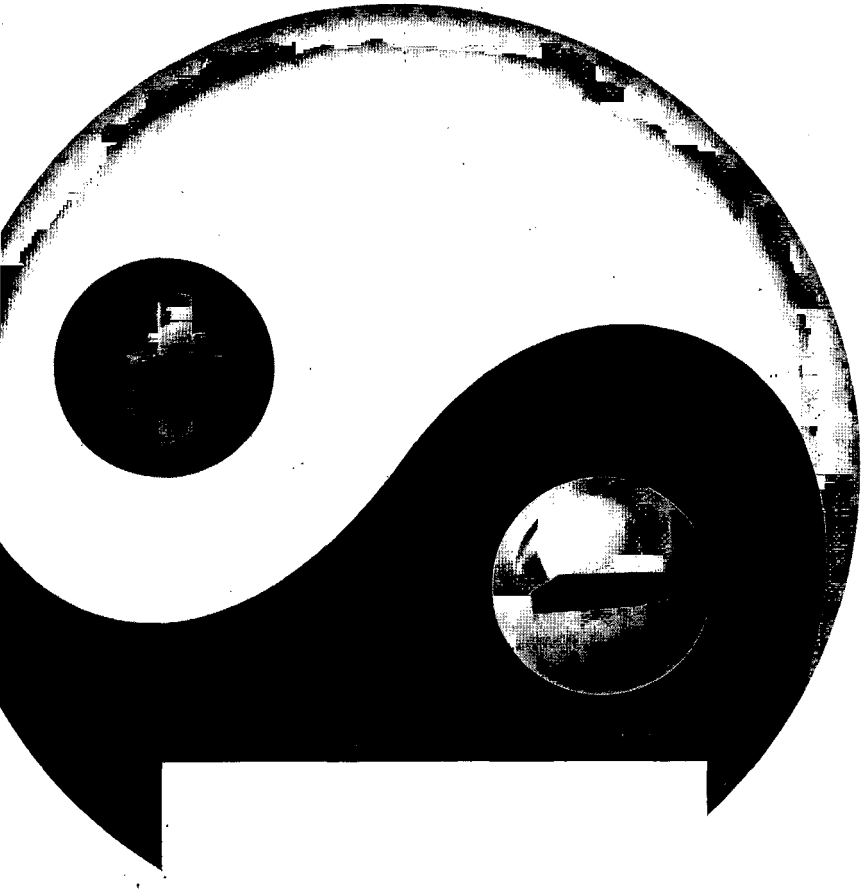
ANTIMADDE

Frank Close



ANTİMADDE

1985 yılında çalışmalarına başlayan **Elginkan Vakfı**, Elginkan Ailesi'nin kurmuş olduğu sanayi kuruluşlarını ebedileştirmek ve ülkemizin özellikle kültür, eğitim, bilim ve teknoloji alanlarında ilerlemesine destek olmak amacıyla kurulmuştur.

Elginkan Vakfının amaçları:

- Kültür değerlerimizi, tarihimizde bizi büyüten örf, adet ve manevi değerlerimizi ve Türkçemizi araştırmak, araştırmaları desteklemek, korumak, yaşatmak ve tanıtmak,
- Bilim, teknoloji ve eğitim alanındaki faaliyetleri teşvik etmek,
- Ülke sanayinin ihtiyaç duyduğu vasıflı işgücünün yetiştirilmesine ve bu suretle ülkenin istihdam imkânlarını artırıcı eğitim çalışmalarına katkıda bulunmak için okullar, eğitim kurumları açmak, işletmektir.

Eğitimi geleceğin yatırımı olarak gören Elginkan Vakfı, ülke sanayinin ihtiyaç duyduğu vasıflı işgücünün yetiştirilmesine katkıda bulunmak üzere 1994 yılında Manisa Ümmehan Elginkan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezi'ni, 2003 yılında Elginkan Vakfı Bolu Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezini ve 2006 yılında İzmit Ahmet Elginkan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezini Türk halkının hizmetine sunmuştur. Bu üç Eğitim Merkezinde bugüne kadar yaklaşık 300.000 kişi ücretsiz eğitim almıştır.

Elginkan Vakfı eğitime katkı faaliyetleri kapsamında; Cahit Elginkan Anadolu Lisesi, İTÜ Ekrem Elginkan Lisesi, Ümraniye Elginkan Vakfı Anasınıfları Binası, E.C.A. Elginkan Anadolu Lisesi, E.C.A. Elginkan İlköğretim Okulu, Ümmehan Elginkan Kız Öğrenci Yurdu ve Yemekhane Binası ve E.C.A. Elginkan Anadolu Lisesi bahçesine Hüseyin Cahit Elginkan Spor Salonunu yaptırarak eğitim camiasına bağışlamıştır.

Elginkan Vakfının başarılı ve maddi imkânları yetersiz lisans düzeyinde öğrenim gören üniversite öğrencilerine yönelik burs programının yanında Türk Dili ve Edebiyatı alanındaki çalışmaları desteklemek amacıyla, Türk Dil Kurumu ile işbirliği içerisinde yürüttüğü Lisansüstü Burs programı da mevcuttur. Geleceğe yatırımın bir diğer bileşeni ise bilimdir. Vakfın 2006 yılında uygulamaya koyduğu Elginkan Vakfı Türk Kültürü ve Teknoloji Ödülleri Programı ile bu alanlardaki çalışmalara katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

Elginkan Vakfı, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi'nin yayımladığı bu ve benzeri bilimsel kitaplara destek olmakta ve bu eserlerin gençlerimiz tarafından da ilgi görmesini amaçlamaktadır.

Elginkan Vakfı

Zeynep Alpar (1982), lisans eğitimini 2004 yılında sosyal antropoloji alanında, yüksek lisans eğitimini ise 2009 yılında sosyoloji alanında tamamladı. Sosyal araştırmalar ve sivil toplum kuruluşlarında çalışmanın yanı sıra, İngilizce ve Türkçe dillerinde çift yönlü çeviri yapıyor.

ANTİMADDE

Frank Close

Çeviren: Zeynep Alpar

BOĞAZİÇİ
ÜNİVERSİTESİ
YAYINEVİ

Frank Close
Antimatter
© Frank Close 2009

Antimadde
© BÜTEK A.Ş. 2013. Tüm hakları saklıdır.

ISBN 978-605-4787-56-2

BÜTEK Boğaziçi Eğitim Turizm Teknopark Uygulama
ve Dan. Hiz. San. Tic. A.Ş.
Boğaziçi Üniversitesi Güney Kampüs, **7**. Lojman,
3. Kat, P.K. 34342, Bebek-Beşiktaş/İstanbul
Telefon: (0212) 359 46 30

Yönetim Yeri:
Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi
Boğaziçi Üniversitesi Uçaksavar Kampüsü
Garanti Kültür Merkezi, Arka Giriş
Etiler/İstanbul

bupress@boun.edu.tr
www.bupress.org
Telefon ve faks: (212) 257 87 27
Sertifika No: 10821

Genel Yayın Yönetmeni: Murat Gülsoy
Yönetici Editör: Ergun Kocabıyık
Baskıya Hazırlayan: Meltem Aravi
Kapak Tasarımı: Kerem Yeğin
Baskı: Acar Basım ve Cilt Sanayi Ticaret A.Ş.
Beysan San. Sitesi Birlik Cad., No: 26
Acar Binası, Haramidere, İstanbul
Telefon: (0212) 422 18 00
Sertifika No: 11957

Birinci Basım: Temmuz 2015 (2.000 adet)

İçindekiler

Teşekkür, ix

1. ANTİMADDE: GERÇEK Mİ KURGU MU?, 11
Antimadde Dünyaya Çarptı mı?, 13 ❖ Kuvvetli Antimadde, 16 ❖ Antimaddenin Sırları, 19 ❖ Doğal Antimadde, 21.

