Fikrin yanlışlığı neredeyse metrolarda büyümüş bir New York City çocuğu olan benim derin tünel kazmanın gücünü tümüyle unutmuş olmamdandı. Tarih bunu yüzüme vurdu. Alman makinesi HERA yoğun bir kalabalığı olan Hamburg kentinin altına inmiştir. CERN'in LEP tüneli Jura Dağlarının altına oyuludur.

Tüm Amerikan laboratuarlarının bu fikrin arkasında bir koalisyon oluşturmasına çalışıyordum. SLAC her zaman elektron hızlandırmasının peşindeydi; Brookhaven Isabelle'i canlı tutmaya uğraşıyordu ve Cornell'den uzak ve çok yetenekli bir çete elektron makinelerini CESR II dedikleri bir konuma yükseltmeye çalışıyorlardı. Tümü de ateşli bir rekabet içindeki laboratuarların yeni macera peşinde birleşmelerini dramatize etmek için benim Desertron laboratuarıma "Slermihaven II" adını önerdim.

Bilim politikalarına dil uzatmayacağım ama incinme dolu bir yıl sonunda A.B.D. parçacık fiziği topluluğu Isabelle'den (simdi adı Colliding Beam Accelerator'dan (BA'di) Desertron lehine vaz geçilmesini resmen önerdi. Şimdi adı Süperiltken Süper Çarpıştırıcı olmuştu ve her ışını 20 TeV olacaktı. Aynı zamanda –Temmuz 1983– Fermilab'ın yeni hızlandırıcısı bir başarıyla, protonları rekor bir 512 GeV'a hızlandırarak, manşetlere geçti. Bunu kısa sürede başka başarılar izledi ve yaklaşık bir yıl sonra Tevatron 900 GeV'a çıktı.

BAŞKAN REAGAN VE SÜPER ÇARPIŞTIRICI: GERÇEK BİR ÖYKÜ

1986'da SSC önerisi onay için Başkan Reagan'a sunulmaya hazırdı. DOE'nin bir sekreter yardımcısı başkan için kısa bir video filmi hazırlayıp hazırlayamayacağımızı Fermilab yöneticisi olarak bana sordu. Yüksek enerji fiziği hakkında on dakikalık bir sunuşun öneri kabine toplantısında konuşulurken yararlı olacağını düşünüyordu. Bir başkana yüksek enerji fiziğini on dakikada nasıl öğretirsiniz? Daha önemlisi *bu* başkana nasıl öğretirsiniz? Epeyce zahmetten sonra bazı lise öğrencilerine laboratuarı ziyaret ettirmek makinler arasında bir tur attırmak, bir sürü soru sordurmak ve onlar için tasarlanmış yanıtlar almak fikrinde karar kıldık. Başkan tüm bunları görüp işitecek ve belki yüksek enerji fiziğinin ne olduğu hakkında bir fikir edinecekti. Böylece yakındaki bir okuldan çocukları davet ettik. Birkaç tanesine biraz yol gösterdik diğerlerini kendi hallerine bıraktık. Yaklaşık otuz dakika filme aldık sonra en iyi ondört dakikaya kısalttık. Washington bağlantımız bizi uyardı: on dakikadan fazla olmasın! Dikkat alanıyla ilgili bir şey. Böylece biraz daha kestik ve lise ikinci sınıf öğrencileri için on berrak dakikayı postaladık. Birkaç gün içinde yanıtımızı aldık. "Çok karmaşık anlatım! Sonu bile yok."

Ne yapalım? Çocukların sorularını silip ses bandını baştan yaptık. Ne de olsa bazıları epeyce sıkı sorulardı. Sonra bir uzman dış ses olarak çocukların sormaları gereken soruları (benim tarafımdan yazılmış) sordu ve yanıtları verdi, sahne aynıydı: bilimci işaret ederek yöneltiyor çocuklar gagalarını oynatıyordu. Bu kez cam gibi berrak ve çok basit yapmıştık. Teknik olmayan insanlarda denedik. Sonra yolladık. DOE'deki adamımız sabırsızlanıyordu.

Yine etkilenmedi. "Eh, daha iyi ama hâlâ çok karmaşık."

Biraz sinirlenmeye başlamıştım. Yalnızca SSÇ tehlikede değildi benim işim de sallantıya girmişti. O gece sabahın 3'ünde parlak bir fikirle uyandım. Bir sonraki video şöyle olacaktı: bir Mercedes laboratuar girişine yanaşır ve içinden 55 ya da daha yukarı yaşta saygın bir beyefendi çıkar. Dış ses şöyle der: "büyük bir devlet araştırma laboratuarını ziyaret eden On Dördüncü Federal Bölge Mahkemesinden yargıç Sylvester Matthews'ü karşılayın." "Yargıç" kendisini karşılayan üç yakışıklı genç fizikçiye (biri kadın) yakınlara taşındığını ve her mahkemeye giderken laboratuarın önünden geçtiğini açıklar. *Chicago Tribune*'de bizim çalışmalarımızı okumaktadır bizim "voltlar" ve "atomlar"la uğraştığımızı bilmektedir ve hiç fizik okumadığı için ne olup bittiğini merak etmiştir. Bu sabah kendisiyle vakit geçirecekleri için fizikçilere teşekkür ederek binaya girer.

Benim fikrim başkanın anlamadığını söyleyebilecek kadar kendine güvenen zeki bir sıradan insanla kendini özdeşleştireceğiydi. Daha sonraki sekiz buçuk dakika yargıç sık sık fizikçilerin sözünü keserek yavaş olmaları ve şu ya da bu noktayı biraz daha açıklamaları konusunda ısrar eder. Dokuz dakikayı geçince yargıç manşetini sıvar, Rolex'ine bakar ve genç bilimcilere hararetle teşekkür eder. Sonra utangaç bir gülümsemeyle: "Biliyorsunuz bana anlattığınız şeylerin çoğunu anlamadım ama hevesinizi duyumsadım ve araştırmanın büyüklüğünü sezdim. Bana sanki Batı'nın keşfedilmesine benziyormuş gibi geldi... uçsuz bucaksız, keşfedilmemiş bir bölgede at sırtında yalnız bir adam. (Evet bunları ben yazdım.)

Video Washington'a ulaştığında sekreter yardımcısı coşmuştu. "Yapmışsınız! Müthiş. Çok doğru! Hafta sonunda Camp David'de gösterilecek."

Büyük ölçüde rahatlamış halde gülümseyerek yatmaya gittim ama sabahın 4'ünde soğuk terler içinde uyandım. Yanlış bir şeyler vardı. Sonra buldum. Sekreter yardımcısına "yargıç"ın Chicago Aktörler Bürosundan bir aktör olduğunu söylememiştim. O sıralarda başkan Yüksek Mahkeme için uzlaşılacak bir aday arama sıkıntısı içindeydi. Varsayın ki onu... Washington'da saat 8 olana dek dolanıp terledim. Üçüncü arayışımda yakaladım.

"Şu video hakkında..."

"Çok iyi olduğunu söyledim size."

"Ama söylemem gereken şu ki..."

"O çok iyi, endişelenmeyin. Camp David'e yola çıktı bile."

"Dur! diye bağırdım. "Dinle! Yargıç. O gerçek bir yargıç değil. O bir aktör ve başkan onunla konuşmak onunla mülâkat yapmak isteyebilir. Çok zeki görünmüyor. Ya başkan... [uzun sessizlik]

"Yüksek Mahkemeye mi?"

"Evvet."

[Sessizlik, sonra kıkırdama] "Bak eğer başkana onun aktör olduğunu söylersem Yüksek Mahkemeye mutlaka atar."

Çok geçmeden başkan SSÇ'yı onayladı. George Will'in bir köşe yazısına göre öneriye ilişkin tartışma kısa sürmüş. Bir kabine toplantısında başkan SSÇ'nın lehinde hemen hemen eşit olarak bölünmüş sekreterlerini dinlemiş. Sonra iyi bilinen bir futbol terimi kullanmış: "Fırlat." Bununla herkes "Yapalım" demek istediğini anlamış. Süper-çarpıştırıcı ulusal politika haline gelmişti.

Bir sonraki yıl boyunca SSÇ için bir yer arayışı ülkenin her yanında ve Kanada'daki toplulukları meşgul etti. Projede bir şeyler insanları heyecanlandırmış olsa gerek. Bir makinenin Texas, Waxahachie belediye başkanının toplumun önüne çıkıp ateşli bir konuşmayı "Ve bu millet Higgs skalar bozonunu ilk bulan millet olmalıdır!" Hattâ "Dallas" dizinin bir yerinde J.R.Ewing ve diğerlerine SSÇ alanı çerçevesinde arazi aldırtmaya çalışarak Süper Çarpıştırıcıya rol verdi.

Ulusal Eyalet Valileri Toplantısında SSÇ'yı satarken yaptığım milyonlarca konuşmadan birini yaparken belediye başkanının sözüne değindiğimde Texas valisi sözümü kesti. Benim Waxahachie'yi telaffuz edişimi düzeltti. Görünüşe göre Texasçayla New Yorkça arasındaki farktan da ötede yanlış söylemiştim. Dayanamadım. "Efendim gerçekten uğraştım." diye Valiye güvence verdim. "Oraya gittim, bir restoranda durdum ve garson kızdan nerede olduğumu açık ve tane tane söylemesini istedim. 'B-U-R-G-E-R–K-I-N-G' diye karşılık verdi." Valilerin çoğu güldü. Texas valisi gülmedi.

1987 yılı üç süper yılıydı. Birincisi Büyük Magellan Bulutu içinde yaklaşık 160 000 yıl önce parlayan ve sonunda güneş sistemimiz dışından nötrinolar taransın diye sinyal gönderen süpernova vardı. Sonra olası teknolojik yararlarıyla dünyayı heyecanlandıran yüksek ısı süperiletkenliğinin keşfi vardı. Başlangıçta hemen oda ısısında süperiletkenlere sahip olacağımız umudu oluştu. Küçülmüş güç maliyetleri, hava trenleri, binlerce çağdaş mucize ve bilim için SSÇ inşasının azalan maliyetleri düşleri doğdu. Şimdi o zaman fazla iyimser olduğumuzu biliyoruz. 1993'de yüksek ısı süperiletkenleri hâlâ canlı bir araştırma ve maddenin doğasını daha derinlemesine anlama cephesi ama ticari ve pratik uygulamalara daha çok zaman var.

Üçüncü süper Süper Çarpıştırıcı için yer bulunmasıydı. Fermilab çekişenlerden biriydi, bunun nedeni büyük ölçüde Tevatron'un SSÇ' nın ana halkası, seksen beş kilometre uzunluğunda oval bir halka, için bir enjektör olarak kullanılabilecek olmasıydı. Ama her görüş hesaba katılarak DOE'nun seçim komitesi Waxahachie mevkiini seçti. Karar Ekim 1988'de Fermilab kadrosuyla benim Nobel esprilerimle eğlendiğimiz büyük toplantıdan birkaç hafta sonra duyuruldu. Bu kez sıkıntılı kadronun haberleri dinlemek ve laboratuarın geleceğini merak etmek üzere toplandığı farklı bir toplantı yaptık.

1993'de SSÇ inşaat halindeydi; olası tamamlanma tarihi bir iki yıl önce ya da sonra olmak üzere 2000 yılıydı. Fermilab p-çizgi/p çarpışmalarının sayısını arttırmak, tepeyi bulma şansını arttırmak ve SSÇ' nın tırmanmak üzere tasarlandığı büyük dağın eteklerini araştırmak üzere tesisini saldırganca yeniliyor.

Kuşkusuz Avrupa'lılar da elleri böğürlerinde oturmuyorlar. Hararetli tartışmalardan, çalışmalardan, tasarım raporlarından ve komite toplantılarından sonra Carlo Rubbia CERN'in genel yöneticisi olarak "LEP tünelini süperiletken mıknatıslarla döşemeye" karar verdi. Hatırlayacağınız üzere bir hızlandırıcının enerjisi halka çapı ve mıknatıslarının gücünün birleşimi tarafından belirlenir. 'Yirmiyedi kilometrelik çevresi olan tünelle kısıtlanmış CERN tasarımcıları teknolojik olarak kafalarında canlandırabildikleri en yüksek manyetik alan için uğraşmaya zorlandılar. Bu 10 teslaydı. SSÇ'nin mıknatıslarından yüzde 60 daha güçlü ve Tevatron'unkinin iki buçuk katı. Bu müthiş meydan okumayla başa çıkmak süperiletken teknolojisinde

yeni bir karmaşıklık düzeyi gerektirecektir. Eğer başarılı olursa önerilen Avrupa'lı makineye SSÇ'nın 40 TeV'una karşılık 17 TeV'luk bir enerji verecektir.

Eğer bu makinelerin her ikisi de gerçekten inşa edilirse toplam finansal ve insan kaynakları donanımı müthiştir. Ve riskler de çok yüksektir. Higgs fikrinin yanlış olduğu ortaya çıkarsa ne olur? Öyle bile olsa "1 TeV kütle bölgesinde" gözlemler yapma dürtüsü aynı derecede güçlüdür; standart modelimiz ya düzeltilecek ya da göz ardı edilecektir. Bu Kolomb'un Doğu Hindistan'a doğru yola çıkması gibi. Gerçek inananları, eğer ulaşmazsa diye düşünmüştü; başka bir şey bulacaktır, belki çok daha ilginç bir şey.

•9•

İÇ UZAY, DIŞ UZAY VE ZAMANDAN ÖNCEKİ ZAMAN

Piccadilly'den aşağı yürü.
Elinde bir gelincik ya da leylak
Ortaçağında-
Herkes seni konuşur
Sen mistik yoluna giderken
Kendini çok mu derin anlatıyor derler
Bana göre çok mu derin
Neden, tek bir derin genç adam
Şu derin genç adam nasıl olmalı ki.

–Gilbert ve Sullivan, *Patience*[1]

"Şiirin Savunusu" kitabında İngiliz Romantik şairi Percy Bysshe Shelley sanatçının kutsal görevlerinden birinin "bilimlerin yeni bilgisini soğurmak ve onu insan gereksinimlerine göre sindirmek, onu insan tutkularıyla renklendirmek ve onu insan kanı ve kemiğine dönüştürmek" olduğunu öne sürer.

Shelley'in ulusumuzun ve gezegenimizin şu andaki üzücü durumunu açıklayan meydan okumasını çoğu romantik şairler benimsememiştir. Eğer Byron'umuz, Keats'imiz, Shelley'imiz ve onların bilimi açıklayan Fransız, İtalyan veya Urdu'lu eşdeğerleri olsaydı genel halkın bilim okur yazarlığı şimdikinden çok daha fazla olurdu. Bu

---

[1] *[Patience sabır diye çevrilebilir ama aynı zamanda tek kişilik bir iskambil oyunudur. –çev.]*

kuşkusuz artık "sevgili okur" değil benimle birlikte 9.Bölüme kadar döğüşmüş dost ve meslektaş olan ve kraliyet fermanıyla tam vasıflı, öğrenimli bir okuyucu olan sizi dıştalar.

Bilim öğrenimini ölçen insanlar bize yalnızca üç kişiden birinin bir molekülü tanımlayabildiğini ya da yaşayan tek bir bilimcinin adını söyleyebileceğini söylerler. Bu üzücü istatistiği nitelemek için ben şunu eklerim "Liverpool nüfusunun yalnızca yüzde altmışının Abelci olmayan ayar kuramını anladığını biliyor musunuz?" Harvard'ın 1987 mezuniyet töreninde rastgele seçilmiş yirmi üç mezundan yalnızca ikisi yazın neden kıştan daha sıcak olduğunu açıklayabilmişti. Bu arada yanıt "güneş yazın daha yakındır" değil. Daha yakın değildir. Dünyanın dönme ekseni eğiktir; böylece kuzey yarıküre güneşe doğru eğildiğinde ışınlar yüzeye dikeye yakın açıdan gelirler ve yerkürenin yarısı yazı yaşar. Öteki yarıküre eğik ışınlar alır –kış. Altı ay sonra durum tersine döner.

Harvard mezunlarının –Harvard, hey Tanrım!– yirmi üçünden soruyu yanıtlayamayan yirmi birinin cehaletinin üzücü yanı kaçırmış oldukları şeydir. Yeni ufuklar açan bir insan deneyimini anlamaksızın hayatın içinden geçeceklerdir: mevsimleri. Kuşkusuz insanların sizi şaşırttıkları parlak anlar da vardır. Yıllar önce Manhattan'ın IRT metrosunda kitabındaki bir temel aritmetik problemi üzerine ter döken yaşlı bir adam umutsuzca yanındaki yabancıya dönüp aritmetik bilip bilmediğini sormuştu. Yabancı evet anlamında başını salladı ve adamın problemini onun için çözüverdi. Kuşkusuz aritmetik çalışan yaşlı bir adamın metroda Nobel Ödüllü kuramsal fizikçi T.D.Lee'nin yanında oturması her gün olmaz.

Benim de benzer bir tren yaşantım var ama sonu farklı. Chicago'dan gelen kalabalık bir banliyö treninde otururken yöredeki akıl hastanesinden bir grup hastayı yöneten bir hemşire bindi. Hemşire saymaya başladığında benim etrafıma yerleştiler. "Bir, iki, üç–" Bana baktı. "Sen kimsin?"

"Ben Leon Lederman'ım" diye yanıtladım "Nobel Ödülü sahibi ve Fermilab'ın yöneticisi"

Beni işaret etti ve üzüntüyle devam etti: "Yaa. Evet, dört, beş, altı..."

Ama ciddi olarak bilim öğrenimsizliğine ilgi başka nedenler yanında bilim, teknoloji ve toplumsal refah ilişkisi yüzünden de haklı bir ilgidir. O zaman da bu sayfalarda sunmaya çalıştığım dünya görüşünü kaçırmak gibi çok acınacak bir durum ortaya çıkar. Hâlâ tam olmamakla birlikte büyüktür, güzeldir ve üretken bir basitliği vardır. Jacob Bronowski'nin dediği gibi:

> Bilimin gelişimi uzun süredir benzemez gibi görünen şeye teklik veren yeni bir düzenin her aşamada keşfedilmesidir. Faraday bunu elektrikle manyetizm arasında bağlantı kurarak yaptı. Clerk Maxwell her ikisini ışıkla bağlantılandırınca. Einstein zamanı uzayla, kütleyi enerjiyle ve güneşten geçen ışığın yolunu bir merminin uçuşuyla birleştirdi; ölümüne yakın yıllarını bu benzerlikleri Clerk Maxwell'in eşitlikleriyle kendi yerçekimi geometrisi arasında düş gücüne dayalı tek bir düzen bulacak bir başkasına bağlantılandırmak için harcadı.
>
> Coleridge güzelliği tanımlamaya çalışırken her zaman tek bir derin düşünceye geri döner: güzellik demişti "çeşitlilikte birlik"tir. Bilim doğanın –ya da daha doğrusu yaşantımızın– vahşi çeşitliliği içinde birliği araştırmaktan başka bir şey değildir.

İÇ UZAY / DIŞ UZAY

Bu yapıyı uygun bağlamı içinde görmek için şimdi astrofiziğe kısa bir yolculuk yapacağız ve parçacık fiziğiyle astrofiziğin son zamanlarda benim bir keresinde iç uzay/dış uzay diye adlandırdığım yeni bir yakınlık düzeyinde içiçe geçtiğini açıklamam gerekir.

İç uzay bilimcileri çekirdek altı bölgeyi görmek için durmadan daha güçlü mikroskop hızlandırıcılar inşa ederken bizim dış uzay meslektaşlarımız durmadan daha güçlü, artan duyarlıkta yeni teknolojilerle desteklenmiş ve ince ayrıntıları görme yeteneğinde teleskoplardan gelen verileri birleştiriyorlardı. Başka bir buluş kızılötesi, morötesi, X ışınları, gama ışınları –kısaca çoğu bizim mat ve titrek atmosferimizde tutulan tüm elektromanyetik yelpazeyi– taramak için aygıtları taşıyan uzay bazlı gözlemevleriyle geldi.

Kozmolojide son yüz yılın sentezi "standart kozmolojik model"dir. O, evrenin 15 milyar yıl önce sıcak, yoğun, sıkışık bir durumda

başladığını kabul eder. O zaman evren sonsuz derecede ya da hemen hemen sonsuz derecede yoğundu, sonsuz derecede ya da hemen hemen sonsuz derecede sıcaktı. "sonsuz" tanımı fizikçilerde rahatsızlık yaratır; tüm niteleyiciler kuantum kuramının belirsiz etkisinin sonucudur. Hiçbir zaman bilemeyeceğimiz nedenlerle patladı ve o zamandan beri genleşiyor ve soğuyor.

Şimdi dünyada kozmologlar bunu nasıl buldu? Büyük Patlama modeli 1930'larda gökadaların, 100 milyar ya da daha fazla yıldız topluluklarının, 1929'da onların hızlarını ölçmekte olan Edwin Hubble diye birinden uzaklaştığının keşfedilmesiyle ortaya çıktı. Hubble tayf çizgilerini çözmek ve onları aynı elementlerin dünyadaki tayflarıyla karşılaştırmak için uzak gökadalardan yeterince ışık toplamak zorundaydı. Tüm çizgilerin sistematik olarak kırmızıya doğru kaydığını belirledi. Bir gözlemciden uzaklaşan bir ışık kaynağının bunu yaptığı biliniyordu. "Kırmızı kayması" aslında kaynak ve gözlemcinin bağıl hızının bir ölçümüydü. Yıllar içinde Hubble tüm gökadaların her yönde kendisinden uzaklaştığını buldu. Hubble düzenli olarak yağdırıyordu ve bunda kişisel hiçbir şey yoktu; basit olarak uzayın genleşmesinin bir sonucuydu. Uzay tüm gökadaları arasındaki uzaklığı arttırdığı için Andromeda'daki Twilo gezegeninden astronom Hedwina Knubble da aynı görüngüyü görecekti –gökadaları ondan uzaklaşıyorlardı. Aslında nesne ne kadar uzaksa o kadar daha hızlı deviniyordu. Bu Hubble yasasının özüydü. Bu, eğer filmi tersine sararsanız en uzak gökadaların daha hızlı devinerek daha yakındaki nesnelere yaklaşacağını ve sonunda tüm süprüntünün birbirine yapışacağını, bugün yaklaşık 15 milyar yıl önce olarak hesaplanan bir zamanda çok çok küçük bir hacımda pıhtılaşacağını ima etmekteydi.

Bilimde en ünlü mecaz sizden kendinizi iki boyutlu bir yaratık bir Yassı ülkeli olarak hayal etmenizi ister. Doğu–batı, kuzey–güneyi bilirsiniz ama yukarı–aşağı *yoktur*. Yukarı–aşağıyı bilginizden çıkarın. Simetrik olan bir balonun yüzeyinde yaşıyorsunuz. Yüzeyin tümü gözlemlerin mekanlarıdır –gezegenler ve yıldızlar, kürenin tüm yüzeyinde gökadalar halinde kümelenmiş. Tümü iki boyutlu. Yüzey sürekli olarak genleştiği için herhangi bir gözlem noktasından tüm nesneler uzaklaşıyordur. Bu evrende herhangi iki nokta arasındaki uzaklık artar. Bizim mecazın diğer yönü bizim kendi evrenimizde

olduğu gibi hiçbir özel yerin olmamasıdır. Yüzeylerdeki öteki noktalar tüm öteki noktalarla demokratik olarak eşdeğerdir. Merkez yok. Uç yok. Evrenden düşme korkusu yok. Bizim genleşen evrenimiz (balon yüzeyi) bildiğimiz tek şey olduğu için uzayın *içine* doluşan yıldızlar olgusu değildir bu. Tüm ıvır zıvırı taşıyan genleşen uzaydır. Evrenin her yerinde oluşan bir genleşmeyi gözünde canlandırması kolay değildir. Dış yok iç yok. Yalnızca bu genleşen evren var. Neyin içine genleşiyor? Yassı ülkeli olarak bir balonun yüzeyindeki yaşamınızı yeniden düşünün. Mecazımızda var olan her şey yüzeydir.

Büyük Patlama kuramının iki büyük ek sonucu karşıtlığı sonunda kırdı ve şimdi epeyce bir uzlaşma oluştu. Biri özgün akkorluğun – onun sıcak, çok sıcak olduğunu varsayarak– ışığının kalıntı radyasyon halinde hâlâ etrafta bulunduğu tahminiydi. Işığın fotonlardan ibaret olduğunu ve fotonların enerjisinin dalga boylarıyla ters orantılı olduğunu anımsayın. Evrenin genleşmesinin bir sonucu tüm uzunlukların genleşmesidir. Başlangıçta yüksek enerjili fotonlara uygun olarak sonsuz küçük olan dalga boylarının birkaç milimetrelik mikrodalga bölgesine büyüdükleri tahmin edilmektedir. 1965'de Büyük Patlamanın közleri mikrodalga radyasyonu keşfedildi. Tüm evren her yönde devinen bu fotonlar tarafından yıkanır. Milyarlarca yıl önce evren çok daha küçük ve sıcakken bir yolculuğa başlayan fotonlar New Jersey'de bir Bell Laboratuarı anteninde son bulurlar. Ne yazgı!

Bu keşiften sonra dalga boylarının dağılımını ölçmek hayati bir hal aldı (burada lutfen 5.Bölümü tekrar okuyun ama kitabı başaşağı tutun) ve sonunda gerçekleşti. Planck eşitliğini kullanarak bu ölçüm bu fotonlarla yıkanmış zımbırtıların (uzay, yıldızlar, toz, kaçmış arasıra bipleyen bir uydu) ortalama ısısını verir. COBE uydusundan En son (1991) NASA ölçümlerine göre bu mutlak sıfırın üzerinde 2.73 derecedir (2.73 derece Kelvin). Bu kalıntı radyasyon da sıcak Büyük Patlama kuramının güçlü bir kanıtıdır.

Başarıları sıralarken sonunda tümü aşılmış zorlukları da belirtmeliyiz. Astrofizikçiler göğün değişik kesimlerindeki ısıları ölçmek için mikrodalga radyasyonunu dikkatle incelemişlerdi. Bu ısıların olağandışı kesinlikle (yüzde 0.01'den daha iyi) karşılaştırılması biraz ilgiye yol açtı. Neden? Çünkü iki nesne tam olarak aynı ısıdaysa onların bir kez birbirine değmiş olduğunu düşünmek akla yakındır. Ama uzman-

lar kesinlikle aynı ısıdaki farklı bölgelerin hiçbir zaman birbirine değmediğinden emindiler. "Düşük olasılıkla" falan değil *hiçbir zaman*.

Astrofizikçilerin böylesine kesin konuşmasına izin verilir çünkü COBE tarafından tesbit edilmiş mikrodalga radyasyonun yayıldığı sırada göğün iki kesiminin ne kadar uzak olduğunu hesaplamışlardır. Bu zaman Büyük Patlamadan 300 000 yıl sonradır; insanın arzu ettiği kadar eski ama olabildiğince de yakın. Bu ayrılmaların ışık hızıyla bile iki bölgenin birbiriyle iletişemeyeceği kadar büyük olduğu ortaya çıkar. Yine de aynı ısıdadırlar ya da ona çok yakın. Bizim Büyük Patlama kuramımız bunu açıklayamadı. Bir hata mı? Başka bir mucize mi? Nedensellik ya da izotropi krizi diye bilinir hale geldi. *Nedensellik* çünkü hiçbir zaman birbirine değmiş olamayacak gök bölgeleri arasında nedensel bir ilişki var gibiydi. *İzotropi* çünkü büyük ölçekte baktığınız her yerde oldukça aynı yıldız, gökada, küme ya da toz örüntüsünü görürsünüz. Biri milyarlarca parçasının benzerliğinin salt kaza olduğunu söyleyerek bir Büyük Patlama modeli içinde bununla birlikte yaşayabilir. Ama biz "kazalar"ı sevmeyiz. Eğer piyangoya katılıyor ya da Chicago Cubs taraftarıysanız mucize tamam ama bilimde değil. Ne zaman ortaya çıksa daha büyük bir şeyin gölgelerden fırlamak üzere olduğundan kuşkulanırız. Daha sonra buna döneceğiz.

SINIRSIZ BÜTÇELİ BİR HIZLANDIRICI

Büyük Patlama modelinin ikinci büyük başarısı evrenimizin yapısıyla ilgilidir. Dünyayı hava, toprak, su (ateşi dışarıda bırakacağım) ve reklam panolarından ibaret olarak düşünebilirsiniz. Ama biz yukarıya bakıp spektroskopik teleskoplarımızla ölçersek büyük ölçüde hidrojen sonra helyum buluruz. Bunlar evrenin yüzde 98'inden sorumludur. Geri kalanı diğer doksan ya da daha fazla elementten oluşur. Spektroskopik teleskoplarımızla daha hafif elementlerin bağıl miktarlarını biliriz –ve işte bu kadar!– BP kuramcıları için bu bolluk tam da umulması gereken şeydir. İşte bunu nasıl bildiğimiz.

Doğum öncesi evrenin içinde şu anda gözlemlediğimiz evrenin tüm maddesi vardı –yani her birinin 100 milyar güneşiyle 100 milyar

gökada (Carl Sagan'ı işitiyor musunuz?). Bugün görebildiğimiz her şey bir topluiğne başından çok daha küçük bir hacme sıkıştırılmıştı. Ne kalabalık ama! Isı yüksekti– yaklaşık 10^{32} derece kelvin, bizim bugünkü 3 derece falandan epeyce sıcak. Ve bunun sonucunda madde en asal öğelerine ayrışmıştı. Akla yakın bir tablo quarkların ve leptonların (ya da eğer varsa onların içindeki şeylerin) 10^{19} GeV'luk enerjilerle ya da SSÇ sonrası bir fizikçinin düşleyebileceği en büyük çarpıştırıcının enerjisinin bir trilyon katı enerjiyle birbirini ezdiği bir "sıcak çorba" ya da plazma. Yerçekimi bu mikroskopik ölçek üzerinde güçlü (ama şimdi pek az anlaşılan) bir etkiyle kükremektedir.

Bu düşsel başlangıçtan sonra genleşme ve soğuma vardı. Evren soğuduğunda çarpışmalar daha az şiddetli hale geldi. Bebek evrenin yoğun küresinin bir parçası olarak birbirleriyle yakın temas halindeki quarklar, protonlar, nötronlar ve öteki hadronlar halinde pıhtılaşmaya başladılar. Başlangıçta böylesi herhangi bir birleşme arkadan gelen şiddetli çarpışmayla ayrılıyordu ama soğuma amansızdı, çarpışmalar daha nazik ve zarif olmaya başladı. Üç dakika yaşına geldiğinde ısılar protonların ve nötronların birleşmesine yetecek kadar düştü ve daha önce bunlar çabucak ayrışırken şimdi kararlı çekirdekler oluştu. Bu çekirdek sentezi evresiydi ve biz epeyce çekirdek fiziği bildiğimiz için bu evrenin biçimlendirdiği kimyasal elementlerin görece bolluğunu hesaplayabiliyoruz. Onlar çok hafif elementlerdi; daha ağır elementler yıldızlarda "hafif ateşte pişirilmeyi" gereksinirler. Kuşkusuz atomlar (çekirdekler artı elektronlar) ısı, elektronların kendilerini çekirdekler çevresinde örgütlemelerine yetecek kadar düşmeden oluşmadı. Doğru ısıya yaklaşık 300 000 yılda ulaşıldı. O zamandan önce hiç atomumuz yoktu dolayısıyla hiçbir kimyacı da gerekmiyordu. Nötr atom bir kez biçimlenince fotonlar özgürce devinebildi ve bizim mikrodalga foton bilgimizin geç olmasının nedeni de bu.

Çekirdek sentezi bir başarıydı: hesaplanmış ve ölçülmüş bollukta uzlaşıldı. Hey! Hesaplamalar çekirdek fiziği, zayıf kuvvet reaksiyonları ve erken evren koşullarının bir karışımı olduğu için bu uzlaşma Büyük Patlama kuramı için çok güçlü bir destekti.

Bu öykünün anlatılışı sırasında iç uzay/dış uzay bağlantısını da açıklamış oldum. Erken evren tümüyle sınırsız bütçeli bir hızlandırıcı

laboratuarından başka bir şey değildir. Bizim astrofizikçilerimiz evrim modelini kurmak için quarklar ve leptonlar ve kuvvetler hakkında her şeyi bilmeye gereksinirler. Ve 6.Bölümde değindiğimiz gibi parçacık fizikçileri Tanrının Büyük Deneyinden veriler elde ederler. Kuşkusuz 10^{-13} saniyeden daha önceki zamanlarda fizik yasalarından daha az emin oluyoruz.

Yine de Büyük Patlama bölgesi ve evrenin evrimi anlayışımızı geliştirmeye devam ediyoruz. Gözlemlerimiz olgudan 15 milyar yıl sonra yapılır. Hemen hemen bu kadar süredir evrende takırdayan bilgiler bazan bizim gözlemevlerimize düşer. Ayrıca standart model ve onu destekleyip genişleten hızlandırıcı verilerinin de yardımını alırız. Ama kuramcılar sabırsızdır; katı hızlandırıcı verileri 10^{-13} saniye yaşamış evrene eşdeğer enerjilerde ortaya çıkar. Astrofizikçiler çok daha eski zamanlarda işleyen yasaları bilmek gereksinimindedirler; bu yüzden parçacık kuramcılarını kolları sıvayıp makaleler seline katkıda bulunmaya zorlarlar: Higgs, tekleştirme, bileşim (quarklar içinde ne var) ve de doğanın daha mükemmel bir betimlemesine bir köprü ve Büyük Patlamaya bir yol inşa etmek için standart modelin ötesinde bir spekülatif kuramlar yığını.

KURAMLAR VARDIR SONRA DA KURAMLAR VARDIR

Çalışma odamda saat sabahın 1:15'iydi. Birkaç yüz metre ötede Fermilab makinesi protonları antiprotonlara çarpıyor. İki büyük tarayıcı verileri alıyor. Savaşta pişmiş 342 bilimci ve öğrenciden oluşan ÇTT grubu 5 000 tonluk tarayıcılarının yeni parçalarını kontrol etmekle meşguller. Kuşkusuz tümü değil. Ortalama olarak bu saatte kontrol odasında bir düzine adam olur. Halkanın yarı yolunda yeni D-sıfır tarayıcısı 321 işbirlikçisiyle ayarlanıyor. Bir aydır süren çalışma her zamanki titrek başlangıcını yapmıştı ama veri alma çarpışma oranını arttırmak üzere tasarlanmış yeni bir hızlandırıcı parçasını yavaş yavaş kullanmaya başlamak için bir arayla birlikte on altı ay sürecek. Ana amaç tepe quarkı bulmak olduğu halde standart modeli sınamak ve genişletmek güdünün temel bir parçası.

Yaklaşık 7500 kilometre ötede CERN meslektaşlarımız da standart modeli nasıl genişletecekleri konusunda bir dizi kuramsal fikri sınamak için sıkı çalışıyorlar. Ama bu iyi, temiz çalışma sürerken kuramsal fizikçiler de çalışıyorlar ve burada üç tane en ilginç kuramın çok kısa, musluk tamircisi versiyonunu vermeyi öneriyorum. BTK lar, süpersimetri ve süperteller. Bu yüzeysel bir yaklaşım olacak. Bu spekülasyonlardan bazıları gerçekten derindir ve yalnızca yaratıcıları, onların anneleri ve birkaç yakın arkadaşları tarafından takdir edilir.

Ama önce yanlış anlamalara çok açık "kuram" sözcüğü üzerine bir görüş. "Bu *senin* kuramın" yaygın bir alaycılıktır. Ya da "Bu yalnızca bir kuram." Rastgele kullanım bizim hatamızdır. Kuantum kuramı ve Newtoncu kuram dünyamızın geliştirilmiş ve doğrulanmış öğeleridir. Onların kuşkulu yanı yoktur. Bu bir türeyiş konusu. Bir zamanlar o, Newton'un (henüz doğrulanmamış) "kuramı"ydı. Sonra doğrulandı ama ad yapışıp kaldı. O her zaman "Newton'un kuramı" olacak. Öte yandan süpersicimler ve BTK'lar bildiklerimizin üzerine inşa edilmiş güncel anlayışımızı genişletmek için *varsayımsal* çabalardır. Daha iyi kuramlar doğrulanabilir olanlardır. Bir zamanlar bu herhangi bir kuramın olmazsa olmazıydı. Bugünlerde Büyük Patlamadaki olaylardan söz ederken belki de ilk kez bir kuramın deneysel olarak sınanmayacağı bir durumla yüz yüzeyiz.

BTK'lar

Zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin bir parçacıklar kuarteti -W^+ W^-, Z^0 ve foton- tarafından taşınan elektrozayıf kuvvet halinde birleştirildiğini anlatmıştım. Quarkların üç renk halindeki davranışlarını ve gluonlarla ilgilenen KKD'ni –kuantum kromodinamiği– de anlatmıştım. Bu kuvvetlerin her ikisi de şimdi ayar simetrisine uyan kuantum alan kuramlarıyla tanımlanır.

KKD'ni elektrozayıf kuvvetle birleştirme girişimleri yaygın olarak büyük tekleştirme kuramları (BTK'lar) diye bilinir. Elektrozayıf tekleştirme, ısısı 100 GeV'u (kabaca W'nun kütlesi ya da 10^{15} derece K.) aşan bir dünyada kanıtlanır. 8. Bölümde belirtildiği üzere bu ısıya laboratuarda ulaşabiliyoruz. Öte yandan BTK'ların tekleştirmesi en

megaloman hızlandırıcı imalatçısının bile sınırlarının ötesinde kalan 10^{15} GeV'luk bir ısı gerektirir. Tahmin zayıf, elektromanyetik ve güçlü kuvvetlerin gücünü ölçen üç parametreden türemiştir. Bu parametrelerin aslında enerjiyle değiştiği, güçlü kuvvetlerin zayıfladığı ve elektrozayıf kuvvetin güçlendiği yolunda kanıtlar bulunur. Her üç sayının birleştiricisi 10^{15} GeV'ta ortaya çıkar. Bu büyük tekleştirme rejimi, doğa yasalarının simetrisinin en üst düzeyde olduğu yerdir. Yineleyelim, bu doğrulanması gereken bir kuramdır ama ölçülen güçlerin eğilimi bu enerji yakınlarında birbirine yaklaşmayı işaret etmektedir.

Çok sayıda büyük tekleştirme kuramı vardır, çok *büyük* sayıda, hepsinin de avantajları ve dezavantajları bulunur. Örneğin BTK çekişmesine baştan katılan birisi protonun kararsız olduğunu ve nötr bir pionla bir pozitrona parçalanacağını öne sürdü. Bu kuramda protonun ömrü 10^{30} yıldır. Evrenin yaşı bundan epeyce küçük –10^{10} yıl kadar– olduğu için pek fazla proton parçalanmamıştır. Protonun parçalanması görülmeye değer bir olaydır. Protonun kararlı bir hadron olduğundan söz ettiğimizi anımsayın –üstelik bu iyi bir şeydir de çünkü akla yakın biçimde kararlı bir proton evrenin ve ekonominin geleceği için çok önemlidir. Yine de çok düşük parçalanma oranı beklenmesine karşın deney yapılabilir. Örneğin eğer ömür gerçekten 10^{30} yılsa ve tek bir protonu bir yıl boyunca izlersek parçalanmayı görme şansımız 10^{30}'da 1'dir. –10^{-30} Bunun yerine pek çok protonu gözleyebiliriz. 10.000 ton suda yaklaşık 10^{33} proton vardır (bana güvenin). Bu bir yılda 1000 protonun parçalanacağı anlamına gelir.

Böylece girişimci fizikçiler geri plandaki kozmik radyasyonu maskelemek için yeraltına indiler –Ohio'da Erie Gölünün altında bir tuz madenine, Japonya'da Tayoma dağı altında bir kurşun madenine ve Fransa'yı İtalya'ya bağlayan Mont Blanc tünelinin içine. Bu tüneller ve derin madenlere yaklaşık 10000 tonluk muazzam, temiz plastik saf su depoları yerleştirdiler. Bu yaklaşık her kenarı 21.5 metrelik bir küp yapar. Suya bir protonun parçalanmasından serbest kalacak enerji patlamalarını tarayacak yüzlerce büyük, duyarlı ışık toplayıcı tüpü bakmaktadır. Şu ana dek hiçbir proton parçalanması gözlemlenmemiştir. Bu durum bu hırslı deneylerin değerli olmadığı anlamına gelmez çünkü protonun ömrü için yeni bir ölçü sağlamıştır.

Verimsizliği hesaba katınca eğer parçacık gerçekten kararsızsa protonun ömrü 10^{32} yıldan *uzun* olmaktadır.

İlginçtir protonların parçalanmasının uzun ve başarısız beklenişi umulmadık heyecan yarattı. 1987 Şubatındaki süpernova patlamasından söz etmiştim. Eşzamanlı olarak Erie Gölü ve Toyama Dağı yer altı tarayıcılarında bir nötrino olayı patlaması görüldü. Işık ve nötrino kombinasyonu yıldız patlaması modelleriyle ilginç biçimde uyum içindeydi. Astronomların tüylerini kabartmalarını görmeliydiniz! Ama protonlar parçalanmıyor.

BTK'ları zor zamanlar geçirdi ama her zaman çabuk toparlanan BTK kuramcıları heveslilikleriŋi sürdürdüler. Kuramı sınamak için bir BTK hızlandırıcısı inşa etmek gerekmez. BTK kuramcılarının proton parçalanmasına ek olarak sınanabilir sonuçları vardır. Örneğin büyük tekleştirme kuramlarından biri olan SU (5) parçacıkların elektrik yüklerinin bir niceliğin katları olarak gösterilebileceğini ve elektron yükünün bir bölü üç katları olarak ortaya çıktığını öngörmüştür. (Quark yüklerini anımsayın?) Çok doyurucu. Bir başka sonuç quarkların ve leptonların bir ailede birleşmeleridir. Bu kuramda quarklar (protonun içinde) leptonlara dönüşebilir ve bunun tersi.

BTK'ları protonlardan bir trilyon kez daha ağır süperkütleli parçacıkların (X bozonları) varlığını da öngörür. Bunların varolmasının ve sanal parçacıklar olarak ortaya çıkması nadir olasılığının protonların nadir parçalanması gibi minicik sonuçları olabilir. Bu arada bu parçalanmanın eğer çok yanlış değilse bazı pratik imaları vardır. Eğer örneğin hidrojen çekirdeği (tek bir proton) salt radyasyona dönüşebilseydi füzyon enerjisinden yüz kez daha etkin bir enerji kaynağı sağlardı. Birkaç ton su Birleşik Devletlerin bir günlük enerji gereksinimini karşılardı. Kuşkusuz hemen şimdi suyu BTK ısılarına dek ısıtmamız gerekiyor ama belki de şu anda duyarsız bir anaokulu öğretmeninin bilimden soğuttuğu bazı çocuklar bunun daha pratik olduğu gibi bir fikir besleyebilir. Bu yüzden öğretmene yardım edin!

BTK ölçeğindeki ısılarda (10^{28} derece Kelvin) simetri ve basitlik, yalnızca tek bir tür madde (lepto-quark?) ve bir kuvvet taşıyıcı parçacıklar dizisiyle tek bir kuvvet ve oh evet yerçekiminin sallanıp durduğu bir noktaya ulaşmıştı.

SUSY

Süpersimetri ya da Susy bahisçi kuramcıların gözdesidir. Susy'yi daha önce tanıtmıştık. Bu kuram madde parçacıklarını (quarklar ve leptonlar) ve kuvvet taşıyıcılarını (gluonlar, W'lar...) birleştirir. Muazzam sayıda deneysel tahmin yapar ama hiçbiri (henüz) gözlemlenmemiştir. Ama ne eğlence!

Gravitinolarımız, winolarımız, gluinolarımız ve fotinolarımız vardır –gravitonların, W'ların ve geri kalanların maddemsi partnerleri. Quarkların ve leptonların süpersimetrik partnerleri vardır: sırasıyla Squarklar ve sleptonlar. Bu kuramın yükümlülüğü bilinen her parçacık için bir tane olan bu partnerlerin hiçbirisinin neden görülmediğini göstermektir. Kuramcılar oh, derler antimaddeyi anımsayın. 1930'lara dek hiç kimse her parçacığın ikiz bir karşı parçacığı olduğunu hayal bile edemezdi. Ve simetrilerin kırılmak için (Aynalar gibi?) yaratıldığını anımsayın. Partner parçacıklar görülmemişlerdir çünkü ağırdırlar. Yeterince büyük bir makine yapın ve tümü ortaya çıksın.