2. MADDİ DÜNYA, 25
Madde ve Antimadde, 27 ❖ Tayflar ve Kuantum Elektronu, 30 ❖ Spin Yapan Elektron, 35 ❖ Einstein'ın *E*'si ve $E = mc^2$, 36.

3. TAŞTAN TABLETLER, 42
Paul Dirac, 42 ❖ Bir Alana Bir Bedava, 46 ❖ Sonsuz Deniz, 50 ❖ Pozitif Elektron da Ne?, 53.

4. KOZMİK BİR KEŞİF, 58
Pozitronun Keşfi, 59 ❖ Blackett ve Oluşum, 64 ❖ Dünya Yüzünde Pozitronlar, 67.

5. İMHA, 72
Ne Madde Ne Antimadde, 72 ❖ Birkaç Antiparçacık Daha, 77 ❖ Kuarklar, ve Tabii Antikuarklar, 80 ❖ Kuarkla Antikuark Karşılaştığında, 85.

6. ANTİMADDEYİ DEPOLAMAK, 87
Her şeyi İmha Eden Şey, 87 ❖ Antiprotonları Depolamak,

90 ❖ Penning Kapanı, 94 ❖ Kapandaki Antiprotonlar, 96 ❖ Antihidrojen ve Antimadde Fabrikası, 99 ❖ LEP, 102.

7. AYNA EVREN, 107

Zamanda Geriye Gitmek mi?, 107 ❖ Acayip Parçacıkların Acayip Davranışları, 112 ❖ Anti-Uzaylıyla El Sıkışmayın, 116.

8. NASIL OLUYOR DA BİRŞEYLER VAR OLUYOR?, 119

Kayıp Antimaddenin Esrarı, 119 ❖ Büyük Patlamayı Başa Sarmak, 125 ❖ Nötrinolar, 127 ❖ Kıyamet mi? Tam da Değil, 131.

9. ANLAŞILAN, 134

Antimadde Kurguları ve Uçuk Kaçık Bilgiler, 134 ❖ Antimaddenin Gücü, 139 ❖ Bol Bol Antimadde, 141 ❖ Fantezi Peşinde: Antimadde Bombası, 144 ❖ Antimadde: Tam Gaz İleri, 146 ❖ Antimadde: Gerçek Sanılan Kurgu, 150 ❖ Antimadde Fabrikası, 154.

EK 1: Antimaddenin Maliyeti, 156

EK 2: "Dirac Kodu", 158

Kaynakça, 165

Dizin, 167

Teşekkür

Bilim üzerine ders verdiğim ve programlara katıldığım otuz yıl boyunca her şeyden çok antimadde hakkında soru soruldu bana. 4 Ekim 2007'de BBC Radyo 4'te yayınlanan *In Our Time* programında Melvyn Bragg, Val Gibson ve Ruth Gregory'yle antimadde hakkında konuştuk. Bu yayının ardından, antimaddeye dair bilgi ve haber soran pek çok e-posta ve mektup aldım. Bunlar arasında rahatsız edici yeni bir özellik vardı: antimaddeden silah yapılacağına, feci yıkımlar yaşanacağına, ve Dan Brown'ın, sözüm ona CERN'de yapılmış bir antimadde bombasının başrolde olduğu *Melekler ve Şeytanlar* kitabının ABD ordusunun çalışmalarından ilham aldığına inanıyordu insanlar.

Bu olaylar bana, durumu netleştirmek ve tekrar eden sorulara bir cevap sunabilmek amacıyla bu kitabı yazma ilhamını verdi. Bu süreçte, orduda yapılan işin gerçeğine ve kandırmacanın bir kısmına neden olan havalı saçmalıklara dair birçok şey öğrendim. Kelimeleri kaleme alan ben olsam da, buradaki bilgiler yıllar boyunca birçok meslektaşımla yaptığımız sohbetlerden geliyor. Verdiğim sayıları kontrol eden, müsveddelerdeki bazı hataları düzelten ve benimle antimadde hakkında uzun uzun konuşan Rolf Landua'ya özellikle müteşekkirim. Betsy Devine, George Kalmus, Michael Marten ve editörüm Latha Menon, hazırladığım taslakların tamamını veya bir bölümünü okudular, önerilerinin birçoğunu kitaba kattım. Antimadde araştırmalarına dair makalelerinin kopyalarını veren Gerald Smith'e, uzatılmış pozitronyum hakkındaki görüşmelerimiz için Stan Brodsky ve Thornton Greenland'e, bana şiiri gösteren ve maddeyle antimaddeyi "Habil'le Kabil kardeştir; onların ebeveyni İlk Ebeveyn'dir (Büyük Patlama); ve bir kardeşi diğerini öldürür" diye anlatan Kathryn

Maris'e ve kaydetmediğim yorumlarıyla yazdıklarımı şekillendiren, CERN'deki ve Oxford'daki meslektaşlarıma teşekkür ederim.

1

ANTİMADDE: GERÇEK Mİ, KURGU MU?

"Karşı konulmaz bir kuvvet, yerinden kıpırdayamayan bir nesneyle karşılaştığında ne olur?" Evrenin gizemleri söz konusu olduğunda lafı dolandırmazdı babam; nasıl Isaac Newton bir tek hareket kanunuyla, Beethoven bir tek senfoniyle yetinmemişse, babamın da birden fazla sorusu vardı: "Dokunduğu her şeyi yok eden bir maddeyi nerede tutabilirsin?"

Bir şeyin önce içine konduğu kabı yutacak olması fikrinin müthiş anlamları var: Neden bununla kalsın ki? Böyle bir şey, içinde bulunduğu hapishaneyi yok edip kaçtıktan sonra çevresini de özgürce silip süpürebilecek, karşısına çıkan her şeyi unutulmaya mahkûm edecektir, buna er ya da geç her birimizi de dahil ederek. Sahiden de kâbusların ve korku edebiyatının konusu karşı konulmaz bir güç olurdu bu.

Cevabın şu olduğuna karar verdim: babamın soruları bir kurguya dairdi. Yanılmışım.

Karşı konulmaz kuvvetlerin yerinden kıpırdayamayan nesnelerle karşılaşması fikri sonsuzluk kavramıyla oynaşan bir kurgudur: Filozoflar birbiriyle rekabet halindeki iki sonsuzluğun doğurduğu paradokslar üstüne fikir yürütebilirler, bu paradokslar "benim sonsuzluğum seninkinden büyük" diye çözülür. Ancak her şeyi tüketen şey başka bir maddedir, kelimenin tam anlamıyla, buna antimadde (madde karşıtı) denir. Bilim kurgu yazarlarının pek sevdiği bu şeyin varlığı yine de gerçek, var olmasının

anlamıysa büyüktür.

Antimadde, maddenin tuhaf, altüst olmuş gölgesidir; bir şeyin tıpatıp aynı olan eşi, aynadaki aksi gibi, sol, sağ olur, pozitif negatife döner. Döküm alındığında geride kalan kalıp gibi, madde ve antimadde gerçekliğin *yin* ve *yang*'ıdır. Deniz kenarında bir çocuk kumdan kale yapmak için ıslak, sert ve katı kumda bir çukur kazdığında, kale maddeyi temsil eder, çukur da antimaddeyi.

Herhangi bir cisim, antimadde ikiziyle karşılaşacak olsa, bunların birbirini tamamlayan özellikleri bir ölüm dansı içinde birbirini götürürdü. Antimaddenin maddeyi göz açıp kapamaya kalmadan ortadan kaldırma konusundaki parlayıcı kabiliyeti, onun cazibesinin sırrıdır. Antimadde sahiden de madde karşıtıdır.