Matematiksel kuramcılar geri kalanımıza kuramın parçacıkları açık saçık bir biçimde çoğaltmasına karşın, mükemmel bir simetrisi olduğu konusunda güvence verirler. Susy ayrıca bizi yerçekiminin gerçek bir kuantum kuramına yöneltmeyi vaad eder. Genel görelilik kuramını – bizim yerçekimi kuramımız– sayısallaştırma girişimi boğazına kadar yeniden normalleştirilemeyecek sonsuzlarla sarılmıştır. Susy bizi yerçekiminin güzel bir kuantum kuramına yöneltmeyi vaad eder.

Susy ayrıca bu simetri olmaksızın yapması için icat edildiği görevi yapamayacak olan Higgs parçacığını evcilleştirir. Higgs parçacığı skalar (sıfır dönmeli) bir bozon olarak çevresindeki meşgul boşluğa çok duyarlıdır. Kütlesi onun boşluğunu geçici olarak dolduran her kütleden sanal parçacık tarafından etkilenir; her biri zavallı Higgs elektrozayıf kuvveti koruyamayacak kadar şişmanlayana dek ona enerji, dolayısıyla da kütle eklerler. Süpersimetri ile olanlar ise Susy partnerlerin Higgs'in kütlesini zıt işaretleriyle etkilemeleridir. Yani W parçacığı Higgs'i daha ağır kılar oysa wino etkiyi iptal eder böylece kuram Higgs'in yararlı bir kütlesi olmasına olanak verir. Yine de tüm bunlar Susy'nin doğru olduğunu kanıtlamaz. O yalnızca güzeldir.

Konu pek de yerleşmiş değil. Cızırtılı sözcükler ortaya çıkıyor: süpèr yerçekimi, süper uzayın geometrisi –zarif matematik, yılgınlık verici derecede karmaşık. Ama deneysel olarak ilginç bir sonuç Susy' nin, karanlık madde için, gözlemlenebilir evrene dadanan kapsayıcı malzemeden sorumlu olabilecek kadar ağır olabilen kararlı nötr parçacıklar için istekle ve cömertçe adaylar sağlaması. Susy parçacıkları olasılıkla Büyük Patlama döneminde yapılmışlardı ve tahmin edilen parçacıların en hafifleri –belki fotino, higgsino ya da gravitino– karanlık maddeyi oluşturmak ve astronomları tatmin etmek için kararlı kalıntılar olarak bugüne dek yaşamayı başarmışlardı. Bir sonraki makine kuşağı Susy'yi ya destekleyecek ya da yadsıyacaktır ... oh, oh, oh ama ne şenlik!

SÜPER TELLER

Bunun Her Şeyin Kuramı ya da HŞK olduğunun borazanlığını yapıp parçacık fiziği sözlüğünü sonsuza dek süsleyenin *Time* dergisi olduğuna inanıyorum. Yakınlarda çıkan bir kitap daha da iyisini yaptı: *Süper Teller, Her Şeyin Kuramı?* (Bu yükselen bir tonlamayla okunur.) Tel kuramı tüm kuvvetlerin (yerçekiminin bile), tüm parçacıkların, uzayın ve zamanın, kısaca her şeyin, keyfi parametrelerden ve sonsuzlardan arınmış tekleştirilmiş bir tanımını vaad eder. Temel önerme, nokta parçacıkları kısa tel parçalarıyla değiştirmektir. Tel kuramı matematik cephesini (geçmişte fiziğin çok seyrek olarak yaptığı gibi) insan imgeleminin kavramsal sınırlarını uçlara doğru iten bir yapıyla belirlidir. Bu kuramın yaratılışının kendi tarih ve kendi kahramanları vardır: Gabrielle Veneziano, John Schwarz, André Neveu, Pierre Ramond, Jeff Harvey, Joel Sherk, Michael Green, David Gross ve Edward Witten adında yetenekli bir gaydacı. Önde gelen dört kuramcı New Jersey'de izbe bir kurumda birlikte çalışırlar ve Princeton Yaylı Sazlar[1] Kuarteti diye tanınırlar.

Tel kuramı neredeyse Atlantis ya da Oz kadar uzak bir yer hakkında bir kuramdır. Planck bölgesinden söz ediyoruz ve eğer orası

[String = tel aynı zamanda yaylı sazlar anlamına gelir. –çev.]

varsa (Oz gibi) Büyük Patlama kozmolojisinin en erken ışıldamaları sırasında olmalıdır. Deneysel verilerden bu dönemi gözümüzde canlandırmanın hiçbir yolu yoktur. Bu azimle devam etmeyeceğimiz anlamına gelmez. Birinin bir biçimde Oz'u ve onun çok çok düşük enerjili sonucunu, bizim standart modelimizi betimleyecek matematiksel olarak sabit (hiç sonsuzu olmayan) bir kuram bulduğunu düşünebiliyor musunuz? Eğer o kuram aynı zamanda tekse –yani aynı şeyi yapan başka rakibi de yoksa– o zaman tümümüz katılır ve kalemlerimizle çapalarımızı elimizden bırakırdık. Teklik süper tellerin hoşlanmadığı bir şeydir. Süper tellerin büyük varsayımları içinde veriler dünyasına olası çok büyük sayıda yol vardır. Onu açıklarmış gibi yapmaksızın bu zımbırtıyı başka nelerin nitelediğine bakalım. A evet 8.Bölümde söz edildiği gibi on boyuta gereksinir: dokuz uzay ve bir zaman boyutu.

Şimdi iki boyutlu bir dünyada yaşamayı düşleyerek konuya ısınmış da olsak hepimiz yalnızca üç uzay boyutu olduğunu biliyoruz. O zaman neden dokuz olmasın? Haklı olarak "Onlar nerede?" diye soracaksınız. Kıvrılmış. Kıvrılmış mı? Pekala, kuram geometriye dayanan yerçekimiyle başladı böylece insan boyutların altı tanesinin minik bir topun içine kıvrıldığını hayal edebilir. Topun büyüklüğü Planck rejimi için tipiktir, 10^{-33} santimetre, yaklaşık olarak nokta parçacığın yerini alan tel kadar. Parçacıkların bu tellerin titreşiminden doğduğunu biliyoruz. Gergin bir telin sonsuz sayıda titreşim türü vardır. Bu kemanın temelidir –ya da eğer Galileo'nun yaşlı babasıyla tanıştığımız durumu anımsayacak olursanız lavtanın. Gerçek tellerin titreşimleri temel bir nota ve onun harmonikleri ya da frekans türleri olarak sınıflandırılır. Mikrotellerin matematiği de buna benzer. Bizim parçacıklarımız en düşük frekans türlerinden ortaya çıkar.

Bu kuramın önderlerini neyin harekete geçirdiğini tanımlayabilmemin hiçbir yolu yok. Ed Witten yıllar önce Fermilab'da tüm bunlar hakkında düşlemsel, sürükleyici bir konferans vermişti. Yaşamımda ilk kez sözlerini bitirdikten sonra alkışlardan önce on saniyelik bir sessizlik oldu (bu epeyce uzun). Vardiyadaki meslektaşlarıma öğrendiklerimi anlatmak için laboratuarıma koştum ama oraya vardığımda çoğunu unutmuştum. Sanatsal konferansçı size anladığınızı düşündürtür.

Kuram giderek daha zor matematikle ve olası yönlerin çoğalmasıyla karşılaştığı için süper telleri çevreleyen gelişme ve yoğunluk daha makul bir düzeye indi ve şimdi biz yalnızca bekleyebiliriz. Çok yetenekli kuramcıların kesiminde ilgi sürüyor ama korkarım HŞK'nın standart modele ulaşması epey zaman alacak.

DÜZLÜK VE KARANLIK MADDE

Bir kuram kurtuluşu beklerken Büyük Patlamanın hâlâ bilmeceleri var. Fizikçilerin kafasını karıştıran hattâ bizleri –deneycilerle kuramcıları aynı biçimde– En Başlangıç hakkında bazı eziyet verici kavramlara yönelten bir problem daha seçeyim. Bu düzlük problemi diye bilinir ve çok insanca bir içeriği vardır –evrenin sonsuza dek genleşmeye devam mı edeceği yoksa yavaşlayıp evrensel bir büzüşme dönemine mi gireceğine yönelik hastalıklı bir ilgi. Konu evrende ne kadar yerçekimsel kütlenin var olduğudur. Eğer yeterince varsa genleşme tersine dönecek ve Büyük Çatırdamamız olacak. Bu, kapalı evren diye bilinir. Eğer yeterince yoksa evren sonsuza dek genleşmeye ve giderek soğumaya devam edecek –açık evren. Bu iki rejim arasındaki "kritik kütlede" bir evrendir, genleşmeyi durdurmaya yetecek ama tersine dönmeye yetmeyecek kadar kütlesi olan bir evren –düz denen evren.

Bir mecazın tam sırası. Dünya yüzeyinden bir roket gönderdiğinizi düşünün. Rokete çok küçük bir hız verirsek dünyaya geri düşer (kapalı evren). Dünyanın yerçekimi çok güçlüdür. Ona muazzam bir hız verirsek dünyanın yerçekiminden kurtulur ve güneş sistemine fırlar (açık evren). Açık olarak öyle kritik bir hız vardır ki biraz azı dünyaya düşmeye biraz fazlası kurtulmaya yol açar. Hız doğru olursa düzlük oluşur. Roket fırlar ama giderek azalan bir hızla. Dünyamızdaki roketler için kritik hız saniyede 11.3 kilometredir. Şimdi, örneği izleyerek, sabit hızlı bir roket (Büyük Patlama) düşünün ve ne ağırlıkta bir gezegenin (evrenin toplam kütle yoğunluğu) kurtulmaya ya da düşmeye yol açacağını sorun.

İnsan evrenin yerçekimsel kütlesini yıldızları sayarak hesaplayabilir. İnsanlar bunu yaptı ve tek başına alındığında sayı genleşmeyi durduramayacak kadar küçüktü; bu çok geniş kenarlı açık bir evreni öngörüyordu. Ancak, ışın saçmayan bir maddenin, "karanlık madde"

nin evreni kapsadığı yolunda çok güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Gözlemlenen madde ve hesaplanan karanlık madde birleştiğinde ölçümler evrendeki kütlenin kritik kütleye yakın olduğunu –yüzde 10'dan az ya da iki katından fazla değil– göstermektedir. Bu yüzden evrenin genleşmeye mi devam edeceği yoksa sonunda büzüşeceği mi açık bir soru olarak kalmaktadır.

Karanlık madde için bir çok spekülatif aday vardır. Onların çoğu kuşkusuz parçacıklardır ve sevgi dolu kuramcı–mucitler tarafından verilmiş süslü adları vardır –aksiyonlar, fotinolar. Karanlık madde için en çekici olasılıklardan biri standart model nötrinolarının bir ya da bir kaçı olmalarıdır. Bu yakalanması zor cisimlerde Büyük Patlama evresinden kalma büyük bir yoğunluğun bulunması gerekir. Eğer eğer sınırlı bir âtıl kütleleri olsaydı ideal adaylar olurlardı. Elektron nötrinosunun çok hafif olduğunu biliyoruz; geriye iki aday kalıyor ve bunlardan tau nötrinosu favori. İki nedenle: (1) o var; ve (2) onun kütlesi hakkında hemen hemen hiçbir şey bilmiyoruz.

Yakın bir geçmişte Fermilab'da tau nötrinosunun evreni kapatmaya yetecek bir kütlesi olup olmadığını araştırmak için tasarlanmış ustaca ve incelikli bir deney gerçekleştirdik. (Burada kozmolojik gereksinimler bir hızlandırıcı deneyini yönlendirmişti; parçacık – kozmoloji birliğinin bir göstergesi.)

Soğuk bir kış gecesi rüzgarın süpürdüğü Illinois bozkırında küçük bir elektronik kulübesine hapsedilmiş vardiyadaki bir mezuniyet öğrencisini hayal edin. Veriler sekiz aydan beri toplanmaktadır. Deneyin gelişimini kontrol eder ve rutin işinin bir parçası olarak verileri nötrino kütle etkisi açısından kontrol eder. (Kütleyi doğrudan ölçemezsiniz ama kütlenin bazı reaksiyonlar üzerinde bir etkisi olacaktır.)

"Bu da ne?" diye ansızın uyarılır. Ekrana inanamaz. "Aman Tanrım!" Bilgisayar kontrollerine koşar. Her şey olumludur. İşte orada –kütle! Evreni kapatmaya yetecek kadar. Bu yirmi iki yaşındaki mezuniyet öğrencisi gezegenin üzerinde 5.32 milyar *sapiens* yoldaşı arasında evrenin geleceğini bilmenin inanılmaz, nefes kesici kanıtını yaşamaktadır.

Tamam, düşünmesi hoş bir öyküydü. Mezuniyet öğrencisiyle ilgili kesimi doğru ama deney herhangi bir kütle taramayı başaramadı. Bu

özel deney sadece yeterince iyi değildi ama olabilirdi ve ...belki bir gün olacaktır: Meslektaş okur lutfen bunu senin kararsız delikanlıya *con brio*[1] oku! Ona de ki (1) deneyler bazen başarısız olur ve (2) her zaman başarısız olmazlar.

CHARLTON, GOLDA VE GUTH

Ama henüz evrenin *nasıl* düz bir evren için gerekli kritik kütleye sahip olduğunu bilmesek de onun bunu yaptığından oldukça eminiz. Neden emin olduğumuzu göreceğiz. Doğanın Tanrının evreni için seçtiği tüm kütleden (diyelim kritik kütlenin 10^{6} katı ya da 10^{-16} katı) Tanrı neredeyse düz bir şey seçmiştir. Aslında bundan da kötü. Evrenin 15 milyar yıldır iki zıt yazgıdan –ani dağılan genleşme ya da ani çatırdama– birine karşı sağ kalmış olması bir mucizedir. Bir saniye yaşındaki bir düzlüğün mükemmele yakın olduğu ortaya çıkmıştır. Eğer bir yana biraz sapmış olsaydı daha tek bir çekirdek bile oluşmadan Büyük Çatırtı olmuş olurdu; eğer sapma öbür yana doğru olsaydı evrenin genleşmesi şimdiye kadar taş gibi soğuk, ölü bir şeye gelişmiş olurdu. Yine bir mucize!

Bilimciler istediği kadar Bilge Birini, der Alte'yi dalgalanan uzun takma sakalı ve laserle yaratılmış ışıltısıyla bir Charlton Heston tipinde ya da (benim görüşümde olduğu gibi) bir Margaret Mead, Golda Meir ya da Margaret Thatcher gibi bir tanrıça tipinde görsün sözleşme açıkça doğanın yasalarının değiştirilmek için olmadığını neyseler o olduğunu söyler. Bu nedenle düzlük problemi bir mucize olmayacak kadar fazladır ve insan düzlüğü "doğal" kılacak nedenler arar. Benim mezuniyet öğrencimin nötrinoların karanlık madde olup olmadığını belirlemek için kıçını dondurmasının nedeni budur. Sonsuz genleşme ya da Büyük Çatırtı. O bilmek istiyor. Biz de öyle.

Düzlük problemi, tek düze 3 derece radyasyon problemi Büyük Patlamanın başka bir çok problemi, hiç değilse kuramsal olarak, 1980'de bir MIT parçacık kuramcısı olan Alan Guth tarafından çözüldü. Onun gelişmesi Şişen Büyük Patlama modeli olarak bilinir.

[(İt.) Keyifle –çev.]

ŞİŞME VE SKALAR PARÇACIK

Geçen 15 milyar yılın bu kısa özetinde evrenin evriminin oldukça büyük kesiminin Einstein'ın genel görelilik eşitliklerinde bulunduğundan söz etmeyi unuttum. Evren bir kez 10^{32} derece Kelvin'e soğuyunca klasik (kuantum olmayan) görelilik baskın çıkar ve sonraki olaylar gerçekten Einstein'ın kuramının sonuçlarıdır. Ne yazık ki görelilik kuramının büyük gücü usta tarafından değil onun izleyicileri tarafından keşfedildi. 1916'da Hubble ve Knubble'dan önce evren çok daha dingin, durağan bir nesne olarak düşünüldü ve Einstein ve onun kendinin ilan ettiği "en büyük gaf"ı eşitliğine eşitliğin öngördüğü genleşmeyi önlemek için bir terim ekletti. Bu kozmoloji üzerine bir kitap olmadığı için (zaten etrafta harika kozmoloji kitapları var) çoğu benim ücret düzeyimin üzerindeki kavramlara adil davranmamız biraz zor.

Guth'ın keşfettiği Einstein eşitliklerinin olanak verdiği ve kontrolsüz bir genleşme üretecek kadar muazzam patlayıcı bir kuvvet üretecek bir süreçti; evren bir protondan çok daha küçük bir büyüklükten (10^{-15} metre) 10^{-33} saniye kadar bir sürede bir golf topu büyüklüğüne şişti. Bu şişme evresi yeni bir alanın, yönsüz (skalar) bir alanın, görünümü, davranışı kokusu şeye ...Higgs'e benzeyen bir alanın etkisinde ortaya çıktı.

İşte Higgs! Astrofizikçiler Higgs diye bir şeyi tümüyle yeni bir bağlamda keşfettiler. Higgs alanının şişme dediğimiz bu garip genleşme–öncesi–evren olayını geliştirmedeki rolü nedir?

Higgs alanının kütle kavramıyla yakın ilişkisini belirtmiştik. Vahşi şişmeyi kışkırtan şey enerji içeriği çok hızlı bir genleşmeyi güdüleyecek kadar büyük bir Higgs alanının şişme öncesi evreni doldurmuş olduğu varsayımıdır. Bu nedenle "başlangıçta Higgs alanı vardı" gerçekten çok da uzak bir şey değildir. Tüm uzayda sabit olan Higgs alanı zaman içinde –fizik yasalarına uygun olarak– değişir. Bu yasalar (Einstein eşitliğine eklenmiş olarak) Yaratılış'tan sonraki 10^{-35} saniye ile 10^{-33}saniye arasındaki devasa zaman aralığını işgal eden şişme evresini doğururlar. Kuramsal kozmologlar başlangıç durumunu Higgs alanının enerji içeriği yüzünden bir "sahte boşluk" olarak tanımlarlar. Gerçek bir boşluğa nihai geçiş bu enerjiyi tümü de Başlangıcın muazzam ısısında olan parçacıklar ve radyasyon yaratmak

üzere serbest bırakır. Bunu izleyerek daha tanıdık görece dingin genleşme ve soğuma ile Büyük Patlama evresi başlar. Evren 10^{-33} yaşında onaylanmıştır. Bu evre "Bugün ben bir evrenim" diye dile getirilir.

Tüm enerjisini parçacıkların yaratılmasına yatırmış olan ve matematiği sabit tutmak, sonsuzları baskılamak ve kuvvetler ve parçacıklar halinde farklılaşmayı sürdürerek artan karmaşıklığı denetlemek üzere bir çok kez değişik kisveler altında ortaya çıkan Higgs alanı giderek bir köşeye çekilir. İşte bütün görkemiyle Tanrı Parçacığı.

Şimdi durun. Bunların hiçbirini uydurmadım. Kuramın başlatıcısı Alan Guth tümüyle farklı bir problem gibi görünen bir şeyi çözmeye çalışan genç bir parçacık fizikçisiydi: standart Büyük Patlama modeli manyetik tek kutupların –yalıtılmış tek kutupların– varlığını öngörüyordu. O zamanlar kuzey ve güney madde ve karşı madde gibi bir ilişki içindeydi. Tek kutuplar aramak parçacık avcılarının gözde bir oyunuydu ve her yeni makinenin kendi tek kutup araştırması vardı. Ama tümü de başarısız oldu. Böylece tek kutuplar onlardan muazzam sayılarda bulunması gerektiğini söyleyen saçma kozmolojik öngörülere karşın hiç değilse nadirdiler. Amatör bir kozmolog olan Guth tek kutupları elemek için Büyük Patlama kozmolojisini değiştirme yolu olarak şişme fikrine sarıldı; sonra şişme fikrini geliştirerek o kozmolojinin tüm kusurlarını çözebileceğini keşfetti. Guth daha sonra bu keşfi yapmakla ne denli şanslı olduğunu söyledi çünkü tüm öğeler biliniyordu –yaratıcı sanatta masumiyetin erdemi üzerine bir konuşma. Bir keresinde Wolfgang Pauli yaratıcılığını yitirmesinden yakınmıştı "Ach, çok şey biliyorum."

Higgs'e bu son övgüyü tamamlamak için bu hızlı şişmenin izotropi ya da nedensellik ve düzlük krizlerini nasıl çözdüğünü kısaca açıklamalıyım. Işık hızından çok daha büyük hızlarda (görelilik kuramı uzayın ne denli hızlı genleşebileceği konusunda hiçbir sınır koymaz) gerçekleşen şişme tam da gereksindiğimiz şeydir. Başlangıçta evrenin küçük bölgeleri yakın temas halindeydiler. Şişme bu bölgeleri parçalarını nedensel olarak bağlantısız bölgelere ayırarak büyük ölçüde genleştirdi. Şişmeden sonra genleşme ışık hızına göre yavaştı bu yüzden ışıkları sonunda bize ulaştıkça biz sürekli olarak evrenin yeni bölgelerini keşfediyoruz. Kozmik ses "Ah" diyor "yeniden karşılaştık." Şimdi onların tıpkı bizim gibi olmasında şaşacak hiçbir şey yok: izotropi!

Düzlük? Şişen evren açık bir durum belirtir: evren kritik kütledir; genleşme sonsuz dek yavaşlamaya devam edecek ama asla tersine dönmeyecektir. Düzlük: Einstein'ın genel görelilik kuramında her şey geometridir.Kütlenin varlığı evrenin eğrilmesine yol açar; kütle ne kadar fazlaysa eğrilik o kadar fazla olur. Düz bir evren iki zıt eğrilik biçiminin arasında kritik bir konumdur. Büyük kütle uzayın içe doğru eğriliğini yaratır; bir kürenin yüzeyi gibi.Bu çekicidir ve kapalı bir evren yaratır. Küçük kütle dışa doğru bir eğrilik üretir; bir eğerin yüzeyi gibi. Bu açık bir evrene eğilimlidir. Düzlük kritik kütleli bir evreni, içe ve dışa eğriliğin "arasında" bir konumu temsil eder. Şişme minik miktarda bir eğri uzayı öylesine muazzam bir alana gerer ki onu etkin olarak düz –çok düz– yapar. Tam düzlük, genleşme ve büzülme arasında kritik biçimde dengede duran bir evren öngörüsü karanlık maddenin belirlenmesi ve kütle yoğunluğu ölçüm sürecinin sürdürülmesiyle sınanabilir. Astrolar bunun yapılacağı yolunda bize güvence verirler.

Şişme modelinin diğer başarıları ona yaygın bir benimsenme kazandırmıştır. Örneğin, Büyük Patlama kozmolojisinin "küçük" sıkıntı kaynaklarından biri onun evrenin yumrulu yapısını –gökadaların, yıldızların ve geri kalanların– açıklamamasıdır. Nitel olarak bu yumrular tamam gibi görünür. Rastlantısal dalgalanmalarla düzgün bir plazmadan bazı maddeler kümeleşir. Fazladan hafif yerçekimsel çekim başka ıvır zıvırları da ona çeker böylece yerçekimi daha da güçlü hale gelir. Süreç devam eder ve er ya da geç bir gökadamız olur. Ama ayrıntılar eğer "rastlantısal dalgalanmalar"a bağımlıysa sürecin çok çok yavaş olduğunu gösterir o halde gökada oluşumunun tohumları şişme evresinde atılmış olsa gerekir.

Bu tohumlar üzerinde düşünen kuramcılar maddenin başlangıç dağılımında küçük (yüzde 0.1'den az) değişimler olarak düşlerler. Bu tohumlar nereden gelmiştir? Guth'un şişmesi çok çekici bir açıklama getirir. İnsanın evrenin tarihinin hayaletsi kuantum mekanik dalgalanmalarının düzensizliklere yol açtığı kuantum evresine gitmesi gerekir. Şişme bu mikroskopik dalgalanmaları gökadalarla denk bir ölçeğe büyütür. Son zamanlarda (Nisan 1992'de duyurulan) COBE uydusu tarafından yapılan farklı yönlerdeki geri plan mikrodalga ısısındaki küçük farkar üzerine gözlemler şişme senaryosuyla mükemmelen uyumludur

COBE'nin gördüğü, evrenin genç olduğu –yalnızca 300 000 yaşında– ve geri plan radyasyonunu daha az yoğun olduğu yerlerde daha sıcak, daha yoğun olduğu yerlerde daha soğuk kılan şişmenin yarattığı dağılımların damgasını taşıdığı evredir. Gözlemlenen ısı farkları böylece gökada oluşumu için gerekli tohumların varlığına deneysel kanıt sağlar. Haberlerin tüm dünyada manşet olmasına şaşmamalı. Isı farkları bir derecenin yalnızca milyonda bir kaçı kadardır ve olağandışı deneysel özen gerektirir ama ne karşılığında! İnsan homojenleşmiş yığından gökadaları, güneşleri, gezegenleri ve bizi haber veren kümeleşmelerin kanıtlarını tarayabilmişti. Coşkulu astronom George Smoot "Tanrının yüzünü görmek gibiydi." diyor.

Heinz Pagel şişme evresinin etkin biçimde bizi daha önce süregiden şeyden koparan nihai bir Babil Kulesi aygıtı olduğunu belirterek felsefi yönüne vurgu yaptı. O önceden var olan tüm yapıları germiş ve seyreltmişti. Böylece 10^{-33} saniyeden 10^{17} saniyeye (şimdi) kadar başlangıç hakkında ilginç bir öykümüz olduğu halde şu baş belası veletler hâlâ "tamam evren var ama nasıl başladı?" diye soruyorlar.

1987'de Fermilab'da bir grup astro/kozmo/kuramcı evrenin nasıl başladığını tartışmak için bir tür "Tanrının yüzü" konferansında bir araya geldi. Konferansın resmi başlığı Kuantum Kozmolojisiydi; bu adı vermemizin amacı uzmanların cahillik bölgesini paylaşmaları içindi. Hiçbir doyurucu kuantum yerçekimi yoktur ve biri bulana dek evrenin en erken anlardaki fiziksel konumuyla başa çıkmanın hiçbir yolu olmayacaktır.

Konferans listesi bu ekzotik disiplinin bir Kim Kimdir'iydi: Stephen Hawking, Murray Gell-Mann, Yakov Zeldovich, André Linde, Jim Hartle, Mike Turner, Rocky Kolb ve David Schramm bunların arasındaydı. Tartışmalar soyut, matematiksel ve çok canlıydı. Çoğu beni çok aşıyordu. En çok Stephen Hawking'in evrenin kökeni üzerine Pazar sabahı aşağı yukarı ülkenin her yerinde 16 427 kürsüden kabaca aynı konuda 16 427 vaaz verildiği saatte yaptığı özet konuşmaydı. Sadece. Sadece Hawking'in konuşması bir ses sentezleyiciden geliyor ve ona fazladan doğruluk veriyordu. Her zamanki gibi onun söyleyecek bir çok ilginç ve karmaşık şeyi vardı ama en derin düşünceyi çok basit olarak ifade etti. "Evren neyse odur çünkü neyse oydu." dedi.

Hawking, kuantum kuramının kozmolojiye uygulanmasının tam yaratılış anındaki başlangıç koşullarının özellikleri gibi bir görevi olduğunu söylüyordu. Önermesi doğanın asıl yasalarının –ki biz şimdi ilkokul üçüncü sınıfta olan bazı dahilerin formüle edeceğini umuyoruz– o zaman egemen olacağı ve sonraki evrimi çözeceğiydi. Yeni büyük kuram evrenin başlangıç koşullarının bir tanımını doğa yasalarının mükemmel bir anlayışıyla birleştirmeli böylece tüm kozmolojik olayları açıklamalıydı. Aynı zamanda 1990'ların standart modelini de bir sonuç olarak içermeliydi. Bu çıkıştan önce Süper Çarpıştırıcının verileriyle Pisa'dan beri tüm verilerin daha özlü bir özetini verecek yeni bir standart modele ulaşırsak daha da iyi. Bizim alaycı Pauli'miz bir keresinde boş bir üçgen çizmiş ve Titian'ın en güzel çalışmalarından birini kopya ettiğini söylemişti –sadece ayrıntılar yoktu. Aslında bizim "Evrenin Doğumu ve Evrimi" resmimiz birkaç fırça darbesi daha istiyor. Ama çerçeve çok güzel.

ZAMAN BAŞLAMADAN ÖNCE

Doğum öncesi evrene yeniden dönelim. Hakkında epeyce şey bildiğimiz bir evrende yaşıyoruz. Bir mastodonu bir incik kemiğinden yeniden yapılandıran bir paleontolog ya da birkaç eskil taştan çoktan ölmüş bir kenti gözünde canlandırabilen bir arkeolog gibi bize de dünyanın laboratuarlarından çıkan fizik yasaları yardım ediyor. Tek bir olaylar dizisinin, geriye doğru giderek, gözlemlenen evrenimizin fizik yasaları yoluyla başlangıca ve "önce"sine yönelteceğine inanıyoruz (her ne kadar bunu kanıtlayamasak da). başlangıcın olabilmesi için doğa yasalarının zamanın başlangıcından bile önce var olması gerekir. Bunu söyleriz, buna inanırız ama bunu kanıtlayabilir miyiz? Hayır. İyi de "zamanın başlangıcından önce" ne oluyor? Şimdi fiziği bıraktık ve felsefenin içindeyiz.

Zaman kavramı olayların ortaya çıkışına bağlıdır. Bir oluş bir zaman noktasını belirler. İki oluş bir zaman aralığını belirler. Oluşların düzenli bir dizisi –bir kalp atımı, bir sarkacın salınımı, gündoğumu/günbatımı– bir "saat" belirleyebilir. Şimdi hiçbir şeyin olmadığı bir durum hayal edin. hiçbir tik-tak yok, hiçbir öğün yok, hiçbir oluş yok. Bu steril dünyada zaman kavramı anlamsız olacaktır. Böyle bir

şey evrenin "önce"ki durumu olabilir. Büyük Olay, Büyük Patlama başka şeyler arasında zamanı da yaratmış olan görkemli bir oluştur.

Söylemek istediğim şey bir saat tanımlayamazsak zamana bir anlam kazandıramayacağımız. Bir parçacığın diyelim eski dostumuz pionun parçalanmasının kuantum fikrini göz önüne alın. Parçalanıncaya kadar pionun evreninde zamanı belirlemenin hiçbir yolu yoktur. Onunla ilgili hiçbir şey değişmez. Eğer bir şeyler anlıyorsak kendi kişisel Büyük Patlama versiyonunda parçalanana dek yapısı aynıdır ve değişmez. Bir *homo sapiens*'in parçalanmasına ilişkin insani deneyimimiz bunun tersidir. İnanın bana parçalanmanın ilerlemekte hattâ kaçınılmaz olduğunun pek çok işareti vardır. Ancak kuantum dünyasında "Pion ne zaman parçalanacak?" ya da "Büyük Patlama ne zaman oldu?" sorularının hiçbir anlamı yoktur. Öte yandan "Büyük Patlama ne kadar önce oldu?" sorusunu sorabiliriz.

Büyük Patlama öncesi evreni gözümüzde canlandırmaya çalışabiliriz: zamansız, özelliksiz ama düşlenemeyen bir biçimde fizik yasalarının ayırdında. Bu, evrene, kötü yazgılı bir pion gibi, patlama, değişme, bir geçişe uğrama, bir durum değişikliği gibi sınırlı olasılıklar verir. Burada kitabın başındaki mecazı geliştirebiliriz. En Başlangıçtaki evreni yine göklere uzanan bir tepenin üzerindeki muazzam bir kayaya benzetelim ama bu kez bir çukurun içinde bulunsun. Klasik fiziğe göre bu ona kararlılık verecektir. Ancak kuantum fiziği tünellemeye – 5.Bölümde incelediğimiz garip sonuçlardan biri– izin verir ve ilk olay kayanın çukurun dışında ortaya çıkmasıdır ve hoop tepenin kenarına gider ve potansiyel enerjisini serbest bırakıp bildiğimiz biçimde evreni yaratarak yuvarlanır. Çok spekülatif modellerde bizim çok sevgili Higgs alanımız mecazi tepenin rolünü oynar.

Evreni geriye başlangıca döndürdüğümüzde uzayın ve zamanın kayboluşunu gözünde canlandırmak rahatlatıcıdır. Uzay ve zaman olarak olup bitenlerin sıfıra doğru yönelmesi evreni açıklamak için kullandığımız eşitliklerin yıkılması ve anlamsızlaşması demektir. Bu noktada fiziğin dışına düşeriz. Belki de bu tam uzay ve zamanın anlamını yitirmesi gibidir; bu bize kavramın yok olmasının yumuşakça olabilme olasılığını verir. Geriye ne kalır? Geriye kalan fizik yasaları olsa gerek.

Uzay, zaman ve başlangıçla ilgili zarif yeni kuramlarla uğraşırken açık bir engellenme ortaya çıkar. Bilimin neredeyse tüm öteki dönemlerinin –1500'lerden beri kesinlikle– tersine deneylerin ve gözlemlerin en azından önümüzdeki birkaç günde yardımcı olmasının hiç yolu yok gibi görünmektedir. Aristoteles'in zamanında bile insan bir atın ağzındaki diş sayısı üzerine tartışabilmek için (riske girip) bir atın ağzındaki dişleri sayabilirdi. Şimdi meslektaşlarımız yalnızca bir parça veri bulunan bir konu üzerinde tartışıyorlar: evrenin varoluşu. Bu da kuşkusuz bizi kitabımızın garip alt başlığına götürüyor: evren yanıttır ama allahın belası soruyu bilmiyoruz.

YUNANLININ DÖNÜŞÜ

Yaklaşık sabahın 5'iydi. 9.Bölümün son sayfaları üzerinde şekerleme yapıyordum. Teslim tarihim (çoktan) geçmişti ve hiçbir esinim yoktu. Ansızın dışarıda Batavia'daki eski çiftlik evimizin dışında bir kargaşa işittim. Ahırdaki atlar dönenip tepiniyorlardı. Dışarı çıktım ve bir harmaniyeye sarınmış ayağında yepyeni bir çift sandalla ahırdan çıkan adamı gördüm.

LEDERMAN: Democritus! Burada ne yapıyorsun?

DEMOCRITUS: Sen bunlara at mı diyorsun? Abdera'da yetiştirdiğim Mısırlı araba atlarını görecektin. En küçüğü 1.70 metre boyunda. Onlar *uçabilirlerdi.*

LEDERMAN: Evet, pekala, nasılsın?

DEMOCRITUS: Bir saatin var mı? Tahran'da 12 Ocak 2020'de açılan Uyanma Alanı Hızlandırıcısının kontrol odasına davet edildim.

LEDERMAN: Yihhu! Ben de gelebilir miyim?

DEMOCRITUS: Uslu durursan tabii. İşte elimi tut ve Πλανχκ Κυτλεσι [Planck kütlesi] de.

LEDERMAN: Πλανχκ Κυτλεσι.

DEMOCRITUS: Daha yüksek sesle!

LEDERMAN: Πλανχκ Κυτλεσι!

Ansızın beklediğimden –Uzay Gemisi *Atılgan*'ın komuta güvertesi– tümüyle farklı şaşırtıcı derecede küçük bir odadaydık. Çok keskin görüntüleri olan (yüksek çözünümlü TV) birkaç çok renkli ekran vardı. Ama osiloskop ve gösterge rafları gitmişti. Bir köşede bir grup genç erkek ve kadın canlı bir tartışma içindeydiler. Yanımda duran bir teknisyen el büyüklüğünde bir kutunun düğmelerine basıyor ve ekranlardan birine bakıyordu. Bir başka teknisyen bir mikrofona Farsça konuşuyordu.

LEDERMAN: Neden Tahran?

DEMOCRITUS: Oh, dünya barışından birkaç yıl sonra BM Yeni Dünya Hızlandırıcısını dünyanın eskil bir yol kavşağına inşa etmeyi kararlaştırdı. Buradaki hükümet en istikrarlılarından biri ve onlar ayrıca iyi jeoloji, ucuz güç önceliği, su ve vasıflı işgücü açısından en iyi örnek, ayrıca Abdera'nın güneyinde en iyi şiş kebap da burada.

LEDERMAN: Neler oluyor?

DEMOCRITUS: Makine 500 TeV'luk protonları 500 TeV'luk antiprotonlarla çarpıştırıyor. 2005'den, Süper Çarpıştırıcı 422 GeV kütlede Higgs'i keşfettiğinden bu yana daha başka Higgs türleri de var mı diye "Higgs sektörü"nü araştırmak acil bir gereksinim oldu.

LEDERMAN: Higgs'i buldular mı?

DEMOCRITUS: Bir tanesini. Tüm bir Higgs'ler ailesi olduğunu düşünüyorlar.

LEDERMAN: Başka?

DEMOCRITUS: Ah, allah cezasını versin evet. Anında gelen veriler altı püskürme ve sekiz elektron çiftiyle o çılgın olayı gösterdiğinde burada olmalıydın. Şimdiye kadar bir çok squarkları, gluinoları ve de fotinoları oldu...

LEDERMAN: Süpersimetri ha?

DEMOCRITUS: Evet, makinenin enerjisi 20 TeV'un üstüne çıkar çıkmaz bu küçük arkadaşlar döküldü.

Democritus ağır aksanlı bir Farsçayla birilerini çağırdı ve hemen elimize dumanı tüten taze yak sütü maşrapaları tutuşturuldu. Olayları görmek için bir görüntüleme ekranı istediğimde birisi başıma bir sanal gerçeklik kaskı geçirdi ve Tanrı bilir ne tür bir bilgisayarın verilerinden oluşturulmuş olaylar gözlerimin önünde parıldamaya başladı. Bu 2020 fizikçilerinin (benim zamanımın ana okulu çocukları) hâlâ bilgiyi resimselleştirme açısından mama çocuğu evresinde olduğunu fark ettim. Olağanüstü Afro saçlarıyla uzun, genç bir siyah kadın elinde bir bilgisayar defterine benzer bir şeyle salına salına üzerimize geldi. Democritus'a aldırmayarak bana biraz eğlenerek baktı. "Blucin, tıpkı dedemin giydikleri gibi. Bu giysiyle BM genel kurmayından olmalısınız. Bizi denetliyor musunuz?"

"Hayır" dedim. "Ben Fermilab'danım ve birkaç yıldır işin dışındaydım. Neler olup bitiyor?"

Bir sonraki saat sinirsel şebekeler, jet algoritmaları, tepe quarkı ve Higgs kalibrasyon noktası, boşluğa yerleştirilmiş elmas yarı iletkenler, femtobitler ve daha kötüsü –yirmi beş yıllık deneysel gelişmeler– üzerine akıl karıştırıcı bir açıklamalar bulanıklığı içinde geçti. Kadın Michigan'dandı, saygın Detroit Bilim Lisesinden. Kocası Kazakistan'lı bir doktoralı asistan Quito Üniversietesinde çalışıyordu. Makinenin yalnızca yüz altmış kilometre yarıçapında olduğunu bu ılımlı ölçünün 1997'de oda ısısı süper iletkenlerinin bulunması sayesinde olduğunu açıkladı. Adı Mercedes'di.

MERCEDES: Eveet, Süper Çarpıştırıcı R&D grubu bazı nyobium alaşımlarındaki garip etkiler üzerine çalışırken bu yeni malzemelere kaydılar. Bir şey bir başkasına yöneltti ve ansızın 50 derece Fahrenheit'ta, yaklaşık serin bir Sonbahar günü ısısında süperiletken olmaya başlayan bu kutsanmış malzememiz oldu.

LEDERMAN: Kritik alan ne?

MERCEDES: Elli tesla. Eğer tarih bilgim doğruysa sizin Fermilab makinesi dört tesladaydı. Bugün bu zımbırtıyı yapan ya da geliştiren yirmi beş şirket var. FY 2019'da ekonomik etkisi üç yüz milyar dolar.

New York'la Los Angeles arasında kayan süper tren saatte üç bin beş yüz kilometre yapıyor. Bu yeni nesneyle enerji verilmiş muazzam çelik yünleri şimdi dünyanın çoğu kentlerine saf su sağlıyor. Her hafta yeni bir uygulama okuyoruz.

O zamana kadar sessizce oturan Democritus ana soruya daldı.

DEMOCRITUS: Quarkların içinde bir şey gördünüz mü?

MERCEDES: [Başını sallayıp gülümseyerek] Bu benim Ph.D. tezimdi. En iyi ölçüm son Süper Çarpıştırıcı deneyinden geldi. Quarkın yarıçapı inanılmaz derecede küçük olan 10^{-21} santimetredir. Söyleyebildiğimiz kadarıyla quarklar ve leptonlar noktalara olabildiğince yakındırlar.

DEMOCRITUS: [zıp zıp zıplayarak, ellerini çırpıp histerik kahkahalar atarak] Atomos! Sonunda!

LEDERMAN: herhangi bir sürpriz var mı?

MERCEDES: Eh, Susy ve Higgs'le CUNY'den genç bir kuramcı –Pedro Monteagudo adlı biri– tüm quarkların ve leptonların Higgs tarafından üretilmiş kütlelerini başarıyla tahmin eden yeni bir Susy-BTK eşitliği yazmıştı. Tıpkı Bohr'un hidrojen atomu içindeki enerji düzeylerini açıklaması gibi.

LEDERMAN: Yihhu! Sahi mi?

MERCEDES: Evvet, Monteagudo eşitliği Dirac, Schrödinger ve batıdaki tüm noktalardan alınmıştır. T-şörtüme bakın.

Sanki böyle bir çağrı bekliyorduın. Ama orada sergilenmiş garip hiyerogliflere odaklanırken bulanık, deprem gibi bir baş dönmesi hissettim ve her şey kayboldu.

"Bok." Evdeydim, bitkince başımı kağıtlarımdan kaldırıyordum. Bir gazete fotokopisindeki başlığı fark ettim: SÜPER ÇARPIŞTIRICI

İÇİN KONGRE FONU TEHLİKEDE. Bilgisayarımın modemi bipliyordu ve bir e-mail mesajı SSÇ üzerine bir senato toplantısı için beni Washington'a "davet ediyor"du.

HOŞÇA KAL

Sen ve ben sevgili meslektaşım Milet'ten bu yana uzun bir yol aldık. Bilimin yolunu o zaman ve oradan şimdi ve buraya kadar kat ettik. Ne yazık ki bazı büyük ya da küçük köşe taşlarından biraz hızlı geçtik. Ama önemli manzaraların bir kaçında durduk: Newton ve Faraday, Dalton ve Rutherford ve kuşkusuz bir hamburger için McDonald'da. İç ve dış uzay arasında yeni bir koşutluk gördük ve ormanlık, kıvrıntılı bir yoldaki bir sürücü gibi göklere yükselen gösterişli bir yapının ağaçların ve sisin örttüğü anlık görüntülerini de yakaladık: 2500 yıldır inşa edilen zihinsel bir yapı.

Yol boyunca bilimciler hakkında bazı saygın olmayan ayrıntılar da yerleştirmeye çalıştım. Bilimle bilimcileri ayırt etmek için bu önemliydi. Bilimciler çok sık olarak insandırlar ve insanları böylesine böylesine ilginç kılan muazzam değişkenlik yelpazesinin içindedirler. Bilimciler huzurlu ve hırslıdırlar; merak ve ego tarafından güdülenirler; meleksi bir erdem ve uçsuz bucaksız bir aç gözlülük sergilerler; ölçü ötesinde zekidirler ve bunamalarına doğru çocuksu olurlar; gergin, takıntılı, sırt üstü yatan. Bilimciler denen insan alt kümesinde ateistler, agnostikler, militanca duyarsızlar, derinlemesine dindarlar ve Yaratıcı'yı ya her şeyi bilen ya da *Oz Büyücüsü*'ndeki Frank Morgan gibi bir biçimde homurdanan kişisel bir tanrı olarak görenler bulunur.

Bilimcilerin yeteneklerinin dağılımı da çok büyüktür. Bu iyi çünkü bilim usta mimarlar kadar çimento karıcılarına da gereksinir. Aramızda dehşet veren güçte zekaları olanları, yalnızca canavarca zeki olanları, büyülü elleri, tekinsiz sezgileri olanları ve de tüm bilimsel yakıştırmaların en hayati olanına, şansa, sahip olanları sayabiliriz. Ayrıca kazmalarımız, eşeklerimiz ve yalnızca aptal olanlarımız da vardır...*aptal!*

Bir keresinde annem "Siz ötekilere göre demek istiyorsun" diye itiraz etmişti.

"Hayır anne, aptal, herhangi bir aptal gibi aptal."

"O zaman nasıl oldu da bir Ph.D. aldı." diye sürdürdü.

"Sitzfleisch, anne." Sitzfleisch: bir işin başında onu tekrar tekrar yaparak iş bir biçimde tamamlanıncaya kadar oturabilme yeteneği. Ph.D.'leri verenler de insandır –er geç teslim olurlar.