Böylesine tuhaf bir şeyin belki de var olabileceği fikri ortaya atılalı seksen yıl, bunun "pozitron" diye bilinen ilk örneği gözlemleneli üç çeyrek yüzyıl oldu.

Neyse ki hâlâ buradayız, zira antimadde son derece ender bulunuyor, aslında neredeyse yok denecek kadar az, ve bunun bir parçası maddeyi yokluğa sürüklediğinde, antimaddenin kendisi de yok oluyor. Gözlemlenen o ilk antimadde zerresi çoktan ortadan kayboldu, sadece bir tane atomun tek bir elektronunu yok edip gitti. Şu koskoca evrende, bilebildiğimiz kadarıyla norm olan maddedir, antimadde değil. Antimaddenin yok oluşu, Büyük Patlama'nın ardından gerçekleşen ilk olaylardan biri gibi görünüyor. Bugüne kalan maddi evrende, antimadde ile madde arasında çok uzun zaman önce yaşanan Büyük İmha'nın artıkları var; bunun kalıntısı, o muazzam olaydan on dört milyar yıl sonra kâinatı dolduran "mikrodalga arkaplanı", yani elektromanyetik radyasyon. Kötü adam öldü; madde kazandı; madde ve antimaddenin birbirini dengeleyen sonsuzlukları arasında, sonsuzluğu daha büyük olan, maddeydi.

Peki ya bazıları kalmışsa, evrenin enginliği içinde bir yerlerde hâlâ sessiz sessiz saklanıyorsa ve uzaydaki gezintilerimiz sırasında biz de onunla karşılaşırsak; ya da

bunun bir kısmı kozmik ışınlarla göklerden yağarsa, o zaman ne olur? Araba büyüklüğünde bir hacim, içi antimaddeyle dolu olsa, dünyanın her yerinden görünebilecek koca bir patlama yapardı. Böyle bir şey olacak olsa, o zaman antimadde gerçekten de babamın sorusuna örnek olurdu, ama neyse ki benim hayalimde canlandırdığım şekilde her yeri fetheden bir ordu gibi yayılma ve yok etme özelliklerine sahip değil antimadde. Antimadde sahiden de maddeyi yok ediyor, ama kendi kendini de yok etme pahasına yapıyor bunu; işgal ettiği bedeni öldürürken kendi kendini de yok eden kanser gibi bir şey. Dünyamızda yok ettiği her bir madde parçasının, antimadde için bedeli kendisinin de bir parçasının yok olmasıdır. Bunun sonucu ani bir radyasyon patlaması, muharebe meydanından ışık hızıyla kaçan gama ışınları olabilir, ama antimaddenin oluşturduğu tehdit ortadan kalkmıştır artık. İşte bu yüzden hiç antimadde kalmıyor, en azından buralarda: muzaffer madde, antimaddenin hepsini yok ettiği için.

Dolayısıyla antimadde, Kurt Vonnegut'un *Kedi Beşiği* romanında, karşısına çıkan tüm sıvıları donmuş katılara çeviren kurgusal su "buz dokuz"un feci bir versiyonu gibi değildir. Kitapta önce birkaç su birikintisi, ardından dereler, nehirler, sonunda da dünyanın okyanusları "büyük bir vvraoomf"la donar. Antimaddenin yapabilecekleriyse sınırlıdır. Yine de antimaddenin değdiği ve yok ettiği her şey, bizim bildiğimiz bütün başka şeylerden daha patlayıcı bir etkiyle enerji açığa çıkarır.

ANTİMADDE DÜNYAYA ÇARPTI MI?

Eğer antimadde evrenin başka bir yerinde mevcutsa, arada sırada gelip dünyaya çarpmasını bekleriz. Dört milyar yıllık tarihimiz içinde böyle bir şey olmuşsa eğer, buna dair bütün izler de çoktan yok olmuştur; meteoritler çarptıkları yerlerde kraterler oluşturur ve bunların çevresinde dünyaya ait olmayan maddeler hâlâ bulunabilir, ama antimadde bir anda yok olacaktır. Antimadde çarpmasına

dair tek kanıt, çaptığı esnada oluşacak tahripkâr patlama olurdu ve son bir milyon yıla kadar, böyle bir şey olduğunu bize aktaracak kimse de olmazdı. Ama, sadece bir asır önce, 1908'in Haziran ayında, hiçbir zaman tam olarak açıklanamayan, meraklılarının dünya dışından gelen antimadde ile çarpışmanın en yakın tarihli örneği olduğunda ısrar ettiği bir şey oldu.

Moskova'nın 1500 kilometre doğusunda, kuzeyde Kuzey Buz Denizi'nden güneyde Moğolistan'a, Ural dağlarından Mançurya'ya uzanan, nüfusun çok seyrek olduğu, Batı Avrupa'nın tamamından daha geniş bir alan vardır. Bu yalnız kıtanın uzak kalbinde, Tunguzka nehrinin saklı vadisi bulunur. Nehir, yaz aylarında, sonsuz çam ağaçları arasında rengeyiklerinin otladığı ormanlarda ayı ve geyik avlayarak hayatta kalan, Tunguzlar diye küçük bir etnik gruptan alır adını.

30 Haziran 1908 günü hava bulutsuz ve güneşliydi. Sabah saat sekizde çiftçi Sergey Semenov evinin önündeki basamaklarda otururken gökyüzünde devasa bir patlama oldu. Semenov daha sonra bilim insanlarına, ateş topunun güneşin ışığını bile koyu gösterecek kadar parlak ve gömleği için "neredeyse vücudumun üstünde yanacaktı" diyeceği kadar, komşusunun gümüş çatal-bıçak takımlarını eritecek kadar sıcaktı.[1] Bundan bile daha olağanüstü olarak, bilim insanları sonradan olayı araştırdıklarında, patlamanın Semenov'dan neredeyse 60 kilometre uzakta olduğunu anladılar. Bir başka çiftçi, Vasili İlyiç ise "ormanı, rengeyiklerini ve diğer bütün hayvanları yok eden" muazzam bir yangın olduğunu söyledi. O ve birkaç komşusu ne olduğuna bakmaya gittiklerinde geyiklerden bazılarının kömürleşmiş kalıntılarını bulmuşlar, geri kalan her şey tamamen ortadan kaybolduğunu görmüşlerdi.

Göz kamaştıran ateş topu saniyelerle ölçülecek bir zaman diliminde güney doğudan kuzey batıya geçti. Dünyanın her tarafında sismik dalgalar kaydedildi, Rusya ve

[1] Anlatan Cowan ve diğ. *Nature,* 29 Mayıs 1965, s. 861.

Avrupa boyunca atmosfere basınç dalgaları yayıldı. Patlama 700 kilometre uzakta bile görüldü ve strastosfere öyle çok duman ve toz yayıldı ki güneş ışığı yerkürenin parlak yüzünden dünyanın gölge kısmına kadar yansıdı. Dünyanın dörtte biri kadar uzakta, ta Londra'da gün erken doğdu, çünkü gece yarısı gökyüzü sabahın erken saatleri kadar aydınlıktı. Bu olay ABD'de, Chicago'nun üzerinde olmuş olsaydı, bu ışık parlaması Tennessee, Pensilvanya ve Toronto'dan görülecek, gök gürültüsü Doğu Yakasından, güneyde Atlanta'dan ve batıda Kayalık Dağlar'dan bile duyulacaktı. Normale dönüş iki ay aldı.

Uzaydan gelen bir şey atmosfere girmişti. Böyle şeyler daha önce de olmuştu, Arizona'daki devasa meteor krateri de bunu gösteriyordu mesela, bir kaya parçasının, küçük bir asteroidin dünyaya çarpmasının sonucunda oluşmuştu bu krater. Fakat Tunguzka olayı diye anılan olay daha başkaydı; yıllar sonra, ilk maceraperest araştırmacılar 1927'de Çekoslovakyalı bilim insanı Leonid Kulik öncülüğünde o uzak bölgeye vardığında açıklık kazandı bu. Eğer bir asteroid olsaydı gelen, Güneş Sistemi'nden bir taş kitlesi gelip de dünyaya çarpmış olsaydı, bu hikâyeyi bize gösterecek bir delik olması gerekirdi yerde. Fakat hiçbir krater izi yoktu. Tam patlamanın olduğu yerin hizasında geniş bir çamur düzlüğü olduğunu gördüler, sanki bin tane buldozer, Londra kadar bir şehrin temellerini atmak üzere ormanı dümdüz etmişti. Bu kasvetli sahneyi, yanmış ağaç gövdelerinden bir halka çevreliyordu. Bunun ardından ağaçlar patlamanın darbe dalgasının etkisiyle kibrit çöpleri gibi dağılmış, karmançorman bir kasırga tarafından yere serilmişlerdi. Hayat tamamen yok olmuş, çeyrek yüzyıldan uzun zaman boyunca da öyle kalmıştı. O tarihten sonra, bölgedeki toprak otuz metreden daha derine kadar kazıldı, ama meteorit maddeye veya bu istilaya dair herhangi bir ize rastlanmadı.

O gün Dünya'ya çarpan her ne idiyse, kayıplara karışmıştı. 1965'te bir fizikçi, bir kimyacı ve bir jeofizikçiden oluşan bilim insanları üçlüsü orada ne olduğunu nihai

olarak saptayabilme umuduyla bütün delilleri inceledi. Ayakta kalabilmiş tek tük ağaçlar üzerinde yapılan incelemede, burayı vuran darbe dalgasının izleri görüldü. Oluşan rüzgârın kuvvetine dair bir fikir veriyordu bu; ağaçları ne miktarda enerjinin yakacağı da hesaplanabilir. Dünyanın manyetik alanının bu olaydan etkilendiğini gösteren kayıtlar var, sismometreler de bu deprem etkisinin gücünü kaydetmiş.

Işık parlamasının parlaklığına ve süresine dair anlatımlar da hesaba katılmış. Neredeyse bir milyon milyar jul enerjinin, birkaç saniye içinde salındığı sonucuna varmışlar; bu, İngiltere'nin tamamında, bir saatte harcanan enerjiye denk sayılır[2] ve nükleer patlama etkisinde olacaktır.

Olay bugün yaşanacak olsa insan yapımı bir nükleer silahtan şüphe edilirdi tabii; fakat 1908'de, bugün nükleer fizik diye bildiğimiz konunun ortaya çıkmasına daha onlarca yıl vardı. Eğer birtakım nükleer tohumların bu felakette gerçekten payı varsa bunun için doğal bir neden aranmalı. Patlamanın şeklinde ve olay yerinde hiçbir maddi kalıntı bulunamayışı gibi açık kanıtlar, çapı ancak bir metre kadar olan küçük bir anti-kaya halindeki antimaddenin durumdan sorumlu olup, atomların çekirdekleri de dahil olmak üzere her şeyi yok etmiş olmasıyla tutarlıdır. Adli tıp kanıtlarını daha sonra, antimaddeye dair bilinenleri öğrendiğimizde inceleyeceğim.

KUVVETLİ ANTİMADDE

Tunguzka olayının büyüklüğü, antimaddenin içinde gizli kuvveti hatırlatır. Eğer bir miktar madde yakıtınızsa, antimadde bunun içindeki enerjiyi, en azından kuramsal olarak, doğada daha ötesi bulunamayacak şekilde dışarı çıkaracak olan kıvılcımdır.

[2] *Energy Consumption in the UK* (İngiltere'de Enerji Tüketimi), dti raporu, 8. sayfada tüketim miktarı kilogram petrol olarak veriliyor; bkz: <http://berr.gov.uk/files/file11250.pdf> 1 kilogram petrol = 5,3 x 10^7 Jul.

Büyük Patlama'da maddenin oluşumu sırasında çok büyük miktarda enerji, dünya üzerindeki her şeyi meydana getiren atomların içindeki parçacıklarda katılaştı. Kimyasal ve nükleer reaksiyonlarda bu parçacıklar, içerideki o enerjinin bir bölümünün açığa çıkacağı şekilde yeniden düzenlenir, ama bu patlamaların en kuvvetlisinde açığa çıkan miktarlar bile, maddenin milyarlarca yıl önce doğarken içine hapsettiği enerjiye kıyasla devede kulaktan dahi küçük kalır.

Canlılar kimyasal madde fabrikalarıdır; kendilerini oluşturan karbon, oksijen ve başka elementler arasındaki reaksiyonlarda enerji açığa çıkarırlar. Bedeninizin sıcaklığı ile bir patlamanın darbe dalgasının gücü arasındaki fark esasen sürelerle ilgilidir. Bedenlerimizde enerji yavaş yavaş, vücut sıcaklığı olarak salınır, sağlıklı bir insanda bu sıcaklık aşağı yukarı 37 santigrat derecede korunur, ateşimiz çıktığı sıradaysa, virüs gibi istenmeyen işgalcilerle mücadele etmek için reaksiyonlar hızlandığından dolayı birazcık daha sıcak oluruz. Kimyasal bir reaksiyon da asıl olarak bundan farklı değildir, aynı şeyin daha hızlısıdır o kadar. Sıkı bir yemek yemek sizi birkaç saat idare eder, ama bu süre, söz konusu enerjiyi bir milisaniyede verecek kadar sıkıştırılacak olsaydı sonuç kelimenin tam anlamıyla patlayıcı olurdu.

Alışıldık roketler ve hatta en büyük kimyasal patlamalar, etkileyici görünseler de, atomlarda kilit altında bulunan enerjinin ancak milyarda birini açığa çıkarabiliyorlar. Atomun enerjisinin çoğu çekirdeğinde depolanıyor ve o nükleer kıvılcım tutuştuğunda Hiroşima ve Nagazaki'deki kuvvet çıkıyor ortaya, ki kimyasal patlayıcıların gücü bunun yanında hiç kalıyor. Ama orada bile, var olan enerjinin bin parçasından ancak biri salınmıştı. Füzyon reaksiyonlarında (Güneş'in ve hidrojen bombasının gücü bunlardan gelir, bilinen en kuvvetli patlamalar bunlardır) dahi, maddenin içindeki toplam enerjinin sadece yüzde bir kadarı kullanılır. Hepsini açığa çıkarıvermek için o enerjiyi çok zaman önce maddenin içinde katılaştıran sü-

reçleri tersine çevirmemiz gerekir.

Antimaddenin yapabileceği şey işte budur. Bir kilogram antimaddenin yok edilmesiyle, bir kilogram TNT'nin patlatılmasıyla ortaya çıkan enerjinin aşağı yukarı on milyar katı açığa çıkar. Her kilogram yakıt başına bu miktar, nükleer fisyonun üretebileceğinden bin kat, nükleer füzyonun üreteceğinden ise yüz kat daha fazla enerjidir.

Uzay Yolu'nda olduğu gibi, antimaddenin uzay gemilerinin ultra-etkili enerji kaynağı olduğu bilimkurguda, antimaddeye duyulan hayranlığın nedeni işte burada yatar. NASA'daki enerji araştırma programlarında gerçekten gerçek dışı olan düşüncelere konu olmuştur antimadde. Tartışmasız en güçlü silah olacak olarak antimadde bombasıyla da endişe yaratır. Eğer Hiroşima'da ve Bikini Mercan Resifi'nde $E = mc^2$ üzerinden maddenin sadece binde birinin neye yol açabileceğini gördüysek, buradaki gücün tamamını açığa çıkarmanın sonuçları tahmin bile edilemez.