Şimdi eğer bu bilimci dediğimiz insanoğullarının herhangi bir birleştiricisi varsa o, her birimizin şu zihinsel yapıya, bizim bilimimize, katkımızı yaparkenki saygı ve gururumuzdur. Özenle yerleştirilmiş ve yerine çimentolanmış bir tuğla olabilir ya da (mecazı vurgulamak gerekirse) ustalarımız tarafından yerine yerleştirilmiş bir lento. Korku ve merakla karışık bir saygıyla inşa ederiz, yoğun biçimde kuşkuculukla renklenmiş olarak, ulaştığımızda bulduğumuz şey tarafından yönlendirilerek, tüm insan farklılıklarımızı taşıyarak, bu çabaya her yönden gelerek, her birimiz kendi kültürel giysisini ve dilini getirerek ama bir biçimde ani iletişimler, ani anlayışlar ve bilim kulesini inşa etme ortak görevinde empati bularak.

Seni gerçek yaşamına geri gönderme zamanı geldi. Üç yıldır bu anın gelmesi için can atıyordum. Şimdiyse itiraf edeyim ki sen meslektaş okuru özleyeceğim. Sen benim uçaklarda, çok sessiz gece geç vakit yazma seanslarımda sürekli yoldaşımdın. Seni gözümde emekli tarih öğretmeni, at yarışı muhasebecisi, kolej öğrencisi, şarap tüccarı, motosiklet tamircisi, lise iki öğrencisi ve eğlenmek istediğim zaman da saçlarımı okşamak isteyecek inanılmaz güzellikte bir kontes olarak düşündüm. Bir okurun bir romanı bitirirken kahramanları arkasında bırakmaya isteksiz olduğu gibi seni özleyeceğim.

FİZİĞİN SONU MU?

Gitmeden önce şu nihai T-şört meselesi üzerine söyleyecek bir şeylerim var. Tanrı Parçacığının anlaşılmasının nihai bir ifşaat sağlayacağı izlenimini vermiş olabilirim: evren nasıl çalışır. Bu gerçekten derin düşünürlerin, gerçekten derin düşünsünler diye para ödenen parçacık kuramcılarının alanı. Bazıları indirgemecilik Yolunun sonuna geleceğine inanır; temel olarak tümünü biliyor olacağız. Bilim ondan

sonra karmaşıklık üzerine yoğunlaşacaktır: süper sıçrayan toplar, virüsler, sabah trafiği sıkışıklığı, nefret ve şiddetin tedavisi hep iyi şeyler.

Başka bir görüş vardır –biz uçsuz bucaksız bir okyanusun kıyısında oynayan çocuklar gibiyiz (Bentley Glass'ın mecazı). Bu görüş gerçekten sonsuz bir cepheye olanak verir. Tanrı Parçacığının arkasında muhteşem, kör edici bir güzellik vardır ama bizim zihin gözümüzün uyum yapacağı bir güzellik. Kısa sürede tüm yanıtları elde etmediğimizi algılayacağız; elektronun, quarkın ve kara deliğin içinde ne olduğu bizi yine de kendine çekecek.

Sanırım ben iyimserleri (yoksa onlar iş güvenliğini terk eden karamsarlar mı?) "her şeyi" bileceğimize inanan kuramcıları destekliyorum ama içimdeki deneyci zorunlu kibiri davet etmekten beni alıkoyuyor. Oz'a, Planck kütlesine, şu Olay'dan 10^{-40} saniyeden daha az sonrasına giden yol, Milet'ten Waxahachie'ye kadarki tüm yolculuğumuzu Winnebago gölü üzerinde bir eğlence gezisine dönüştürüyor. Sanırım yalnızca güneş sistemini saran hızlandırıcıların ve tarayıcı binalarının denkleşmesi, yalnızca benim ve onların öğrencilerinin milyarlarca ve milyarlarca uyku saatinin kaybolması için değil eğer bu araştırma sürerse toplumumuzun davet edeceği gerekli iyimserlik duygusu için de endişe ediyorum.

Onyıl içinde gerçekten daha iyi bildiğimiz ve bileceğimiz şey SSÇ'nın enerjisiyle ölçülebilir: 40 trilyon volt. Ama bizim gelecekteki SSÇ çarpışmalarımızın yumuşak başlı kalacağı derecede yüksek enerjilerde de önemli şeyler olması gerekir. Tam anlamıyla sürprizler için hâlâ sınırsız olasılıklar var. Yeni doğa yasaları altında çalışmak bugün bize, kuantum kuramının (ya da sezyum atom saatinin) Galileo'ya geldiği kadar düşlenemez geliyor; quarkların içinde eskil uygarlıklar bulabiliriz. Aman ha! Beyaz gömlekliler gelmeden sıkça ortaya çıkan başka bir soruya geçeyim.

Başka yönlerden uzman bilimcilerin tarih derslerini yani toplumun üzerine büyük vurgu yapmış bilim hamlelerinin her zaman a-tom araştırmasını güdüleyen türde araştırmalardan çıktığını nasıl olup da unuttuklarına şaşıyorum. Genetik mühendisliği, madde bilimi ya da konrollü füzyondan hiçbir şey almadan a-tom araştırması kendini

milyon kere ödemiştir ve bunun değişeceğine ilişkin hiçbir işaret de yok. Endüstrj toplumlarının bütçelerinin yüzde birinden azının soyut araştırmaya yatırılması üç yüz yılda Dow Jones endeksi ortalamasından daha iyisini başarmıştır. Hâlâ zaman zaman bilimi toplumun *acil* gereksinimlerine odaklamak isteyen huzursuz politika yapıcıları tarafından yıldırılıyoruz; onlar teknolojide insan yaşamını nitel ve nicel olarak etkileyen büyük gelişmelerin çoğunun katıksız, soyut, merakla güdülenmiş araştırmalardan geldiğini unutuyorlar ya da hiçbir zaman anlamıyorlar. Amin.

ZORUNLU TANRI BİTİRİŞİ

Bu kitabı nasıl bitireceğim konusunda esin ararken birkaç düzine genel okur için yazılmış bilim kitabının bitişini inceledim. Her zaman felsefiydiler ve Yaratıcı hemen daima yazarın favori imgesi ya da yazarın favori yazarının imgesi halinde ortaya çıkıyordu. Popüler bilim kitaplarında iki tür kapanış özeti fark ettim. Bir tür alçakgönüllülükle niteleniyordu. İnsanoğlunun değerini alçaltmak genellikle okura bir çok kez merkezilikten uzaklaştırıldığımızı anımsatmakla başlar: gezegenimiz güneş sisteminin merkezi değildir; güneş sistemi de gökadamızın merkezi değildir ve de gökadamızda özel hiçbir şey yoktur. Eğer bu bir Harvard mezununun bile cesaretini kıramıyorsa bizim ve çevremizdeki şeylerin yapıldığı ve ibaret olduğu maddenin tam da evrendeki temel maddenin yalnızca küçük bir örneğinden başka bir şey olmadığını öğreniriz. Sonra bu yazarlar insan türünün ve onun tüm kurumlarının ve anıtlarının bu kozmosun evriminin pek az umurunda olduğunu belirtirler. Bu alçakgönüllülük yaklaşımının üstadı Bertrand Russel olabilir:

> Özetle bu Bilimin inançlarımız için var olduğu ama daha amaçsız bir dünyadır. Böyle bir dünyanın ortasında ülkülerimiz bundan böyle kendine, eğer varsa bir yurt bulmalıdır. İnsanın ulaşmakta oldukları son hakkında hiçbir öngörüşleri olmayan nedenlerin sonucu olduğu; kökeninin, gelişiminin, umutlarının ve korkularının, sevgilerinin ve inançlarının atomların kazara düzenlenmesinden başka bir şeyin sonucu olmadığı; ne ateşin, ne kahramanlığın,

ne düşünce ve duygu yoğunluğunun insan yaşamını mezardan öteye koruyamadığı; yılların tüm emeğinin, tüm adanmışlıkların, tüm esinlenmelerin, insan dehasının tüm gün ortası parlaklığının güneş sisteminin kapsamlı ölümünde tükenmeye yazgılı olduğu ve İnsan'ın başarılarının tüm mabedinin bir evrenin kalıntılarının harabesine gömülmek zorunda olduğu –tüm bunlar tartışma ötesi değilse bile kesin olmaya öylesine yakındır ki onları reddeden hiçbir felsefe kalıcı olmayı umut edemez. Yalnızca bu hakikatlerin iskelesi içinde, yalnızca boyun eğmez umutsuzluğun sağlam kaynağı üzerinde ruhun konutu ondan sonra sağlamca inşa edilebilir.

İnsanın yaşamı kısa ve güçsüzdür; yavaş, kesin yazgı onun ve tüm ırkının üzerine acımasızca çöker ve karanlık...

Buna yumuşakça Vay! derim. Adamın bir amacı var. Steven Weinberg bunu çok daha kısaca söyler: "Evren ne kadar kavranabilir görünürse o denli amaçsız görünür." Şimdi biz kesinlikle alçakgönüllüyüz.

Yolun tümünü ters yönde giden, evreni anlama çabasını hiç de alçakgönüllülükle değil coşturucu bir şey olarak görenler de vardır. Bu grup "Tanrının aklını bilmeyi" özler ve böyle yapmakla bizim tüm sürecin bir parçası haline geldiğimizi söyler. Heyecanla evrenin merkezinde hakkımız olan yeri geri alırız. Bu türden bazı filozoflar dünyanın insan zihninin yapılarının bir ürünü olduğunu söyleyecek kadar ileri giderler; biraz daha ılımlı olan diğerleri aklımızın varlığı hattâ sıradan bir gezegenin sonsuz küçük noktası üzerinde bile Büyük Planın hayati bir parçası olmalıdır derler. Buna da diyeceğim şey bu kez çok yumuşak bir sesle gereksinilmenin hoş olduğu.

Ama ben iki yaklaşımın bir bileşimini yeğliyorum ve eğer Tanrıyı buralarda bir yerde işleyeceksek bizi onun bu kadar çok anımsanmaya değer imgesini vermiş olan insanları çağıralım. Öyleyse işte Hollywood'un bu kitaptan güzel uyarlamasının son sahnesi için senaryo. Kahraman Astrofizik Topluluğu başkanı, şimdiye dek üç Nobel Ödülü kazanmış tek kişi. Geceleyin kumsalda bacaklarını iyice açmış dikiliyor, yumruğunu gökyüzünün mücevhersi siyahlığına sallıyor.

İnsanlığıyla yağlanmış, insanoğlunun en güçlü başarılarından haberdar olarak çatlayan dalgaların sesinin üzerinden evrene bağırır. "Seni ben yarattım. Sen benim aklımın ürünüsün –benim ileri görüşümün ve benim keşfimin. Seni mantıkla, amaçla, güzellikle donatan benim. Seni ortaya çıkaran benim bilincim ve benim yapılarım olmasa ne işe yarardın."

Gökte soluk girdap gibi dönen bir ışık ortaya çıkar ve bir ışıma ışını kumsaldaki adamı aydınlatır. Bach'ın B minör Ayin'inin ağır ve doruksu akorlarıyla ya da belki de Stravinsky'nin "Ritüeller"inin piccolo solosuyla gökteki ışık yavaşça kendini gülümseyen ama sonsuz tatlı bir hüzün ifadesiyle Tanrının Yüzüne dönüştürür.

Kararma. Tanıtma yazıları geçer.

TEŞEKKÜRLER

Anayasaya bir yazarın teşekkürlerine elyazmasını daktilo ettiği için karısına teşekkürünü eklemesini yasaklayan bir madde önerenin Anthony Burgess olduğuna inanıyoruz (yoksa Burgess Meredith miydi?) Karılarımız daktilo etmedi bu yüzden burada bundan kurtuluyorsunuz. Yine de edilecek teşekkürler var.

Bir kuramcı ve bir kozmolog olan Michael Turner kuramdaki ince (ve bazı pek de o kadar ince olmayan) hatâlar açısından el yazmasını elden geçirdi; bir sürü hatâ buldu; onları düzeltti ve bize geri gönderdi. Kitabın deneysel temeli bilinince sanki Martin Luther Papadan doksan beş tezini tashih etmesini istermiş gibi oluyordu. Mike, kalan hatalar varsa yayıncıları suçla.

Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarı (ve onun Washington'daki aziz patronu A.B.D. Enerji Departmanı) pek çok esinlenme sağladı ama hiçbir mekanik desteği olmadı.

Amherst Koleji kütüphanecisi Willis Bridegam Robert Frost kütüphanesinden özel kaynaklar sağladı ve Beş Kolej sistemine ulaşmamıza olanak verdi. Karen Fox yaratıcı araştırma sağladı.

Elyazması editörümüz Pep Anderson'un konuyla çok fazla karışıklığa düştüğünden, bu yüzden doğru sorular sorduğundan ve böyle yaparak da savaş alanı komisyonundan fizikte bir şeref M.S.'i kazandığından kuşkulanıyoruz.

Omni'nin eşsiz mülâkat editörü Kathleen Stein kitabın mikrobunun (yoksa o bir virüs müydü?) sıçradığı mülakatı kararlaştırdı.

Lynn Nesbit projeye bizden daha bağlıydı.

Ve editörümüz, John Sterling her şey için ter döktü. Ne zaman ılık bir banyoya otursa bizi düşündüğünü ve uygun bir şeyler haykırdığını umuyoruz.

Leon M.Lederman
Dick Teresi

TARİH VE KAYNAKLAR ÜZERİNE BİR NOT

Bilimciler tarih hakkında konuştuğunda insan uyanık olmalı. O, profesyonel, okullu bir bilim tarihçisinin yazdığı gibi olmayacaktır. Ona "sahte tarih" denebilir. Fizikçi Richard Feynman ona geleneksel-leştirilmiş mit-tarih der. Neden? Bilimciler (ve de bu bilimci kesinlikle) tarihi pedagojinin bir kesimi olarak kullanır. "Görüyor musun işte bilimsel olayların bir dizisi. Önce Galileo vardı, sonra Newton ve şu elma..." Kuşkusuz işler böyle olup bitmemiştir. Yardım eden ve engelleyen bir yığın başka insan vardır. Bilimde yeni bir kavramın evrimi muazzam derecede karmaşık olabilir –hattâ fakslardan önceki günlerde bile. Bir tüy kalem pek çok hasar yapabilir.

Newton'un zamanında yayınlanmış makalelerden, kitaplardan, yazışmalardan, konferanslardan yoğun bir literatür vardı. Öncelik savaşları (bir keşfi önce yapma onurunu kim elde edecek) Newton'dan çok öncelere kadar gider. Tarihçiler tüm bunları atar ve insanlar ve kavramlar hakkında kapsamlı ve zengin bir literatür yaratırlar. Ancak anlatı açısından mit-tarih gerçek hayatın gürültüsünü filtrelemede büyük bir erdeme sahiptir.

Kaynaklara gelince insan elli yıl boyunca fizikte çalışarak edindiği bilgiyi özetlediğinde her olgunun, alıntının ya da bilgi parçasının kesin kaynağını netleştirmesi zordur. Aslında bilimde en iyi öykülerin hiçbir kaynağı olmayabilir ama onlar bilimcilerin kolektif bilinçlerinin öylesine bir parçası haline gelirler ki ister gerçekleşmiş olsunlar isterse olmasınlar "doğru"durlar. Yine de bazı kitaplara baktık ve okurun yararı için işte iyilerden bazıları. Bu hiçbir biçimde tam bir liste değildir; aşağıdaki yayınların değinilen bilginin özgün ya da en iyi kaynakları olduğunu da ima etmiyoruz. Onları hiçbir özel diziye göre sıralamadık; bir deneycinin kaprisi hariç...

Newton'un bir çok yaşamöyküsünden yararlandım, özellikle John Maynard Keynes versiyonundan ve Richard Westfall'un *Never at Rest*'inden [Asla Dinlenme Yok] (Cambridge: Cambridge University

Press, 1981). Abraham Pais'in *Inward Bound: Of Matter and Forces in the Physical World*'ü [İçe Yönelik Bağlantı: Fizik Dünyada Madde ve Kuvvetler](New York: Oxford University Press, 1986) Sir William Dampier'in klasik *A History of Science*'ı [Bilimin Bir Tarihi] (Cambridge: Cambridge University Press, 1984) gibi değerli bir kaynaktı. Son zamanlardaki yaşamöyküleri Walter Moore'un *Schrödinger: Life and Thought* [Schrödinger: Yaşamı ve Düşüncesi] (Cambridge: Cambridge University Press, 1989) ve David Cassidy'nin *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg*'i [Kesinsizlik: Werner Heisenberg'in Yaşamı ve Bilimi] (New York: W.H.Freeman, 1991) John Allyne Gade'in *The Life and Times of Tycho Brahe*'si [Tycho Brahe'nin Yaşamı ve Dönemi] (Princeton University Press, 1947), Stillman Drake'in *Galileo at Work: His Scientific Biography*'si [Galileo Çalışıyor: Onun Bilimsel Yaşamöyküsü] (Chicago: University of Chicago Press, 1978) Pietro Redondi'nin *Galileo Heretic*'i [Başkaldıran Galileo] (Princeton: Princeton University Press, 1987) ve Emilio Segré'nin *Enrico Fermi, Physicist*'i [Enrico Fermi, Fizikçi] kadar büyük yardım sağladı. Heinz Pagels'e iki kitabı için şükran borçluyuz: *The Cosmic Code* [Kozmik Yasa] (New York: Simon & Schuster, 1982) ve *Perfect Symmetry* [Mükemmel Simetri] (New York: Simon & Schuster, 1985) ve Paul Davies'e de *Superforce* [Süper Kuvvet](New York: Simon & Schuster, 1984) için.

Bazı kitaplar öyküler, alıntılar ve başka değerli bilgiler sağladı -en belirgin olarak Philip J.Hilts'in *Scientific Temperaments*'i [Bilimsel Mizaçlar] (New York: Simon & Schuster, 1982) ve Robert P.Crease ile Charles C.Mann'ın *The Second Creation: Makers of the Revolution in Twentieth-Century Physics*'i [İkinci Yaratı: Yirminci Yüzyıl Fiziğinde Devrim Yapanlar] (New York: Macmillan, 1986)

En Başlangıç senaryosu, metinde söz edildiği gibi, fizikten çok felsefedir. Chicago Üniversitesi kuramcı/kozmologu Michael Turner bunun akla yakın bir tahmin olduğunu söyler. Charles C.Mann kayda değer 137 sayısı için *Onni* dergisindeki nedense "137" başlıklı yazısında bazı hoş ayrıntılar sağladı. Democritus, Leucippus, Empedocles ve diğer Sokrates öncesi filozofların inançları için bir çok kaynağa baş vurduk: Bertrand Russell'in *A History of Western*

Philosophy [Batı Felsefesi Tarihi] (New York: Touchstone, 1972); W.K.C. Guthrie'nin *The Greek Philosophers: From Thales to Aristotle* [Yunan Filozofları: Thales'ten Aristo'ya] (New York: Harpers& Brothers, 1960) ve *A History of Greek Philosophy* [Yunan Felsefesi Tarihi] (Cambridge: Cambridge University Press, 1978); Frederick Coplestone'un *A History of Philosophy: Greece & Rome* [Felsefe Tarihi: Yunan ve Roma] (New York: Doubleday, 1960) ve W.H.Auden'in editörlüğünü yaptığı *The Portable Greek Reader* [Taşınabilir Yunnca Okuru] (Viking Press, 1948).

Charles C.Gillispie'nin editörlüğünü yaptığı *The Dictionary of Scientific Biography*'de [Bilimsel Yaşamöyküsü Sözlüğü] (New York: Scribner's, 1981) bir çok tarih ve ayrıntıyı kontrol ettik, insana kütüphanede de pek çok değerli saat geçirtecek çok ciltli bir dizi.

Karışık kaynaklar arasında bir dizi makale olan Johann Kepler (Baltimore: Williams & Wilkins, 1931) ve Alan J.Rocke'un *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*'si [Ondokuzuncu Yüzyıl Kimyasal Atomculuğu] (Columbus: Ohio State University Press, 1984) var. Bertrand Russell'ın 9.Bölümdeki kasvetli alıntısı *A Free Man's Worship*'den [Özgür Bir İnsanın Tapınması] (1923) alındı.