O halde, Ekim 2004'te *San Francisco Chronicle*'da yayımlanan ve "ABD Hava Kuvvetleri gelecekte silahlarda radikal bir güç kaynağını, sıradan maddenin esrarengiz 'aynası' olan antimaddeyi kullanma yollarını araştırmak için sessiz sedasız milyonlarca dolar harcıyor" diye bir haber patlatan yazı karşısında şaşırmamalıyız belki de. Haber dünyaya yayıldı ve Hindistan'da bu iddia yükseltilip, sadece ABD hava kuvvetlerinin değil, "pek çok ülkede savunma uzmanı bilim insanları[nın] antimadde silah sistemleri üzerine çalışmakta" olduğu, bu sistemlerin "insanın elinde tutabileceği kadar küçük" olduğu yazıldı.

Antimadde bilimkurgu alanında çok popüler, ama bir o kadar da gerçek ve bu noktada görünen o ki ordu sahiden de antimadde silahları geliştiriyor. Bu kitapta temel amaçlarımdan biri, antimadde hikâyesinde kurgu ile gerçeği birbirinden ayırt etmeye girişmek.

ANTİMADDENİN SIRLARI

Ordunun en son maceracılıklarına dair haberler doğruysa, ABD Hava Kuvvetleri antimadde silahları geliştirmekte. Bu hikâyeler, Florida'daki Eglin Hava Üssü'nde bulunan Mühimmat Dairesi'nde "devrimci mühimmat" ekibinin başında bulunan Kenneth Edwards'ın 24 Mart 2004 tarihli konuşmasından filizlenmiş gibi görünüyor. Arlington, Virginia'da düzenlenen Nasa İleri Kavramlar Enstitüsü (NASA Institute for Advanced Concepts, NIAC) Konferansı'nın açılış konuşmasını yapan Edwards pozitronların, yani antimaddenin temel parçacıklarının potansiyel kullanımlarını tartıştı. Edwards'ın antimaddenin potansiyelinin tamamen farkında olduğuna ve bundan heyecan duyduğuna şüphe yok. Basında yer alan bazı haberlere göre "düşünceye adeta meydan okuyan" konuşmasında, görülemeyecek kadar küçük antimadde zerrelerinin dahi yok edici olabileceğini vurguladı. Örneğin, 1 gramın elli milyonda biri kadar pozitron, 1995'te Oklahoma City'de Alfred P. Murrah Binası'nda 168 insanın ölümüne ve 500'den fazla insanın yaralanmasına neden olan (FBI'a göre yaklaşık 1800 kilogram TNT'nin kullanıldığı) patlamaya eşit bir infilak yaratmaya yeterdi.

Gazete haberlerini okuyanlar, bu silah sistemleri için "yok edicidir" ve "yıkımın seviyesi hayal edilemez" dendiğini gördüler; "öyle olacak" veya "olabilir" dahi denmiyordu, sadece "dır" ve şimdiki zaman vardı, sanki bu araçların yapımına şimdiden başlanmış gibi. Antimadde silahları çevreye dost gibi sunuluyordu: sıradan atom bombalarının aksine, pozitron bombaları "radyoaktif artıklardan oluşan gaz bulutları" yaratmayacaktı,[3] pozitron ve elekt-

[3] Keay Davidson, *San Francisco Chronicle,* 4 Ekim 2004. Edwards'ın sunumunda "Nükleer Kalıntı Yok" ("*No Nuclear Residue*") sözleri birkaç defa, göze çarpan kırmızı harflerle yazılmıştı. Şurada mevcuttur: <http://www.niac.usra.edu/files/library/meetings/fellows/Mar-04/Kenneth-Edwards.pdf> Bu bölümün tetiklediği paranoyaya bir örnek olarak <http://www.circling.org/archives/000022.html> adresi verile-

ronların yok oluşunun asıl ürünü olarak, görünmez ama son derece tehlikeli bir gama radyasyon patlamasının reklamı yapılıyordu, bu şekilde "sivil nüfusa zarar verilmeksizin çok sayıda asker öldürülebilir"di.

San Francisco Chronicle'dan gazeteciler soru sormaya başladığında, Hava Kuvvetleri, söylenenlere bakılırsa, "çalışanlarını antimadde araştırma programı hakkında kamuya açıklama yapmaktan men etti." Komplo teorisyenlerine göre anlatılan hikâyelerin gerçek olduğunun kanıtı bu, demek ki elde muazzam bir yok etme gücüne sahip antimadde silahları var (en azından mecazen!).

Bu iddiaların ardındaki gerçek ne? Uygulamayı bırakın, ilke bazında yapılabilirliği olan bir şey mi bu? Birinci Körfez Savaşı zamanında ortaya atılan, Saddam Hüseyin'in soğuk füzyon silahlar geliştirdiği iddialarından daha fazla gerçekliği var mı bunun?[4]

ABD Hava Kuvvetleri ve bu devletin diğer organları, "eğer mümkün bir şeyse, bunu yapan biz olalım" umuduyla acayip fikirleri araştırma şöhretine sahip. Bir yüksek enerji fizikçisi olarak, radar ve atom bombasının üretilmesinin ardından, 1950'lerde radyo astronomiye, nükleer fizik ve parçacık fiziğine verilen devlet desteğinin saf bilimsel amaçlardan kaynaklanmadığını kabul etmezsem samimiyetsiz davranmış olurum. Bilimin, atomun çekirdeğinden nasıl bir enerji çıkarmayı becerdiği görülmüşken ve füzyon (hidrojen) bombaları çoktan geliştirilmişken, Soğuk Savaş dönemi sırf "bir sonraki büyük buluş"u Sovyetler Birliği yapmış olmasın diye bilim ve teknolojide gerçekçi olmayan fikirlere kaynak ayrıldığı bir dönemdi. Daha akla yatkın fikirlerin yanında, şarlatanlığa

---

bilir, bu site benzer başka sitelere de bağlantılar vermektedir.

[4] Bu iddia, Soğuk Füzyon hilesini ortaya çıkaran, ancak talihsiz bir tesadüfle savaşın başladığı gün yayımlanan kitabını çıktığı sırada ileri sürülmüştü. BBC, konunun çok hassas olmasından endişe ederek röportajları geri çekti. *New York Times* daha sağlam durarak bu sakandalı başsayfadan verdi.

varanlar da mevcuttu. Telepati, psikokinezi[5] ve yerçekimsizlik boyası bunlardan üçüydü; dolayısıyla hükümetlerin antimadde silahları için antimadde enerji kaynaklarının kullanılma ihtimallerini dikkate almış olması mümkün. Az önce bahsettiğim üç örneğin aksine, antimadde için sağlam kanıtlar var, en azından 1939'da nükleer fisyon için mevcut olan kanıtlar kadar sağlam kanıtlar bunlar; nükleer fisyonla atom bombasının geliştirilmesi uygulamalı bilim ve mühendisliğin kuvvet gösterisi olmuştu. Nükleer silahların geliştirilmesinin başarılması, ABD'de strateji uzmanlarının "yapılabilir" yaklaşımını doğruladı. Dolayısıyla antimadde cihazları gereken özelliklere sahip görünüyor ilk bakışta.

ABD Hava Kuvvetleri'nin belki elli yıldır, antimaddenin temel fiziğine dair çok sayıda bilimsel araştırmaya kaynak sağladığı iddia edilmiştir. Avrupa'daki CERN ve ABD'deki Fermilab gibi açık laboratuvarlarda antimadde araştırmalarında kaydedilen ve 1996'dan itibaren haberlerde yer almaya başlayan ilerlemenin orduyu harekete geçirmiş olması daha muhtemeldir. 2. ve 8. bölümlerde antimaddenin doğasını, tarihini, taşıdığı imkânları ve sınırlılıklarını göreceğiz. Bu bilgilerle, son bölümde antimadde silahı projelerine dair iddialara geri dönüp bunları tartışacağız.

DOĞAL ANTİMADDE

Bir hacim olarak antimadde, buralarda çok küçücük bir hacim halinde bulunmasa bile, bazı doğal süreçler antimaddenin en basit örneği olan pozitronu, yani elektronun anti-dünyadaki aynasını kısacık süreler için üretiyor. Elektrik yüklü parçacıkların en hafifi olan elektron bütün maddelerin atomlarında mevcut olduğuna göre, onun

[5] Hareketin, özellikle cansız nesnelerin ve uzaktaki şeylerin hareketinin, psişik kuvvetler kullanılarak kontrol edilmesi iddiası —*çev. notu.*

antimadde eşi olan pozitron da potansiyel olarak antidünyadaki bütün antiatomların elzem bir parçasıdır. Bizim dünyamızda elementlerin birçoğu radyoaktiftir, atomlarının çekirdeklerinde onları oluşturan parçacıklar daha kararlı bir düzene geçmek için sürekli yeniden yerleşip dururken bu elementler kendiliklerinden enerji saçarlar. Bazı elementlerin atom çekirdekleri "pozitron yayıcı" diye bilinir.[6] Havlamalar nasıl ki köpeklerin içinde bulunmuyorsa, o pozitronlar da söz konusu atomların içinde önceden mevcut değildir; pozitronu yaratan, enerjinin açığa çıkmasıdır.

Pozitron atomdan uçup gider ve ancak bir elektronla karşılaşmaktan kaçınabildiği sürece var olur. Dünyamız atomlardan oluştuğu ve bunların hepsinin de içinde elektronlar olduğu için pozitron kısa süre içinde gidip bir elektrona toslar ve bu birbirine denk zıtların ikisi birlikte, bir gama ışını parlamasında ortadan kaybolurlar, o gama ışını parlamasıysa gözle görebildiğimiz tayfın çok dışında kalan bir ışıktan ibarettir. Lakin özel cihazlar bu ışınları saptayabilirler ve bu imkân tıpta PET taramasında kullanılır: bunun açılımı *positron emission tomography*, yani pozitron yayıcı tomografidir.[7] Antimadde yok edicidir ama çelişkiye bakın ki kontrol altında kullanıldığında can kurtarabilir.

Doğa pozitronları daha büyük ölçekte, Güneş'in merkezinde üretir. Bugün bize parlayan günışığı kısmen, Güneş'in merkezinde yüz bin yıl kadar önce oluşmuş ve anında yok olmuş olan pozitronlar sayesindedir.

Güneş büyük ölçüde hidrojenden, yani en basit elementten oluşur. Sıcaklığın on milyon dereceyi aştığı merkezinde, hidrojen atomları onları oluşturan parçacıklara ayrışır, elektronlar ve protonlar bağımsız ve rasgele etrafta uçuşur. Protonlar zaman zaman birbirine çarpar ve

[6] Enerji, bir madde parçacığı ve bir antimadde parçacığı, yani pozitron olarak cisimleşir.

[7] Eğer PET çektirmişliğiniz varsa, antimaddeler içinize girmiş demektir!

bir dizi süreç sonucunda birbirlerine bağlanıp, sonunda helyumun çekirdeğini oluştururlar; helyum da en basit ikinci elementtir. Bu füzyon reaksiyonundan kalan küldür helyum; kütlesi onu oluşturmuş olan protonlarınkinden daha azdır. Kaybedilen kütle enerjiye dönüşmüştür; $E = mc^2$ iş başındadır, o enerji de işte güneş ışığıdır. Peki pozitronların bununla ne alakası var? Bir helyum çekirdeğinde iki proton ve iki elektron bulunur. Uygun şartlar altında proton nötrona dönüşebilir ve enerji yayar, bunun bir bölümü de pozitron olarak cisimleşir, dünyada tıpta kullanılan pozitron yayıcılarda olanlar gibi.

Pozitron kendini Güneş'in kalbinde bulur ve burada bol miktarda elektron vardır; pozitron anında yok olur ve gama ışınlarına dönüşür. Gama ışınları ışık hızıyla kaçıp gitmek isterler ama için için kaynayan bu yıldızı oluşturan, elektrik yüklü bir sürü parçacık, elektronlar, protonlar onların önünü keser. Bir o yana bir bu yana savrulan, ha bire elektronlar tarafından emilen ve öncekinden daha az enerjiyle geri yayılan gama ışınlarının, yüz binlerce kilometre yukarıda bulunan yüzeye varması yüz bin yıl sürecektir. Böylece ışınlar epeyce enerji kaybeder; önce x ışını özelliğine, ondan morötesine geçer, sonunda da bizim gözümüzle görebildiğimiz gökkuşağı renklerinde dönerler. Dolayısıyla günışığı, Güneş'in merkezinde antimadde üretilmesinin ve kısmen de bunun yok oluşunun sonucudur.

Antimaddenin tarihteki hikâyesi değil bu sadece; Güneş'e gücünü veren füzyon süreçleri siz bunu okurken de pozitron üretmekte ve o pozitronlar siz daha cümlenin sonuna varamadan yok edilmekte. Tam şu anda oluşan gama ışınları şimdiden yukarıya doğru dolambaçlı yollarına çıktılar, bugünden bin asır sonra yüzeye varıp dünyayı aydınlatacaklar.

Hikâyemizde göreceğimiz üzere, pozitron şeklindeki antimadde pek çok insanın sandığından daha yaygın olarak mevcut. Bugün tıpta, teknolojide ve bilimde kullanılıyor pozitron. Doğanın en yüksek hız sınırı olan ışık hızıyla arasında, ancak saatte 50 metre gibi küçücük bir fark

kalana kadar hızlandırılmış bulunuyor. Pozitron ayrıca, elektrik ve manyetik alanların yönlendirdiği demetlerde odaklanıp, madde demetleriyle çarpıştırılarak, bunun sonucunda oluşan enerji şimşeğiyle, küçük bir hacimde kısacık bir an için, Büyük Patlama'nın ilk ânında bütün evrenin yaşadığı koşullar yeniden üretiliyor. Yani antimadde, her şeyin nereden geldiğine dair o büyük sorularımızın cevabını öğrenmemizi mümkün kılıyor.

Bir tek elektronun yok edilmesiyle serbest kalacak miktarda enerjiyi, kimyasal bir patlayıcının bir milyardan fazla atomu ancak üretebilir. Bir gramcık antimaddeyi yok edin, iki düzine uzay mekiğinin yakıt depolarını dolduracak kadar enerji elde edersiniz. Pozitron enerji dönüşümü, savaştan kazananların çok ilgisini çeken devrim niteliğinde bir enerji kaynağı, zira bunun yarım gramı patlayıcı gücü olarak 20 kilotona, yani Hiroşima'daki bombaya eşit.[8]

O halde, antimadde üretilebilecek ve gerek duyulana kadar saklanabilecek olsa, uzay sanayiinin ilgisini çekecek güce ve orduyu heyecanlandıracak silahlar için potansiyele sahip olması şaşırtıcı değil. Bu imkânların fiilen araştırılmakta olduğundan hiç şüphem yok. Bu kitap size antimaddenin hikâyesini anlatacak: antimadde nedir, nasıl keşfedildi, onu nasıl yapabiliriz ve bize ne gibi imkânlar sunup nasıl tehditler oluşturur? Kitap, uzay maceralarının yakıtı ve silah olarak antimadde gerçeğini de ortaya koyacak.