Dizin

Abdera, 32, 58
Hızlandırıcıları, parçacık, 5, 200-201, 203-12, 225, 231
için kısaltmalar, 240
ve evrenin doğumu, 253-54, 388
ve katedraller, 254-55
için tarayıcılar, 355-57
bulut odası, 246-47
CERN'de W araştırması için, 354
Fermilab'da, 248-58
kabarcık odası, 246-47, 252
kıvılcım odası, 291
orantılı tel odası, 248
parıltı sayaçları, 247-48
ve J/psi keşfi, 314, 315-16
-nın enerji düzeyleri, 201-3, 205, 208, 230, 253
var olan laboratuarlar, 226
Fermilab'da, 26-27, 205, 218-19, 231, 235-37, 242 (Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarına da *bkz.*)
1990'ların –ı, 324
dünya çevresinde yörüngede, 255
parçacık fabrikası olarak, 358
ve yüksek voltaj yarışı, 212-14
-ndan sonuçlar, 274-75
pionlar, 250
saçma, 251
yeni parçacıkların üretimi, 251-53
-nda boyut kaygıları, 232
için teknik buluşlar
faz kararlılığı, 228-29
güçlü odaklama, 229-31
süper iletkenlik, 233-34, 236, 380
kaskat hızlandırma, 232
türleri
elektron/pozitron proton karşılaştırması, 238, 311
ışın çarpıştırıcısı, 239-44
siklotron, 214-18, 221, 230
sinkrosiklotron, 219-22
sinkrotron, 217-19, 229-31
için boşluk tüpü, 212-13
ve Van de Graaf üreteci, 213
(Özel hızlandırıcılar ve yerlerine de bkz.)
Uzaktan etki, 125
problem olarak, 101, 103, 277
ve alanlar (Kuvvet alanlarına da *bkz.*), 126
ve elektromanyetik dalgalar, 129
ve EPR düşünce deneyi, 187-88
Eter, 37, 101, 129-30, 133-34, 374
Ahab (*Moby Dick*), 366
Alfa (1/137), 28, 29, 163
Alfa parçacıkları, 153-54, 155, 200, 203, 220-21, 251, 334
Ampère, André, 14, 117, 120-21, 122-23
Anaximander, 36-38, 60
Anaximenes, 38-39, 40
Anderson, Carl, 174, 240, 244, 275
Açısal dağılım, 251
Yok olma, parçacık çarpışmasında, 210-11
Antikaon, nötr, 301
Antileptonlar, 52
Karşı madde, 37, 174-75, 211, 286, 392
Antimuon, 210, 307-9
Antinötrino, 284, 287
Karşı parçacıklar, 63, 174
Antiproton, 13, 241-44, 251
Fermilab hızlandırıcısında, 26, 31
fotondan, 210
ve hızlandırıcı, 199, 204
Antiquarklar, 52, 300
Archimedes, 6, 68, 75, 194, 196
Aristoteles'çiler, 71, 72, 73, 74, 81, 84, 107, 108
Aristoteles, 33, 35, 42, 50, 54, 59, 61, 71, 74, 105, 155, 345-46
Aspect, Alan, 187
Astroloji, 81

Astronomi, 4
ve Brahe, 78-79
ve Büyük Bilim, 228
ve Galileo'nun keşfi, 84
ve Kepler, 81-83
Astrofizik
-de gelişme, 201
ve Büyük Patlama modeli, 384-88 (*ayrıca bkz.* Büyük Patlama)
ve hızlandırıcılar
ve parçacık fiziği, 384, 388
ve yerçekimi, 276
Asymptotic serbestlik, 334-35
A-tom (kesilemez parçacık), 3, 4, 20, 33, 340
Democritus'un - görüşü, 33, 41-46, 47, 305, 340 (*ayrıca bkz.* Atomos)
olarak elektron, 140
-un çağdaş versiyonu, 9, 46-47, 51-52, 62, 154, 275, 339
ve Boscovich, 103, 125, 142
ve hızlandırıcılar, 225
ve kimyasal atom, 139, 154
ve proton, 305
Atom, çağdaş - kavramı, 3, 47, 62-63
Bohr'un - modeli, 158-59, 161
çekirdeksel, 154
Faraday ve, 126
görünmez, 9-10
Maxwell ve, 130-31
-nda elektron kabukları, 183-84
-ndan spektral çizgiler, 146
-nı kırmak için gerekli enerji, 202
-nın ayrışması, 140
Rutherford'un - modeli, 155-56, 158, 162
üzerine araştırma, 4
ve Dalton, 62, 111-13
ve elektriksel kuvvet, 92, 118-19, 120
ve kuantum kuramı, 99, 182
ve periyodik tablo, 116, 299
yüzyılın bitimi fiziğinde, 133, 154, 155
Zukav ve, 191
Ayrıca Bkz. Elektron; Çekirdek
Atom Enerjisi Komisyonu (AEK), 226
Atomculuk, 62-63
ve boş uzay, 105
ve Boyle'un deneyi, 107
ve Descartes, 133
ve Galileo, 75, 85
ve indirgemecilik, 87
ve Lavoisier, 109, 110
ve Newton, 99-100, 107
Atomos (Democritus'un atomu), 3, 33, 41-46, 47, 51, 59, 62, 105, 274
ve basitlik, 367
ve Dalton, 111, 113
ve devinim, 49
ve Ortaçağ otoritesi, 54
Babil kulesi, 23
Baryum sülfit ve Galileo, 84
Barometrenin icadı, 105
Baryon sayısı, 298, 302, 303
Baryonlar, 301, 324-25, 335
Enfes (en alt) quark, 62, 296, 320, 322, 324, 369
Becquerrel, Antoine, 144, 283
Becquerel ışınları, 152
Bell, John, 187-88
Bell Telefon Laboratuarları, 165, 177
Bernardini, Gilberto, 221, 222, 224, 245, 279
Berra, Yogi, 52, 58
Beta parçalanması, 261, 293
ters -, 287
Beta parçacıkları, 283
Bethe, Hans, 226, 276
Bevatron, 205, 231, 236
Büyük Patlama, 1, 23-24, 99, 253, 384-88, 402
-dan bu yana geçen zaman, 20
-dan siyah madde ışınımı, 147
-dan sonra ısılar, 26
-dan sonra soğuma, 286
şişme, 397-400
ve nötrinolar, 395
ve temel parçacıklar, 51
Büyük Çatırtı, 394, 396
Büyük Bilim, 216-17, 226-28
-in kökeni, 224-26
ve ekzotik parçacıklar, 252

Bjorken, James, 15, 305, 306, 309, 310, 319, 334, 336, 340, 374
Siyah cisim ışınımı, 146-49
Bohr, Niels Henrik David, 49, 143, 156, 158,-64, 168, 171, 185-88, 295, 348
Booth, Eugene, 224
Born, Max, 49, 169-70
Boscovich, Roger Joseph, 62, 103, 124-25, 133, 142, 156, 180, 305, 340
Bose, S. N., 338
Bozonlar, 365
  ayar -ı, 48, 51, 55, 63, 338, 339, 351, 360
Higgs, 22, 57, 63, 343, 370, 375-76 (*ayrıca bkz.* Higgs alanı ya da parçacığı)
X, 391
En alt (enfes) quark, 62, 296, 320, 322, 324, 369
Sınır durumu, 181-82
Boyle, Robert, 106-7, 109
Brahe, Tycho, 78-81, 82, 217
Bronowski, Jacob, alıntısı, 383
Brookhaven hızlandırıcı laboratuarı, 225, 226, 231
  -nda nötrino ışınları, 295
-ndaki hızlandırıcıların özellikleri, 201, 205, 290, 390, 313, 314, 369
ve güçlü odaklama, 229-30
  ve Isabelle projesi, 376, 377-78
ve standart model, 324
Brown, Charles, 320
Brown hareketleri, 149
Kabarcık odası, 246-47, 252
Kabarcık evrenler, 38, 60
Budker, Gershon, 241-42
Bunsen, Robert, 145, 159
Bush, Vannevar, 225
İntegral hesap, Newton'un icadı, 99-100
Cambridge Elektron Hızlandırıcısı, 225
"Mum ve Evren" (Lederman'ın konferansı), 122
Capra, Fritjof, 190, 191
Kaskat hızlandırma, 232
Katod ışını deneyleri, 134-40
Nedensellik krizi, 386
Nedensellik
  ve Aristoteles, 35
  ve amaç, 61-62
Cavendish Laboratuarı, 137, 151, 152, 213
CERN (European Center for NuclearResearch), 229, 237, 279, 290, 323, 338, 389
  -de nötrino ışınları, 295
  -deki hızlandırıcı, 208-9, 231, 347, 362
    ISR, 240-41, 316
    LEP, 324, 358, 376-77, 382
  rakip olarak, 233, 279
  ve muon g-değeri, 281
  ve nötr akımlar, 333
  ve W parçacığı, 338, 351-52, 354, 357,376
Chadwick, James, 151
Challenger felaketi, 74
Chaloner, William, 85
Rastlantı, 49, 59, 60, 173
Kaos kuramı, 198
Charles, J.A.C., 110
Büyülü quark, 62, 310, 317-19, 324, 369
Charpak, Georges, 248
Kimya
  adlandırması, 108
  ve bilim piramidi, 13
  ve Born'un olasılık modeli, 172
  ve Büyük Bilim, 228
  ve kuantum kuramı, 184
Kimyacılar, 104, 106-16 (tek tek kimyacılara da bkz.)
Çakışmasızlık, 344, 370
Klasik fizik
  ile açıklanmayan görüngüler, 144, 146, 197
  -in "ölümü", 154
  kahramanları, 68
  ve fotoelektrik etki, 149-50
  ve Heisenberg kesinsizliği, 176
  ve kuantum kuramı, 167, 168, 179
  ve mekanik çağı, 102
  ve olasılık, 173
  ve Rutherford atomu, 157

ve siyah cisim ışıması, 146-47, 149
Ayrıca Maxwell, James Clerk; Newton, Isaac ve Newtoncu fizik'*e de bkz.*
Cline, David, 333
Saatlerin hassaslığı, 70-71
Bulut odası, 139, 244-46
Cobalt-60, denklik deneyinde, 261, 263, 265
COBE (Cosmic Background Explorer) uydusu, 149, 386, 400
Cockcroft, John, 213-14
Cockcroft-Walton elektrostatik hızlandırıcı, 204, 214, 216, 236
Soğuk füzyon, 122
Coleridge, Samuel Taylor, 384
Çarpışmalar, hızlandırcılarda, 205-10, 211, 237, 239-44, 248-49, 252-53, 284, 311 *Ayrıca* Hızlandırıcıları, parçacık'*a da bkz.*
Renkleri, quarkların, 63, 309, 334-36
Columbia Üniversitesi, 6-7
-ndeki sinkrosiklotron, 5, 6, 219-20, 264-73
Compton, Arthur, 151, 338
Korunum, 302-3. Denklik'*e de bkz.*
baryon sayısı –u, 303
enerji –u, 138, 160-61, 210, 275, 284, 302, 350
moment –u, 210, 239, 350
ve simetri, 350
yük –u, 117, 210, 302-3
Copernic'çi sistem, 81, 82, 83, 84
Copernicus, 6, 68
Cornell Üniversitesi hızlandırıcı laboratuarı, 226, 231, 324, 377
Kozmik geriplan araştırıcı uydusu (COBE) 149, 386, 400
Kozmik ışın parçacıkları, 200, 201
-nda pionlar, 252
ve iki nötrino deneyi, 293
ve muon keşfi, 221
Kozmoloji
için standart model, 384
ve düzlük sorunu, 394-95, 396-99
ve Higgs fikri, 364, 372
ve kara madde, 345, 395-96
ve kuantum kuramı, 401
ve şişen Büyük Patlama modeli, 397-400
ve yerçekimi sorunu, 99
Astrofizik; Büyük Patlama'*ya da bkz.*
Coulomb, Charles Augustine de, 117, 118
Coulomb yasası, 118, 156, 207
Karşı kuvvetler, 92-93
Courant, Ernest, 229
Cronin, James, 286-87, 291
Curie, Marie, 16
Siklotron, 214-18
-dan pionlar, 221
-un enerji düzeyi, 230
Dalton, John, 62, 63, 110-13, 340
Dans Eden Wu Li Ustaları (Zukav), 189, 190-91
Karanlık madde, 345, 295-96
Veri edinme sistemi (VES), 31, 249-50
Davisson, Clinton, 165-66, 177
de Broglie, Prens Louis-Victor, 164-65, 168, 185
Ayrışma, 118-19
Democritus, 4, 58-61, 66
ve atomculuk, 3, 33, 41-46, 47, 59
-un tutumları, 59, 73
rastlantı ve gereklilik üzerine, 49, 59, 60, 173
ile düş diyalogları, 32-58, 403-6
ve Galileo, 68, 75
ve kuantum mekaniği, 60-61
ve standart model, 275, 340
ve boşluk, 42, 44-46, 60, 105, 374
Enerji Departmanı (DOE), 226
Descartes, René, 133
Desertron, 377
Tarayıcılar, Hızlandırıcıları, parçacık *başlığına bkz.*
Nedensellik
ve Newton, 90, 198
-e karşı kuantum kuramı, 173, 198
Döteron, 217, 218
Dileptonlar, 316

Dimuon deneyi, 307-9, 320
Brookhaven yinelemesi, 312
ve büyülü quark, 310
Dirac, Paul, 37, 168, 173-74, 275, 276, 280
Dirac eşitliği, 174, 197
Deşarj tüpü, 161
Dağılım eğrisi, 172
Donahue, Phil, 27, 338
Çift yarık deneyi, 151, 177-79, 181, 190-91
Aşağı quark, 51, 62, 300, 318, 324, 369
Drake, Stillman, 73
Drell, Sidney, 307
Drell-Yan deneyi, 307-9, 312
Dyson, Freeman, 276
Doğu dinsel mistisizmi, *Bkz.* Mistisizm
Eddington, Sir Arthur, 83
Anafor akımları, 233
$E=mc^2$, 210-11, 368
Einstein, Albert, 6, 49, 149
ve eter, 101, 374
ve siyah cisim ışınımı, 147
üzerine Bronowski, 383
ve de Broglie, 165
ve $E=mc^2$, 210-11, 368
ve serbest düşme, 74
Tanrının barbut oynaması üzerine, 49, 181
Tanrının aklındakini bilme üzerine, 24, 159
Maxwell üzerine, 131
-a Nobel Ödülü, 295
-a Pauli'nin mektubu, 183
ve fotoelektrik etki, 149-50, 162, 164
ve fotonlar, 170-71, 338
ve artı elektron, 275
ve kuantum kuramı, 144, 149, 162, 171, 181, 185-88, 348
-ın görelilik kuramı
genel, 96, 349, 397, 399
özel, 149, 163, 204
bilimsel devrimci olarak, 196
"kendiliğinden geçişler" üzerine, 163
Göreliliğin Öyküsü, yazan, 20
ve tekleştirilmiş kuram, 348, 351
Eisenhower, Dwight, 5, 220
Elektrik yükü, parçacıkların, 300
Elektrik ve elektriksel kuvvetler, 48, 51, 92-93, 116-17, 276-82,
ve atom, 92, 118-19, 120
-in anlaşılmasının gelişimi, 195
-in araştırıcıları, 117-32, 133 (*ayrıca tek tek bireylere de bkz.*)
-in uzun erimli ters kare yasası, 329
ve manyetizm, 118, 120, 122-24, 127-30, 132
ve Newton yasası, 89
Elektrokimya, 118-19, 122
Elektroliz yasaları, Faraday'ın, 119
Elektromanyetik dalga, 128, 129
Elektromanyetizm, 276-82, 325
ve alfa (1/137), 28
ve katod ışınları, 134-35
ve klasik dönem, 133
ve ışık, 144
ve radyoaktivite, 331
standart modelde, 339
Elektron(lar), 50, 51, 141-43, 154
ve hızlandırıcı, 204, 238, 240, 251
ve alfa (1/137), 28
-un yükü, 152, 300
ve klasik kuram, 146
teriminin uydurulması, 135, 138
-un keşfi, 119, 135-40, 141
ve çift yarık deneyi, 177-79
ve dıştalama ilkesi, 183-84
ve "koku", 294
-un g değeri, 142-43, 279
lepton olarak, 50, 51, 62, 63, 309, 318, 324
-un kütlesi, 136, 282, 369
ve fotoelektrik etki, 150
ve fotonlar, 210
-la ilişkili olasılıklar (kuantum kuramı), 169-73
ve radyoaktivite, 283-84
kabukları, 183-84
-un "dönme"si,
ve standart model, 276
ve güçlü kuvvet, 207-8
ve kesinsizlik ilkesi, 175-76

ve sanal foton, 278
-un dalga boyu, 164-66
dalga olarak, 168-71
Ayrıca Atom, çağdaş-kavramı'*na da bkz.*
Elektronik yangından kurtarma, 323
Elektron nötrinosu, 62, 293-94, 309, 318, 324, 343-44
Elektron volt (eV), tanım, 200
Elektrozayıf kuram ya da kuvvet, 330-31, 358, 362, 369, 372-73, 389
Elementler
-in periyodik tablosu, 43, 114-16, 183-84, 299
uzayda, 145
Ellis, Charles D., 151
Ellis, John, 338
e/m (yük/kütle oranı), 136-39
Empedocles, 39, 40-41, 44, 45, 52, 59, 62, 107, 340
Boş uzay. *Bkz.* Boşluk
Enerji, 160-61
hızlandırıcıların –si, 201-3, 205, 208, 230, 253
ve karşı madde, 211
korunumu, 138, 160-61, 210, 275, 284, 302, 350
ve elektron voltlar, 200
ve Higgs alanı, 368, 372-73
kinetik, 160
potansiyel, 368
kuantumu, 148-49
Enerji Araştırma ve Geliştirme Ajansı (ERDA), 226
Eötvös, Baron Roland, 95, 96
EPR (Einstein-Podolsky-Rosen) düşünce deneyi, 186-88, 190
Eşitliklerin anlamı, 17-19
Evreka anları, 7-8
Deney(ler), 13-14
ve varsayımlar, 46
ve Yunan filozofları, 38-39
Heisenberg'den –in yorumları üzerine, 293
ve aygıtlar, 76-77
on yedinci yüzyılda, 78
fikirlerin sınaması olarak, 263
düşüncede, 54, 186-88
Hızlandırıcıları, parçacık'*a da bkz.*
Deneyci(ler), 14-15, 16-17, 38, 63
olarak Faraday, 126-27
olarak Rutherford, 151
Faraday, Michael, 6, 14, 21, 51, 68, 117, 119, 121-27, 132-33, 340
üzerine, Bronowski, 383
ve elektrik yükü, 335
Fermi (büyüklük birimi), 283
Fermi, Enrico, 6, 14, 15, 16, 255, 282-83, 340
-nin kongre ifadesi, 226
ve radyoaktivite, 284
ve Scuola Normale, 242
ve zayıf kuvvet, 261, 328, 371
Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarı (Fermilab), 5, 25-28, 199, 283
-da hızlandırıcılar, 10, 26-27, 54-55, 205, 218-19, 231, 233, 235-37, 242, 376, 378, 388-89
ve nötrakımlar, 333
ve quark deneyleri, 208-9
ve süperiletkenlik, 233 (Tevatron'*a da bkz.*)
-da astrofizikçiler, 253
-da "tümsek" deneyi, 316
-da Çarpıştırıcı Tarayıcı Tesisi (ÇTT) 28, 30-31, 226, 248-50, 355, 362
-da nötrino ışınları, 295
ve SSÇ, 381
-da tau nötrinosu kütle deneyi, 396
-da upsilon keşfi, 321
ve Wilson, 25-26, 234-35 (Wilson, Robert R.'*ye de bkz.*)
Fermionlar, 338,365
Feynman, Richard P., 15, 19, 28, 192-93, 250, 319
ve *Challenger* felaketi, 74
ve Drell-Yan deneyi, 307
ve sonsuzlar, 276, 277
ve hadron püskürtüleri, 336
ve muon, 280, 370
ve proton deneyi, 305
ve KED, 282

ve kuantum kuramı, 50, 144
ve yeniden normalleştirme, 329
ve zayıf kuvvet, 285, 330
Kuvvet alanları, 125-26, 340
ve Boscovich, 103, 124-25
ve elektromanyetizm, 128, 129-30, 131-32
ve Faraday, 122, 124, 125-26, 133
Higgs, 22, 368, 375-76 (*ayrıca bkz.* Higgs alanı ya da parçacığı)
ve kuantum elektrodinamiği, 277-78
Beşinci kuvvet, 74-75
İnce yapı, 163
İnce yapı sabiti, 28
Fitch, Val, 286-87
Fizeau, Armand-Hippolyte-Lous, 132
Düz ülkeli mecazı, 385
Düzlük problemi, 394-95, 396-99
"Koku," 47-48, 293-94
Kuvvet(ler)
-le çevrili atomlar, 125
ve klasik dönem, 133
alanları, 103, 125-26 (*ayrıca bkz.* Kuvvet alanları)
ve Higgs parçacık, 56
ve madde, 51
ve Newton'un yasaları, 87-91
standart modelde -, 339, 340
türleri
elektromanyetik, 276-82
elektrozayıf, 330-31, 369, 389
yerçekimi, 89, 276
güçlü, 207, 276, 334, 388
zayıf, 209, 276, 284-85
ayrıca parçacıksal kuvvetlere bkz.
-in tekleştirilmesi, 348
(Tekleştirme'*ye de bkz.*)
Kuvvet taşıyıcıları, 48, 303, 325, 351. Haberci parçacıklar'*a da bkz.*
Franklin, Benjamin, 117, 335
Fraunhofer, Joseph von, 144, 145-46, 162
Friedman, Jerome, 305, 306, 308-9, 340
Saçak alan odaklaması, 223-24
Fukui, Shuji, 291
Gaia varsayımı, 83
Gaillard, Mary, 16, 310
Galilei, Galileo, 6, 14, 16, 68, 85, 86
ve hızlandırıcılar, 200
ve Aristoteles, 74, 345-46
astrolog olarak, 81
atomlar üzerine, 75, 85
-nin tutumları, 73, 77-78
-yi Kilisenin lanetlemesi, 65, 84
sabit hız üzerine, 72
ve Copernic'çi sistem, 83-84
ve bilimin evrimi, 194, 196
-nin deneyleri, 68-75
ve mükemmel olmayan koşullar, 72
eğik düzlemiyle -, 69-71
ve Pisa'nın Eğik Kulesi, 73-75
ve nasıla karşı neden, 85
ve atalet, 88
ve Kepler, 83
ışık üzerine, 84-85, 151
ve Newton'un ilk devinim yasası, 72, 87
-nin yaptığı teleskoplar, 76, 84
ve kuram-deney ilişkisi, 78
-nin yetişmesi, 67-68
ve boşluk problemi, 105
Galilei, Vincenzo, 65, 67, 68-69
Galvani, Luigi, 117
Gamow, George, 213-14
Garwin, Richard, 268-73
Ayar bozonları, 48, 51, 55, 63, 338, 339, 351, 360
Ayar simetrisi, 330, 334, 348, 349, 351
Ayar kuramları, 329-30, 331, 334, 375
Gauss, C.F., 117
Geiger, Hans, 151, 153, 155
Geller, Uri, 192
Gell-Mann, Murray, 15, 56, 226, 285, 288, 298, 299-300, 304, 319, 329, 330, 334, 400
Germer, Lester, 165
g-faktörü
elektronun, 142-43, 279
muonun, 279-81
Glaser, Donald, 246, 247
Glashow, Sheldon, 15, 304, 310, 317, 319, 327, 328, 330, 340, 351.