[8] Bkz. Ek 1.

2
MADDİ DÜNYA

Bir antimadde parçası görecek olsanız, onu tanımazdınız; dış görünüş adına hiçbir bakımdan, sıradan maddeden farklı görünmez. Kendini o kadar iyi saklar ki aileden biri sanırsınız; dokunduğu her şeyi yok etme yeteneğiyle tam bir "iç düşman" olurdu. O halde nedir antimadde? Maddenin tersi olduğunu söylemek dile kolay, ama antimaddenin tam olarak nesi "ters"? Antimaddeyle kısacık bir temasın ona dokunan her şeyi unutuluşa sürükleyeceğini bilmek büyük hayranlık uyandırıyor da, antimaddeye bu gücü veren ne?

Antimaddeyi anlamaya başlarken önce sıradan maddenin içine doğru bir yolculuk yapmamız lazım, mesela kendi içimize doğru. Kişisel özelliklerimiz DNA'larımıza, yani karmaşık moleküllerden oluşan minyatür sarmallara kodlanmıştır. Bu moleküller de atomlardan oluşur, atomlarsa bir elementin –mesela karbonun, hidrojenin, demirin– tek başına var olabilen ve yine de o elementin özelliklerini taşıyan en küçük parçalarıdır.

Atomların en hafifi olan hidrojen atomları, atmosferde yukarıya doğru uçup kaçma eğilimindedir. Bu yüzden hidrojen dünyada nispeten az bulunur, evrenin genelindeyse en sık bulunan elementtir. Hidrojenin büyük bölümü Büyük Patlama'nın hemen ardından oluşmuştur ve neredeyse on dört milyar yıl yaşındadır.

Devasa hidrojen topları yıldız olarak ışığa patlarlar,

tıpkı bizim Güneş gibi. Elementlerin tüm çeşitliliğinin oluşum yeri yıldızlardır. Soluduğunuz oksijen atomlarının hemen hemen tamamı, cildinizde ve bu sayfadaki mürekkepte bulunan karbon, Dünya'nın ilk ortaya çıktığı dönemde, aşağı yukarı beş milyar yıl önce yıldızlarda yapıldı. Dolayısıyla esasen hepimiz yıldız tozuyuz, ya da eğer o kadar romantik değilseniz, nükleer artığız, zira yıldızlar, temel yakıtı hidrojen, enerji çıktısı yıldız ışığı; "külü" ya da artık ürünüyse muhtelif elementler olan nükleer ocaklardır.

Atomların ne kadar küçük olduğuna dair bir fikir edinmek için bu cümlenin sonundaki nokta işaretine bakın; içinde yüz milyar tane karbon atomu var ve bu sayı gelmiş geçmiş bütün insanların toplam sayısından daha fazla. O atomlardan herhangi birini çıplak gözle görmeye kalkacak olsanız, noktayı çapı yüz metre olacak kadar büyütmeniz gerekirdi.

Temel karbon atomları farklı şekillerde bağlanabilirler, elmas, grafit ve is karası gibi –kurum, odun kömürü ve taş kömürü. Antimadde de molekül ve atomlardan oluşur. Antikarbon atomlarının üreteceği antielmaslar, bildiğimiz elmas kadar güzel ve sert olurdu. Antikurum kurum kadar kara, antikitaptaki noktalar da bu kitaptaki noktalarla aynı olurdu. Onların da, antikarbon atomlarının görülebilmesi için çapları yüz metreyi bulana kadar büyütülmesi gerekirdi. Bunu yapmak kabil olsaydı eğer, antikarbonun en ufak zerrelerinin karbondan ayırt edilemeyeceğini görürdük. Yani en temelde, atomlar seviyesinde dahi madde ile antimadde birbirinin aynı görünür: Aralarındaki zıtlığın nedeni bundan daha da derinde bir yerde yatar.

Atom çok küçük bir şeydir ama en küçük şey o değildir. Atomun içine girdiğinizde ve onları oluşturan temel tohumlarla karşılaştığınızda anlaşılır maddeyle antimadde arasındaki derin zıtlık.

Her atomun içinde bir iç yapı labirenti vardır. Merkezde yoğun ve sıkışık bir çekirdek bulunur ve atomun kütlesinin hemen hemen tamamını o oluşturur. Mürek-

kep noktamızı yüz metreye kadar büyütmek atomu görmemize yetecek olsa da, atom çekirdeğini gözle görmek isteyecek olursanız noktanın genişliğini 10.000 kilometreye çıkarmanız, yani Dünya'nın iki kutbu arasındaki mesafe kadar büyütmeniz gerekir. Antinoktalar ve antiatomlar için de aynı şey geçerlidir. Maddeyle antimadde arasındaki incecik ayrım, ancak bunlar bu kadar ayrıntılı olarak görülebildiğinde kendini göstermeye başlar.

Einstein'ın görelilik kuramıyla birlikte uzayın ve zamanın iç içe geçişi, atomların içinde hüküm süren, imkânsızmış gibi görünen geçici belirsizlik âlemiyle bir olduğunda olağanüstü bir sonuç çıkar ortaya: Doğanın, maddenin sadece bildiğimiz basit tohumlarıyla işlemesi mümkün değildir. Atomaltı parçacıkların bütün çeşitleri için doğa bir de olumsuz görüntüyü, ayna aksindeki zıddını kabul etmeye mecburdur; bu ters parçacıkların her biri de alıştığımız parçacıklar için geçerli olan katı kurallara aynen uyarlar. Tanıdık parçacıklar nasıl atomları ve maddeyi oluşturuyorsa, onların zıtları da ilk bakışta normal madde gibi görünen ama temelinde ona hiç benzemeyen yapılar oluşturabilir.

MADDE VE ANTİMADDE

Atomların içinde fırıl fırıl dönen elektrik akımları, kuvvetli manyetik alanlar ve bazı şeyleri kendine doğru çeken, bazılarını da iten elektrik kuvvetler vardır. Antimadde atomlarında da mevcuttur bu akımlar, alanlar ve kuvvetler, ama kutupları maddeninkilerin tam tersidir: Kuzey kutuplar güney olur, pozitif yükler de negatif. İçlerindeki tek tek atomları ya da antiatomları görebileceğimiz şekilde 100 metreye büyütülmüş mürekkep noktamızı ve antinoktamızı düşünün. Küçücük bir mıknatısı, bir atomun dış bölgelerine doğru nazikçe yaklaştırın, sonra bir de antiatoma doğru götürün ve bakın ne oluyor. Birinde sola doğru olan yumuşak dönüş ötekinde sağa doğru, bir ayna görüntüsü yayı çizer; mıknatıs az önce çekildiği noktadan

şimdi itilir; önceden reddedildiği yere şimdi yapışmaktadır; daha önce güvendeyken şimdi yok olmakla karşı karşıyadır.

Bu kuvvetlerin kaynağı, elektrik yüklü olan atom çekirdeğidir. Mıknatısların kuzey ve güney kutupları olması ve bundan gelen kuvvetle birbirlerini itip çekmeleri gibi, elektrik yükünün kuralı da aynı yüklerin birbirini itip zıt yüklerin birbirini çekmesidir. Normal maddede atom çekirdeği pozitif (+) yük taşır; elektronlar, yani atomların dışına yakın yerde bulunan minnacık ve çok hafif parçacıklar ise negatif (-) yüklüdür. En basit element olan hidrojenin atomu, merkezde yer alan ve tek bir protondan oluşan çekirdeğin etrafında uzaktan dolaşan tek bir elektrondan oluşur.