375
Glass, Bently, 408
Glazebrook, Sir Richard, 129
Gluonlar, 48, 50, 209, 220, 330, 334-38
ve protonlar, 238, 311
ve quark deneyleri, 325
g eksi 2 deneyi, 279-81, 369
Tanrı
ve Newtoncu nedensellik, 198
ve bilim, 410
Tanrı Parçacığı, 22, 58, 63, 72, 286, 329, 343, 351, 361, 398, 407
ve elektron, 142
çatlama için gerekli enerji, 202
ve muon/elektron, 250
ve kuantum kuramı, 157, 188
Pek Yeni Ahid'de, 24
Higgs alanı ya da parçacığı'*na da bkz.*
Goldstone, Jeffrey, 319, 330, 373
Göttingen fizikçiler okulu, 170
Goudsmit, Samuel, 163
Büyük Tekleştirme Kuramları(BTK), 39, 389-91
Graviton, 48, 51, 99
Yerçekimi, 89, 93-94, 276
ve evrenin başlangıcı, 387
Boscovich, - üzerine, 103
ve klasik dönem, 133
-ne karşı kuvvet, 92
Einstein - üzerine, 348
-ne karşı elektriksel kuvvet, 93
ve Newton, 21, 86, 91-92, 94-95
ve kuantum teori, 99, 175, 329, 364
ve standart model, 339, 363, 364
ve güçlü kuvvet, 48
ve süpersimetri, 392
-nin zayıflığı, 93, 98-99
ve "ağırlıksızlık," 96-97
Green, Michael, 393
Gross, David, 334, 393
Guth, Alan, 397, 398
BTK (büyük tekleştirme kuramları), 389-91
Hadronlar, 50, 253, 274-75, 285, 301, 325
-ın parçalanması, 325
-ın aile kümeleri, 298
püskürtüleri, 336-37, 354
ve quarklar, 299, 336
ve güçlü kuvvet, 297
Halpern, Isaac, 5
Hanson, Gail, 337
Hartle, Jim, 400
Harvey, Jeff, 393
Hawking, Stephen, 15, 33, 73, 102, 400-401
Isı, 148, 160
Heisenberg, Werner, 28, 49, 166-67, 168, 169, 171, 175-76, 276, 278, 293, 295, 348
Heisenberg'in kesinsizlik ilkesi ya da ilişkileri, 143, 175-77, 186
ve Democritus, 61
ve kütlelerin dağılımı, 316
ve çift yarık deneyi, 179, 191
ve parçacığın kütlesi, 316, 360
ve geçici parçacıklar, 212
Heraclitus, 53
Herb, Steve, 320, 321
Hertz Heinrich, 14, 68, 127, 128, 129-30, 150, 162, 195
Gzili değişken varsayımı, 181
Higgs, Peter, 319, 330, 331, 373, 375
Higgs alanı ya da parçacığı (Higgs bozonu), 22, 56, 58, 63, 343, 368, 373, 375-76, 402
ve parçalanma modeli, 356
ve elektrozayıf kuram, 369
ve enerji, 372-73
fütürist düşte, 404
ve şişen Büyük Patlama, 397-98
ve kütle, 367, 368-69, 370
üzerine sorular, 372
ve SSÇ, 57, 381
ve standart model, 343
ve süpersimetri, 392
ve simetri, 331, 367, 373-74
ve tekleştirme krizi, 372, 376
Pek Yeni Ahid'de, 342
ve boşluk, 375
Hofstadter, Robert, 207-8

Hooke, Robert, 86, 98, 106
Hubble, Edwin, 384-85
Huxley, Thomas, 14
Huygens, Christian, 98, 107, 133, 151
Hidrojen atomları, 50, 158-59, 183
Hiperonlar, 251
Atalet, 88
Infeld, Leopold, 20
Sonsuz, 276-77, 282, 329, 331, 332, 370, 384
Şişen Büyük Patlama modeli, 397-400
Şişen evren, 60
Innes, Walter, 320
Ters kare yasası, 92, 329
İyonlar, 119, 135
Izospin, 298
Izotropi krizi, 386
Hadron püskürtüleri, 354
Johnson, Lyndon, 296
Johnston, Bennett, 189-90
Joule, James, 117
Joyce, James, ve "quark," 299
J/psi, 309, 315, 316, 317, 319, 322, 361
Kaonlar, 243, 251, 286, 296, 303, 358
  eksi (K^-), 252, 298, 301
  nötr (K^0), 298, 301
  artı (K^+), 252, 298, 301
Kaufmann, Walter, 136-37, 138
Kelvin, Lord, 56, 129
Kendall, Henry, 305, 306, 308-9, 340
Kepler, Johannes, 6, 77, 81-83
Kirchhoff, Gustav Robert, 14, 145, 159, 162
Klein Martin, 5
Kolb, Rocky, 400
Kosmos, 66
Kusch, Polykarp, 6, 348
Lagrange, Joseph Louis, 110
Lamb, Willis, 6, 277, 348
Lambda parçacığı, 252, 301, 303
Laserler, 185
Lattes, Cesare, 221, 222
Lauritsen, Charles, 213
Lavoisier, Antoine-Laurent, 68, 108-10
Lawrence, Ernest Orlando, 214-17, 225, 226, 232, 235
Eğik Kulesi, Pisa'nın, 73, 200, 346
Lederman, Leon
  -a esin kaynağı olarak Anderson, 175
  ve bulut odası, 139, 244-46
  Columbia profesörü olarak, 296
  ve parçacık sayacı yapımı, 8
ve Desertron (SSÇ), 376-80
Donahue show'da, 27
Democritus ile düş dialogunda, 32-58, 403-6
-ın ilk yılları, 5
Fermilab yöneticisi olarak, 226-27, 296, 297
ve J/psi keşfi, 315-17
  ve "Lee-on," 283
  ve Nevis siklotronu, 220, 222
  -ın Nobel ve diğer ödülleri, 295-96
  ve denklik deneyi, 259-60, 264-73
  ve kütle problemi, 369
-ın profesyonel ünü, 6-7
  ve standart model, 340
  ve kuramcılar, 15-16
  ve iki nötrino deneyi, 289-94, 309
  -ın "Yetkisiz Özyaşamöyküsü", 299
  upsilonun – tarafından keşfi, 320-22
Lederman Omuzu, 308, 314
Lee, Tsung Dao, 6, 16, 259, 263
  ve varsayımsal parçacıklar, 359
  ve "Lee-on," 283
  ve denklik deneyi, 259-60, 261, 263-64, 267, 272
  Schwartz'a esin kaynağı olarak, 289
kuramcı olarak, 319, 329
tekleştirme seminerinde, 348
ve zayıf kuvvet kuramı, 285
Leibniz, Gottfried, 98, 107
Leno, Jay, alıntı, 274, 305
Leptonlar, 9, 47, 52, 62, 63, 294, 309-10, 324
  ve hızlandırıcı, 55
  -ın baryon sayısı, 303
  olarak electronlar, 50, 51, 62, 63, 309, 318, 324
  fütürist düşte, 405
  ve Galileo, 75
  ve Higgs görüngüleri, 369

ve standart model, 21, 339
tau, 13, 51, 62, 63, 296, 320, 324, 347
üçüncü kuşak, 323-24, 339, 360
Leucippus, 42, 43, 44, 49, 59
Kütüphane, madde mecazı olarak, 8-9
Işık
-ın soğurulma ve yayılması, 146
ve Büyük Patlama kuramı, 385
ve siyah cisim radyasyonu, 146-47
üzerine Galileo, 84-85, 151
üzerine Newton, 144, 151
ve fotoelektrik etki, 149-51
ve radioaktivite, 331
-ın tayfsal bileşimi, 144-46
-ın hızı, 28,, 128, 129, 131-32, 204
tekleştirilmiş kuram, 118
dalga görüngüsü olarak, 144
ve atom yapısı, 146
ve çift yarık deneyi, 177
ve dalga-parçacık ikilemi, 151
Linde, André, 400
Doğrusal hızlandırıcı (doğhız), 214, 236, 238
Livingston, Stanley, 216, 229
Şans, bilimsel başarı ve, 152
Lucretius, 8, 62, 68, 75
Mc Millan, Edwin, 228
Manyetizm, 126
ve elektrik, 118, 120, 122-24, 127-30, 132
elektronun -i, 142-43, 174
ve simetri, 373
Electromanyetizm'*e de bkz*
Mann, Alfred, 333
Marconi, Guglielmo, 128, 130, 195
Marsden, Ernest, 153, 155
Marshak, Robert, 285
Maserler, 185
Kütle, 55, 63, 369-70
enerjiye dönüşümü, 160
yönsüzlük olarak, 91
elektronun -si, 136, 282, 369
yerçekimsel ve. âtıl, 95-96
ve Higgs alanı. 55-56. 367, 368-69, 370
Mendeleev, – bilimi olarak kimya üzerine, 115
ve nötrinolar, 345
ve Newton'un yasası, 87-90, 94-95
pionun –si, 250
ve görelilik kuramı, 367, 399
-nin keskinliği, 316-17
Matematik, 13, 17-19
ve Galileo, 85
sonsuz küçükler -i,
ve Kepler, 83
ve Newton, 86
ve Pithagorasçılar, 65-66
Matriks mekaniği, 167, 169
Madde
-nin yapı taşları, 2-3
(A-tom; Parçacıklar'*a da bkz.*)
ve değişim, 34
karanlık, 345, 395-96
Democritus - üzerine, 33
ve kuvvet, 51
kütüphane, - mecazı olarak, 8-9
- nin nihai öğeleri hakkında kuramlar
Anaximander'in, 36
Dalton'un, 110-13
Democritus'un, 41-46, 62
Empedocles'in, 40-41, 44, 45, 62
çağdaş, 47-49, 51-52, 62-63
Parmendies'in, 39-40, 44, 45
Prout'un, 113-14
Rutherford'un, 154-55
on yedinci yüzyıl kimyasının, 107
Thales'in, 35, 62
Kuantum kuramı ya da mekaniği'*ne de bkz.*
Madde dalgaları, 168, 169
Maxwell, James, Clerk, 21, 68, 117, 127-29, 144, 152, 195
uzaktan etki, 126
ve eter, 37, 101
atomlar üzerine, 130-31
ve siyah cisim ışınını. 147
Bronowski, - üzerine 383
tarafından açıklanmayan görüngüler. 146

Rutherford atomu, 156
Ölçüm
atom ağırlıklarını -ü, 115
ve Brahe, 78, 80-81
ve Galileo, 68-69
Heisenberg, -ün gerekliliği üzerine, 167
Lavoisier'in su deneyinde, 109
ve kuantum kuramı, 175-76, 179, 180, 186
Thomson'un elektron yükü üzerine deneyinde 139
-ün kesinsizliği, 53
Kuvvet aracıları, 48
Mendeleev, Dmitri, 68, 114-16, 184, 299, 340
Mezonlar, 264, 301, 303, 317-18, 322, 324, 335
Haberci parçacıklar, 277-78, 279, 338, 351, 360, 365
Elektrozayıf kuvvet için, 329
ve gluonlar, 335-36, 337
zayıf kuvvet için, 325
Bozonlar; Kuvvet taşıyıcıları'*na da bkz.*
Haberci foton, 311, 313
Metrik sistem, 66, 89, 108
Michelson, Albert, 163
Miletus, 4, 6, 34, 35, 36, 43
Mills, Robert, 330
Ayna simetrisi, 256, 257, 258, 262, 267, 285, 350. Denklik'*e de bkz.*
Moby Dick (Melville), 366
Moleküller, 3, 184, 202
Monet, Claude, 206, 207
Tek kutuplular, 398
Devinim, 61
Aristoteles, - üzerine, 50, 71, 346
elektriğin -e dönüşümü, 123
Democritus – üzerine, 49, 50
Galileo'nun – üzerine keşifleri, 70-71, 72, 85
Newton'un – yasaları, 72, 87-91
Muon, 13, 51, 62, 63, 276, 294, 309, 318-19, 324
-un yükü, 356
dimuon deneyinde, 307-9
-un g-değeri, 279-81
ömrü, 20
bulmaca olarak –un kütlesi, 369
ve haberci parçacıklar, 279
denklik deneyinde, 265-73
denklik çiziminde, 260-61
fotondan, 210
piondan, 221, 224, 250, 251, 264, 267
ve protonlar, 209
durdurucu parçacık olarak, 247
-un gözlemlenmemiş parçalanması, 288, 294
ve iki nötrino deneyi, 289-94
Muon nötrinosu, 62, 293-94, 309, 310 318-19, 324, 327
Muziksel skala, 66-67
Mistisizm
ve Budizm iması, 298
ve EPR düşünce deneyi, 187
fiziğin popilerleştirilmesinde, 190, 198
Gereklilik, 49, 59, 60, 173
Neumann, John von, 96
Nötr akımlar, 325, 326-28, 333, 338
Nötrinolar, 7, 13, 51, 284, 344-45
ve beta parçalanması, 293
ve korunum, 275, 302
ve karanlık madde, 395
-ı taramak, 287, 356
elektron nötrinosu, 62, 309, 318, 324, 343-44
ve iki nötrino deneyi, 289, 290-95, 309
"koku"su (elektrona karşı muonun), 293-94
ve dördüncü kuşak, 361
ve kütle, 343
muon nötrinosu, 62, 309, 310, 318, 324, 327
güneş sisteminin dışından, 380
ve pion, 221, 250, 251, 264
ve quarklar, 300, 301
tau nötrinosu, 62, 320, 324, 343, 347, 361, 395

ve zayıf kuvvet. 209, 345
ve Z^0, 333
Nötronlar, 50, 63, 298, 325-26
-ın baryon sayısı, 303
-ı kırmak için gerekli enerji, 202
-ın yarı ömrü, 181
Neveu, André, 393
Nevis siklotronu (Columbia), 5, 6, 219-20
için bulut odası, 244-46
ile saçak alan odaklaması, 223-24
ile denklik deneyi, 264-73
-ndan pionlar, 6, 220, 221, 222, 224
Newton, Isaac, ve Newtoncu fizik, 6, 68, 86-87, 340
ve eter, 37, 101
ve atomlar, 62, 99-100, 107
ve integral hesap, 75, 99-100
ve nedensellik, 90, 198
ve Einstein, 196
ve bilimin evrimi, 195, 196, 197
ve düşen elma, 87, 98
ve kuvvet alanı, 125
ve yerçekimi, 21, 91-92, 94-95
ve Kepler, 82
-a kıyasla Lavoisier, 108
-un devinim yasaları, 72, 87-91
ışık üzerine, 144, 151
ve büyü/simya, 59, 102
tarafından açıklanmamış görüngüler, 146
-un *Principia*'sı, 97-98
ve görelilik, 367
ve Rutherford atomu, 156
ve Schördinger eşitliği, 179-80
Darphane müdürü olarak, 85-86
Niobium, 233, 237, 304
Nobel Ödülü, 6, 7, 255, 295-97
Noether, Emmy, 304, 350
"Kasım Devrimi," 309-19
Çekirdeksel atom, 154
Çekirdek özü, kırmak için gerekli enerji, 202
Nükleer patlama ve kütle-enerji dönüşümü, 210, 211
Nucleon, 114, 298
Çekirdek, 50, 62, 63
ve hızlandırıcı, 204
kırmak için gerekli enerji, 202
ve kuantum kuramı, 185
radyoaktivitesi, 283-84
ve periyodik tablo, 116
araştırma odağı olarak, 4
Rutherford'un –i keşfi, 154-56
ve saçma, 251
Sayılar
alfa (1/137), 28, 29, 163
evreni belirleyen, 363
Pithagorcuların – görüşü, 66
kuantum –ı, 298
-ın bilimsel yazımı, 19-20
Mathematik'*e de bkz.*
Gözlemler
ve Anaximenes, 39
ve eşitlikler, 19
Deney'e de bkz.
Occiallini, Giuseppe, 221
Oersted, Hans Christian, 117, 119-20, 122, 132
Ohm, Georg, 117
Omega eksi parçacığı, 302
Oppenheimer, J.Robert, 34, 169, 226
Oksijen atomu, 50
Pagles, Heinz, 15, 157, 400
Pais, Abraham, 126-27, 182, 280
Panofsky, Wolfgang, 238, 241
Denklik
-in korunumu, 256-59, 262, 302
-in "düşüşü", 259-61, 263-75
-in ihlali, 260, 270, 285
Parmenides, 39-40, 44, 45
Parçacık hızlandırıcıları. *Bkz* Hızlandırıcıları, parçacık
Parçacık sayacı, 8
Parçacık fiziği, 5
ve astrofizik ya da kozmoloji, 99, 384, 388
detektif öyküsü olarak, 20-21
Democritus'la dialogda, 47-49, 51-52
ve eski bilim, 68
-nde kanıt, 10-12

-nde deneyciler ve kuramcılar, 13-16 (Deneyciler; Kuramcılar'*a da bkz.*)
ve kuvvet madde ayrımı, 51
ve Tanrı Parçacığı, 22 (Higgs alanı ya da parçacığı'*na da bkz.*)
ve hadron çoğalması, 274-75
ve atomculuğun tarihi, 63 (A-tom'*a da bkz.*)
-nde"tohumların içinde tohumlar", 209
-inde standart model, 21-22, 62, 275-76, 324, 338-41, 363-64 (Standart model'*e de bkz.*)
ve Babil Kulesi öyküsü, 23-24
ve nihai parçacık, 46-47 Fizik'*e de bkz.*
Parçacıklar
ve hızlandırıcılar, 199, 251-53 (Hızlandırıcılar, parçacık'*a da bkz*)
çarpışmalar, – yaratmada, 210
-ın taranması, 355-57
elektrik -ı, 119
Empedocles – üzerine, 40
ekzotik –, 116-17, 252-53
ve Galileo, ışık üzerine, 85
varsayımı, 359-60
standart modelde, 340
geçici, 211-12
sanal, 278-79
Standart model; tek tek parçacıklar'*a da bkz.*
Parçacık-dalga çatışması
elektronlar için, 171, 178
ışık için, 151
Pasteur, Louis, 274
Pastore, John, 199, 226
Pauli, Wolfgang, 182-84, 398, 401
ve nötrino, 275, 284, 287, 293
ve sayı 137, 29
ve kuantum kuramı, 168, 182
alıntı (Tanrı üzerine), 256, 273
-nin tekleştirilmiş kuramı, 348
sonsuzlara karşı savaşta -, 276
Pauli dıştalama ilkesi, 183, 335
P-çizgi. Antiproton'*a bkz.*
Peoples, John, 199, 304
Periyodik tablo, elementlerin, 43, 114-16, 183-84, 299
Perl, Martin, 296, 319-20, 340
Faz sabitliği, 228-29
Filozoflar, Yunan, 3-4, 34. *Tek tek filozoflara da bkz.*
Phlogiston, 108
Fotoelektrik etki, 149-51, 164
Foton, 20, 48, 63, 137, 150-51, 161, 277-78, 280
ve hızlandırıcılar, 240, 313
ve Büyük Patlama kuramı, 385
-un yaratılması, 210
-un taranması, 356
ve elektrozayıf kuvvet, 330
ve Higgs görüngüsü, 369, 372-73
haberci, 311, 313, 325
ve quarklar, 336
standart modelde, 339
etiketlenmiş, 251
Zukav, - üzerine, 191
Fizikçiler, 2
ve kimya, 104
ve denkliğin çöküşü, 259-73
-in duyguları, 7-8
Kepler, -in öncüsü olarak 83
Sovyet -i, 289-90
tarafından aranan tekleştirme, 100, 330, 347-48 (Tekleştirme'*ye de bkz.*)
-e karşı Sokrat öncesiler, 34
Fizik
ve hızlandırıcılar, 200 (Hızlandırıcıları, parçacık'*a da bkz.*)
klasik, 68, 102, 144, 146 (Klasik fizik'*e de bkz.*)
-in gelişmesi, 4
-in bölümleri, 4
-in ilan edilmiş sonu, 56
ve Galileo'nun deneyleri, 71
1890'ların sonlarının -i, 133-34
ve matematik, 13, 17
-in mistik popülerleştirilmesi, 189-92, 193
-de "Kasım Devrimi", 309-15
ve bilim piramidi, 13
üzerine kuşkucu sorular, 5-6

ve Yol, 6, 64, 406
-in Totaliter Kuralı, 288, 359
Parçacık fiziği; Bilim'*e de bkz.*
Pionlar (pi mezonlars), 6, 13, 210, 220-22, 250, 251, 264, 266, 298
-ın yükü,300
kozmik ışınlarda, 252
parçalanma ürünü olarak, 252
ve Fermilab çarpıştırıcısı, 243
ve saçak alan odaklaması, 223-24
-ın izospin durumları, 298
-dan doğan muonlar, 221, 224, 250, 251, 264, 267
eksi, 301
nötr, 301
nötrino deneyinde, 289
parçacık fabrikalarından, 358
artı, 301
Planck, Max, 129, 147-49, 162, 185
Planck bölgesi, 393-94
Planck kütlesi, 364-65, 408
Planck sabiti, 28, 149, 159, 162, 175
Plato, 32, 33, 39, 59, 61, 83, 166
Poincaré, Henri, 129
Politzer, David, 334
Pontecorvo, Bruno, 289
Pozitron (artı elektron) 13, 174, 204, 240
Potansiyel enerji, 160, 368
Powell, C. F., 221
Önquarklar, 63
Princeton Üniversitesi, 225
Principia (Newton), 97-98
Olasılık, 172
ve kuantum mekaniği, 169-73
Orantısal tel odası (OTO), 248
Protagoras, 59-60
Proton, 50, 63, 298
ve hızlandırıcı, 204, 205, 218, 236-38, 251, 311
-un baryon sayısı, 303f
-un yükü, 300
-un parçalanması, 390-91
parçalanma ürünü olarak -, 252
kırmak için gereken enerji, 202
üzerine deneyler, 304-5
Fermilab hızlandırıcısında, 26, 31
fotondan, 210
resimleri, 207-8
kutuplaşmış, 251
ve quarklar, 209, 300, 301, 305
-u "görmek," 10
Prout, William, 113-14
Psi, 168, 169-70, 171, 185
Ptolemy, 80, 81
Pulsarlar, 70-71
Salt Mantık. *Bkz.* Mantık
Amaç, neden olarak, 61-62
Pythagoras, 65, 66, 67
Pythagorcular, 45, 65-67
Kuantum atom, 116
Kuantum kromodinamiği (KKD), 302, 336, 337, 389
Kuantum elektrodinamiği (KED), 277-78, 279, 282, 328-30
ayar dönüşümü, 351
ve muonun g-değeri, 280
ve KKD, 336
Kuantum yerçekimi, 364, 400
Kuantum kuramı ya da mekaniği, 49-50, 143-44, 157, 175
ve alfa (1/137), 28
ve atom, 99, 182
ve siyah cisim ışınımı, 146-49
ve kimya, 184
ve klasik fizik, 146
ve korunum, 302
-ne katkıda bulunanlar, 162
Bohr, 158-59, 161-62, 163
Born, 169-71
de Broglie, 164-65
Einstein, 149-50, 162, 348
Heisenberg, 166-67, 169, 175-76
Planck, 147-49, 162
Schrödinger, 167-69
Sommerfeld, 163
ve kozmoloji, 401
sezgi karşıtı olarak, 143, 177, 181-82
ve Democritus, 60-61
ve nedensellik, 173, 198
ve çift yarık deneyi, 177-79
ve elektromanyetizm, 276-77
ve elektron, 142, 143, 163

-nin evrimi, 156
-nin verimliliği, 182, 184-85
ve yerçekimi, 99, 364
kütle ve kuvvet menzili, 325
ve madde bilimi, 184-85
ve Maxwell, 131
ve ölçüm, 175-76, 179, 180
ve mistik popülerleştirme, 190, 193-94
ve nükleer çarpışmalar, 214
"eski," 162
ve fotoelektrik etki, 149-51
Planck radyasyon yasası, 148
ve olasılık, 169-73
-nin problemleri, 185-88
ve görelilik, 163, 173-74, 276
ve katıların direnci, 92
ve Rutherford'un atom modeli, 151-56, 162
bilimsel devrim olarak, 194, 196-97
ve geçici parçacıklar, 211
ve tekleştirme, 348
ve sanal parçacık, 278
zayıf kuvvetin, 326
Quark-antiquark çifti, 212
Quarklar, 9, 50, 51, 52, 62, 304, 339
ve hızlandırıcı, 55
-ın benimsenmesi, 319
-ın asimptotik serbestliği, 334
-ın rengi, 63, 309, 334-36
-ın hapsedilmesi, 306, 318
parçacıkların parçalanmasında, 325, 326-28
boyutsuz olarak, 103
-ı kırmak için gereken enerji, 202
-ın kanıtı, 10, 76
üzerine deneyler, 208-9, 305-9
kombinasyonlarının araştırılması, 324-25
-ın kokuları, 47-48
fütürist düşte, 405
ve Galileo, 75
ve kütle, 55
ve noktamsı yoğunlaşmalar, 156
ve protonlar, 209, 238
ve standart model, 21, 339, 360
türleri, 62
en alt/enfes (**e**), 62, 296, 320, 322, 324, 369
büyülü (**b**), 62, 310, 317-19, 324, 369
aşağı (**a**), 51, 62, 300, 318, 324, 369
garip (**g**), 62, 300, 318-19, 324, 369
tepe/taç (**t**), 32, 57, 62, 227, 324, 339, 343, 347, 356, 359, 361-63, 369
yukarı (**y**), 51, 62, 300, 318, 324, 369
keşfedilmemiş, 57
ve dalga işlevi, 168
Quinn, Helen, 319
Rabi, I. I., 6, 14, 104, 166, 226, 241, 271, 294, 348
Işınım
siyah cisim -ı, 146-49
Bohr's -ı açıklaması, 159
Planck'ın - yasası, 148
Radyatif düzeltmeler, 280
Radyoaktivite, 144, 282-84
ve klasik kuram, 146
-nin keşfi, 283
ve ışık, 331
Rainwater, James, 6, 348
Ramond, Pierre, 393
Ramsey, Norman, 6
Rayleigh, Lord, 133, 152
Reagan, Ronald, ve SSÇ, 378-80
Gerçeklik, nesnel, 53, 54
Mantık
ve Democritus, 41, 52, 53
Galileo'nun -ı kullanışı, 72, 74
Hawking'in -ı kullanışı, 73
ve Higgs parçacığı, 58
Kırmızı kayma, 384-85
Görelilik, 367
ve hızlandırıcılar, 219
ve alfa (1/137), 28
genel – kuramı, 96, 349, 397, 399,
ve kuantum kuramı, 163, 173-74, 276
özel – kuramı, 149, 163, 204
ve tekleştirme, 348
Yeniden normalleştirme, 277-78, 282, 329, 330, 332, 370

Rezonant hızlandırma. 215
Richter, Burton, 312, 315, 340
Roentgen, Wilhelm, 144, 295
Roosevelt, Franklin D., 225
Rosner, John, 310
Rossi, Bruno, 222
Rubbia, Carlo, 242, 333, 347, 351-54, 357, 362, 376, 381
Russel, Bertrand, 61-62, 409-10
Rutherford, Lord Ernest, 14, 63, 151-55, 162, 295, 334
ve hızlandırıcılar, 200, 203, 212
ve Bohr, 158, 163
ve quarklar, 304-5
ve radyoaktivite, 282, 283
-un saçma deneyleri, 153, 306
ve standart model, 340
Rutherford Laboratuarı, 234
Sagan, Carl, 66, 77, 387
Salam, Abdus, 319, 330, 351, 373
Sands, Matt, 232
Saçma deneyleri, 207-8, 251, 304-5, 306, 371
nötrino' 325
Rutherford'un – prototipi, 153
Schramm, David, 400
Schrödinger, Erwin, 49, 144, 165, 167-69, 171, 181, 185
Schrödinger'in eşitliği, 168-69, 170, 171, 172-73, 175, 179-80, 197
Schwartz, Melvin, 289, 290, 291, 292, 295, 309, 328, 340
Schwarz, John, 393
Schwinger, Jullian, 276, 277, 282, 285, 327, 329, 330, 373
Bilim
-in başlangıcı, 3-4, 36
ve Büyük Bilim, 216-17, 224-28, 252
Bronowski, - üzerine, 383-84
-de eğitim, 297
gelişmesi (1950'ler ve 1960'lar), 274
ve nasıla karşı neden, 85, 101
ve insanın anlamı, 409-10
-de yürekkendirilen put kırıcılar, 192
ve aygıtlar, 200
-in yöntemi, 53-54
piramidi, 12-13
-de araştırma işbirliği, 227
-de devrimler, 194-98
Rutherford, - üzerine, 152
ve sosyal gereksinimler, 408-9
Parçacık fiziği; Fizik'*e de bkz.*
Bilim okur yazarlığı, 382-83
Bilimsel yöntem
ve Galileo, 68
ve tümevarım, 82
ve özeleştiriye karşı tutku, 270
ve kuram, 389
Deney'e de bkz.
Bilimcinin nitelikleri, 406-7
Parıltı sayaçları, 247-48
Segré, Emilio, 282-83
Selektron, 365
Yarı iletkenler, 184
Serber, Robert, 299-300
Kütlenin keskinliği, 316-17
Shelley, Percy Bysshe, 382
Sherk, Joel, 393
Omuzu, Lederman, 308, 314
Sigma parçacıkları, 252, 298, 301
-nın baryon sayısı, 303
Sippach, William, 249-50, 320
SLAC (Stanford Linear Accelerator Center), 208, 226, 238-39, 304-6, 309, 313, 324, 361
Sleptonlar, 365
Smithsonian Institution, 271
Smoot, George, 400
Snyder, Hartland, 229
Futbol maçı, parçacık fiziği mecazı olarak, 11-12
Sommerfeld, Arnold, 163, 169, 171, 174
Sofistler, 59
Uzay, 402-3. Boşluk'*a da bkz.*
Kıvılcım odası, 291
SPEAR (Stanford Positron-Electron Accelerator Ring), 240, 312, 314, 317
Tayf çizgileri, 145, 159-60, 162, 163
ve Büyük Patlama, 384
ve klasik kuram, 146

ve ölçüm, 167
ve Schrödinger eşitliği, 169
Işığın hızı, 128, 129, 131-32
ve alfa (1/137), 28
Fizeau's -nı ölçmesi, 132
üzerine görelilik kuramı, 204
Dönme, 344, 349, 365, 370
Elektronların -si, 163, 174, 183
ve fermionlara karşı, bozonlar, 338
izotopik (izospin), 298
muonun -si, 281
ve denklik korunumu, 260-61, 262, 265 (Denklik'*e de bkz.*)
Rabi, - üzerine, 271
Spinoza, Benedict, 107, 109
Squarklar, 365
Standart kozmolojik model, 384
Standart model (parçacık fiziği), 21-22, 40-41, 62, 275-76, 324, 338-41
-i tamamlama girişimleri, 358-61
-in kusurları, 339, 343, 346-47, 366
-de olmayan yerçekimi, 339, 363, 374
ve Higgs fikri, 366, 374
yüksek enerjilerde, 367
-nin tarihi, 340
ve evrenin başlangıç koşulları, 401
-in aşırı karmaşıklığı, 363-64, 366
ve tepe quark, 57, 361-64, 366
Stanford Linear Accelerator Center (SLAC), 208, 226, 238-39, 304-6, 309, 313, 324, 361
Stanford Positron-Electron Accelerator Ring (SPEAR), 240, 312, 314, 317
Yıldızlarda elementler, 145
Steinberger, Jack, 290, 295, 309, 340
Steinmetz, Charles, 195
Stevens, Wallace, 209
En uygun soğutma, 242
Stoney, George Johnstone, 135
Göreliliğin Öyküsü (Einstein ve Infeld), 20
Garip quarklar, 62, 300, 318-19, 324, 369
Tel kuramı, 393-94
Güçlü odaklama, 229-32
Güçlü kuvvet, 6, 48, 155, 207, 220, 276, 338
ve garipliğin korunumu, 303
yaratı sürecinde, 210
ve uzaklık, 334, 335
ve gluonlar, 209, 334
ve hadronlar, 297-98
ve nötrino, 7
ve Newton, 100
ve kuantum alan kuramı, 329
ve quark deneyleri, 325
standart modelde –, 339
Sullivan, Walter, 315
Güneş
-de elementler145
1890'ların sonlarının – üzerine bilmecesi, 133
Süperiletken Süper Çarpıştırıcı(SSÇ), 5, 22, 57, 201, 226, 238, 360, 365-66, 378
-da kaskat hızlandırma, 232
ve Kongre, 189, 406
-nın enerjisi, 408
fütürist düşte, 404, 405
ve Higgs parçacığı, 372
Reagan'ın – üzeirne eğitilmesi, 378-80
-ya yer aranması, 380-81
ve süperiletkenlik, 236-37
Süperiletkenlik, 232-33, 380
ve hızlandırıcılar, 233-34, 236-37
Süpernova patlaması, 132, 380
Süper Proton Sinkrotron (SPS), 234
Süperteller, 20, 393-94
Süpersimetri (Susy), 364, 365, 392-93, 404
Simetri, 26, 256, 258, 349-51
Y (yük), 285
çakışmasız, 344, 370
ve korunum, 350
YD, 285-87, 296, 343
elektrik ve manyetizm -si, 132
ayar -si, 330, 334, 348, 349, 351
ve Tanrı Parçacığı, 63, 286
yerçekimsel çekimde, 92
ve Yunanlılar, 36

ve Higgs görüngüleri, 342, 367, 369, 373-74
ve korunum yasaları, 304
Maxwell'in -yle ilgisi, 127
D (denklik) ya da ayna -si, 256, 257, 258, 262, 267, 285, 350 (Denklik'*e de bkz.*)
ve quark çiftleri, 310
-den hafif uzaklaşmalar, 286
kuramcıların - inançları, 298
ve Twilocu örnek, 11
Sinkrosiklotron, 219-22
Sinkrotron, 217-19, 229
ve güçlü odaklama, 230-31
Szilard, Leo, 96
Fiziğin Tao'su (Capra), 189, 190, 191
TASSO (Two-Armed Solenoidal Spectrometer), 337
Taubles, Gary, 242, 353
Tau lepton, 13, 51, 62, 63, 296, 320, 324, 347
Tau nötrino, 62, 320, 324, 343, 347, 361, 395
Taylor, Richard, 305, 306, 308-9
Teleskop, Galileo'nun, 76, 84
Teller, Edward, 96
Tevatron (Fermilab hızlandırıcısı), 5, 26-27, 201, 218-19, 231, 236-37, 378
-dan alınan bilgi miktarı, 356
-da antiprotonlar, 242-44
ve evrenin doğumu, 253
-da kaskat hızlandırma, 232
-da çarpışma sayısı, 248
ve standart model, 324
ve tepe quark, 363
ve Wilson, 226
Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarı'*na da bkz*
Thales, 34-36, 38, 40, 48, 59, 62, 340
Kuramcı(lar), 15-16, 54, 167-68, 329
olarak Bohr, 159
fiziğin geleceği üzerine, 407-8
ve matematiksel simetri, 298
Rabi'nin - tanımı, 166
ve gerçeklik, 63
üzerine, Ting, 313
Her Şeyin Kuramı(HŞK), 364-65, 393
Thomson, George P., 14, 165-66
Thomson, Joseph John, 14, 135, 137-39, 141, 154, 162
ve Bohr, 158
ve Cavendish Laboratuarı, 151, 152
ve deşarj tüpleri, 214
't Hooft, Gerard, 319, 330, 332, 369, 373, 374
Üç-nötrino deneyi, 324
Zamanın anlamı, 401-3
Ting, Samuel C.C., 312, 315, 317
Tinlot, John, 222-24, 265-66
Tollestrup, Alvin, 234
Tomonaga, Sin-itiro, 276, 277, 282
Tepe (taç) quark, 32, 57, 62, 227, 324, 339, 343, 347, 356, 359, 361-63, 369
Torricelli, Evangelista, 104-6
Tortella, Gabriel, 279
Townes, Charles, 6, 348
Transistör, kuantum kuramı ve, 184-85
Çeviri, uzay ve zamanın, 350
"Tetikler", Çarpıştırıcı Tarayıcı Tesisi'nde, 249
T-şört, nihai, 21-22
Tünelleme, 181-82
Turner, Frederick, 12
Turner, Mike, 400
Tuve, Merle, 213
İki nötrino deneyi, 289-94, 295, 309, 324, 328, 371
Uhlenbeck, George, 163
"Morötesi Felaketi," 147
Kesinsizlik ilkesi. *Bkz.* Heisenberg kesinsizlik ilkesi ya da ilişkileri
Tekleştirme, 347-49, 351, 365
ve quarkların asimptotik serbestliği, 335
ve büyük tekleştirme kuramları, 39, 389-91
ve büyük varsayımsal parçacıklar, 359
için araştırma, 39, 100, 120, 132-33, 330
Teklik krizi, 288, 370-72
ve Higgs parçacık, 372, 376
Evren(ler)
-in doğumu, 1-2, 3, 398, 400-401
ve hızlandırıcılar, 253-54, 388

üzerine *İlk Üç Dakika*, 16-17
kabarcık, 38, 60
kapalı ve açık, 394-95
-in oluşumu, 387-88
-in büzülme/genleşmesi, 394-95
-in en erken evresi, 364, 387
-in genleşmesi, 384-86
şişen, 60
-in yumruları, 399-400
-in gözlemlenebilir yarıçapı, 20
-in gerçekliği, 63
-in ısısı, 149, 386
sınırsız sayıda, 38
Yukarı quark, 51, 62, 300, 318, 423, 369
Upsilon parçacık, 13, 320-22
Van de Graaff, Robert, 213
Van de Graaff üreteci, 213
Van der Meer, Simon, 242, 352, 354, 357
Veblen, Thorstein'a gönderme, 14
Vektörler, 91
Veksler, V.I., 228
Velikovsky, Immanuel, 192
Veltman, Martinus, 16, 319, 330, 332, 369, 370, 373, 375
Veneziano, Gabrielle, 393
Sanal parçacıklar, 278-79
Boşluk (boş uzay), 1, 59, 105, 374-75
olarak eter, 101, 374, 375
ve apeiron, 37
Democritus - üzerine, 42, 44-46, 60, 105, 374
ve Higgs fikri, 375
-da geçici parçacıklar, 278
ve Torricelli, 105-6
ve sanal parçacıklar, 278
Volta, Alessandro, 117-18
Walter, Ernest, 213-14
Watt, James, 117
Wattenberg, Alan, 283
Dalga, 125
elektromanyetik, 128, 129
olarak elektronlar, 164-66, 168-71
ışık, 144, 146, 151, 177
madde, 168, 169
olasılık -sı, 170-71
Dalga fonksiyonu, 168, 170, 171, 185
Dalga parçacık çatışması, *Bkz.* Parçacık dalga çatışması
Zayıf kuvvet, 48, 209, 276, 284-85
ve garipliğin korunumu, 303
-in anlaşılmasında krizler, 288-89
ve parçalanma, 325-28
Fermi'nin –i keşfi, 261, 283, 328-29, 371
ve yüksek enerji, 371, 373
üzerine çalışmaya güdülenme, 330
ve nötrinolar, 209, 345
ve Newton, 100
ve denklik, 260-61, 263
ve kuantum alan kuramı, 329
ve quark simetrisi, 310
-in yeniden normalleştirilebilen kuramı, 330
standart modelde, 339
-nin incelenmesi, 287-88
ve simetri, 285-87
ve iki nötrino deneyi, 289-95
Weber, W.E., 117
Weichert, Emil, 135-36
Ağırlıksızlık, 96-96
Weinberg, Steven, 15, 16-17, 319, 330, 331, 351, 373, 410
Weinrich, Marcel, 265-66, 268, 269, 271 273,
Weisskopf, Victor, 182, 275, 276
Westfall, Richard, 86
Wideröe, Rolf, 214, 228, 232
Wien, Wilhelm, 166
Wigner, Eugene, 96
Wilczek, Frank, 15, 334
Will, George, 380
Wilson, C.T.R., 139
Wilson, Robert R., 25, 26, 218, 231, 234 35, 279
Hızlandırıcı ve katedral üzerine, 254
-ın Kongre ifadesi, 199, 226
ve upsilonun keşfi, 322
ve süperiletkenlik, 233-34
Witten, Edward, 393, 394
Dünya Savaşı (II.)
Ve Büyük Bilim, 223-25, 226
-nda gelişen radar teknolojisi, 229

W parçacıkları, 48, 41, 63, 295
-nın keşfi, 357
-nın kütlesi, 358, 362
-nı aramak, 347, 351-52, 354
kısa ömürlü olarak, 356
ve teklik krizi, 371-72
W^+, 325, 329, 330-31, 339, 347, 351, 369, 373
W^-, 325, 329, 330-31, 339, 347, 351, 369, 373
Wu, Chen Shiung, 259, 260, 261, 263,-64, 273, 296
Wu, Sau Lan, 337
X bozonları, 391
Xi parçacıkları, 301
X-ışınları, 144, 146
Yan, Tung Mo, 307
Yang, Chen Ning, 260, 261, 263, 267, 285, 319, 329, 330
Yoh, John, 320, 321, 322
Young, Thomas, 151, 177, 190
Yukawa, Hideki, 220, 250, 275
Zarlino, Gioseffo, 67
Zeeman, Pieter, 163, 368
Zeldovich, Yakov, 400
Z parçacıkları, 48, 51, 63
Z^0, 20, 330-31, 332-34, 339, 347, 351, 357-58
-nın parçalanması, 358-59, 360-61
ve Higgs görüngüleri, 369, 373
ve nötr akımlar, 328
kısa ömürlü olarak, 20, 356
ve zayıf kuvvet, 325
Zukav, Gary, 189, 190-91
Zweig, George, 299, 304

LEON LEDERMAN

Atomaltı bulmacanın çeşitli parçacıklarını keşfetmiştir ve 1988'de Nobel Fizik Ödülünü paylaşmıştır.

1979' dan 1989'a kadar Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarının yöneticisi ve Süperiletken Süper Çarpıştırıcının yapım planlarının mimarıydı. Uzun süre eğiticilik yaptı, Amerikan Bilim Gelişme Derneğinin son başkanı ve *Quarklardan Kozmos*'a adlı kitabın David Schramm'la birlikte yazarıydı.

Şimdi Illinois Teknoloji Enstitüsünde profesördür ve Chicago'nu Hyde Park kesiminde yaşamaktadır.

DICK TERESI

Üç Pound'luk Evren ve *Laser* kitaplarının ikinci yazarıdır. Daha önce *Omni* dergisinin editörüydü; Massachusetts'de Amherst'te yaşamaktadır.

"SON YILLARIN EN AÇIK, EN EĞLENCELİ BİLİM KİTAPLARINDAN BİRİ... FİZİĞİN VE KOZMOLOJİNİN TÜM TARİHİNİ AÇIKLIYOR. YOLDA ÖYLE ÇOK GÜLECEKSİNİZ Kİ NE KADAR ÇOK ŞEY ÖĞRENDİĞİNİZİN FARKINA BİLE VARMAYACAKSINIZ."
—San Fransisco Examiner

"Tanrı Parçacığı"nın, tüm doğanın gizemli yapı taşının büyüleyici keşfinde "Albert Einstein'la Mel Brooks arasında bir köprü" diye tanımlanan Nobel Ödüllü fizikçi Leon Lederman'a katılın.

Abdera'lı Democritus adlı sorgulayıcı bir Yunanlının kızarmış ekmeği kokladığından ve atom'un varlığı sonucuna vardığından bu yana en küçüğün izini sürmek bilimin en uzun araştırması haline gelmiştir. Şimdi şaşırtıcı özgünlükte bir kitapta, evrenin son gizlerinin kilidini açmaya bizi işkence edercesine yaklaştıran Evreka anlarının uzun zincirinden geçerek biz de aynı yolculuğu yapıyoruz. Galileo, Newton, Faraday, Rutherford ve Einstein Lederman'ın asalındaki kahramanlardan bir kaçı; maddenin peçesinin arkasındaki ipuçlarını arayan birbirinden zeki detektifler.

Olağanüstü yalınlığı, jilet gibi nükteleri ve şaşırtıcı anlatı gücüyle *Tanrı Parçacığı* insan merakının sizi de macerada... tüm zamanların en büyük keşfi olacak bir bulmaca çözmede yer almaya çağıran bir şöleni.

"STEPHEN HAWKING'İN KOZMOLOJİDE YAPTIĞINI LEON LEDERMAN PARÇACIK FİZİĞİ İÇİN YAPIYOR."
—Dallas Morning News

"ZEKİ VE AKICI ANLATIMI KADAR GÜLÜNÇ VE DOGMALARA SAYGISIZ ... LEDERMAN KUANTUM FİZİĞİNE KENDİ NÜKTELİ DÖNMESİNİ YERLEŞTİRİYOR."
—Booklist

LEON LEDERMAN atomaltı bulmacanın çeşitli parçacıklarını keşfetmiştir ve 1988'de Nobel Fizik Ödülünü paylaşmıştır. 1979'dan 1989'a kadar Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuarının yöneticisi ve Süperiletken Süper Çarpıştırıcının yapım planlarının mimarıydı. Uzun süre eğiticilik yaptı, Amerikan Bilim Gelişme Derneğinin son başkanı ve *Quarklardan Kozmos*'a adlı kitabın David Schramm'la birlikte yazarıydı. Şimdi Illinois Teknoloji Enstitüsünde profesördür ve Chicago'nu Hyde Park kesiminde yaşamaktadır.

DICK TERESI *Üç Pound'luk Evren* ve *Laser* kitaplarının ikinci yazarıdır. Daha önce *Omni* dergisinin editörüydü; Massachusetts'de Amherst'te yaşamaktadır.

Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San.Tic.Ltd.Şti.
Kadıköy İş Merkezi Neşet Ömer Sok.
No: 10/78-108-125 81300 Kadıköy / İSTANBUL
Tel: (0216) 347 49 63 (pbx) Faks: (0216) 347 76 12
http://www.evrimkitap.com
e-mail:evrim@evrimkitap.com
vkaraoz@hotmail.com

ISBN 975-503-089-1
9 789755 030890