Negatif yüklü elektronların uzaktan uzaktan merkezdeki pozitif yüklü çekirdek etrafında dolaşmalarını sağlayan şey, birbirine zıt elektrik yüklerinin karşılıklı olarak birbirini çekmesidir. Molekülleri ve makroskopik yapıları (kristaller, dokular, taşlar ve canlılar) düzenleyen ve bir arada tutan incecik bağlar, atomların derinliklerinde işleyen işte bu elektrik kuvveti ve manyetik kuvvettir (mıknatıslık kuvveti).

Kütleçekimi (yer çekimi) kuvveti galaksilere, gezegenlere ve yere düşen elmalara hükmeder, ayaklarımızı yere bastırır. Lakin bizi şekillendiren ve yapılandıran, elektrik ve manyetik kuvvetlerdir. Elektromanyetik kuvvet kütleçekimi kuvvetinden çok daha güçlüdür, fakat toplu haldeki maddede pozitif ve negatif yükler arasındaki itme ve çekme güçleri birbirini götürme eğilimindedir, böylece her şeyi çeken kütleçekimi daha baskın çıkar. Dolayısıyla, vücudumuzdaki atomların ta derinlerinde yoğun elektrik kuvvetleri etkin olsa da biz bunun pek farkında olmayız ve kendimiz de elektrik yüklü değilizdir.

Ne var ki bu iç yapıya dair pek çok ipucu vardır ve pozitif ve negatif yüklerin etkilerinin birbirini tam olarak götürmediği durumlarda belirginleşir bu ipuçları. Dengelenmemiş elektrik yükünün birikmesi parlamalara neden

olur, tıpkı şimşek çakmasında olduğu gibi; mıknatıs bir metal kütlesini yukarı kaldırabilir ve bunu yaparken bütün dünyanın uyguladığı, aşağı doğru kütleçekimini aşar. Daha büyük ölçekte, Dünya'nın merkezinde fırıl fırıl dolaşan elektrik yükler bütün gezegeni devasa bir mıknatısa dönüştürmüştür; pusulanın ibresi kuzey ve güney kutuplarını göstererek Dünya'nın manyetik alanına uygun olarak hareket ettiğinde bunu görürüz.

1928'de antimaddenin hikâyesi başladığında bilinenler bu kadardı. Antimadde destanının ilk bölümünün başrol oyuncuları Paul Dirac, Carl Anderson ve Robert Millikan'ın anladıkları haliyle atomlar, yoğun ve kocaman proton yığınlarıyla, kozmik bir vals içinde onların pozitif elektrik yüküne yakalanan negatif yüklü ve hafif elektronlardan oluşuyordu.[1] Bu bilgiyle kuşanarak antimadde fikrinin değerini anlamaya başlayabiliriz.

Toplu haldeki maddenin varlığının ardında yatan elektrik ve mıknatıslık kuvvetleri, maddenin hangi zerrelerinin negatif yük taşıyıp hangilerinin pozitif olduğunu önemsemez. Bütün negatifleri pozitife, bütün pozitifleri de negatife çevirecek olsak, ortaya çıkan kuvvetler yine aynı olurdu ve bunların oluşturduğu yapılarda da bir değişiklik olmazdı. Negatif yüklü bütün elektronların onun yerine pozitif olduğunu, buna karşılık protonların da negatif olduğunu hayal edersek, atoma dıştan bakıldığında hiçbir şey değişmiş olmazdı.

Yükleri bu şekilde birbiriyle değiştirmek, madde dediğimiz şeyi antimadde dediğimiz şeye dönüştürmektir. Bir antihidrojen antiatomu, negatif bir "antiproton"la onun etrafındaki pozitif yüklü "pozitron"dan oluşacaktır. Maddenin böyle bir ayna aksinin var olması gerektiğini ilk ön-

[1] Elektrik kanunlarına göre, protonlardan oluşan bir kümenin, aralarındaki karşılıklı itmeden dolayı dağılması beklenirdi. Ancak deneyimler ve deneyler burada, protonlara işleyip elektronlara işlemeyen daha güçlü başka bir kuvvetin de etkili olduğunu ve protonları sıkı topaklar halinde bir araya getirerek atom çekirdeğini oluşturduğunu gösteriyor.

gören kişi olan Paul Dirac, 1933'te Nobel Ödülü'nü alırken bu bilmeceyi şöyle özetlemişti:

> Dünya'nın (ve büyük ihtimalle bütün Güneş Sistemi'nin) negatif elektronlar ve pozitif protonları baskın olarak içermesini daha ziyade bir tesadüf olarak görmemiz lazım. Bazı yıldızlar için durumun bunun tersi olması, o yıldızların asıl olarak [pozitif yüklü elektronlardan] ve negatif protonlardan oluşması pekâlâ mümkündür.

Büyük önseziyle, pozitif ve negatif arasındaki derin simetrinin tamamen farkında olarak, yıldızların yarısının bir türden, diğerinin de ötekinden olabileceği yorumunda bulundu Dirac. Bugün bizim madde ve antimadde diyeceğimiz şeyler bunlar işte, ve geceleri gökteki yıldızlara bakarken iki çeşidi birbirinden ayırmamızın yolu yok.

TAYFLAR VE KUANTUM ELEKTRONU

Birbirine zıt bu iki varlık biçiminin aralarındaki farkı gösterdikleri tek yer atomaltı âlemidir. Kanunları bizim dünyanın genelinde tecrübe ettiğimiz şeylere göre garip kaçan bir ülkedir burası. O kanunların getirdiği sonuçları anlamaya çalışırken tesadüfen karşılaştı bilim, antimaddenin kaçınılmazlığıyla.

Isaac Newton'ın, sayılamayacak kadar çok milyar atomun uyum içinde hareket ettiği gözle görülen cisimlerin davranışlarını açıklayan hareket kanunları, bilardo toplarının nasıl çarpışacağını kesin olarak öngörebilir. Tek tek atomlar ve onları oluşturan parçacıklar içinse işler bambaşkadır; bunlar bir şeyin olmasının ancak göreli ihtimallerinin öngörülebileceği bir belirsizlik dünyasındadır. Bilardo topları birbirine belirli bir biçimde çarparken, atom demetleri, bir açıklığın kırıp dağıttığı su dalgalarının yüksek ve alçak noktalarına benzeyen yoğunluk ve seyreklik alanları oluşturarak bazı yönlere diğerlerinden daha fazla saçılır.

Tek tek atomların davranışı rasgele gibi görünebilir,

ama aslında öyle değildir. Atomlar "kuantum mekaniği"nin kanunlarıyla tanımlanır, bu kanunlar da belli bir atomun şöyle veya böyle yapma olasılığını öngörür. Bir bozuk parayı attığımda yazı mı tura mı geleceğini kesin olarak öngöremem, ama bir milyon tanesini atsam tura gelenlerle yazı gelenlerin birbirine oranının neredeyse 1 olacağını kesin olarak bilebilirim ve ne kadar çok atış yaparsam o kadar daha kesin konuşabilirim. Atomlarda da durum böyle işte. Kuantum mekaniğinin temel kuralları her bir atom için geçerlidir; tek bir atomun ona bir şey çarptığında nasıl tepki vereceğini kesin olarak öngöremem; mecazla ifade edecek olursak, yazı mı gelecek tura mı söyleyemem, ama milyonlarcası söz konusu olduğunda yazı ve turanın rast gelme şansı eşitlenir. Çok sayıda atom söz konusu olduğunda da, altta yatan kuantum kanunlarından Newton'ın kesin kanunları ortaya çıkar.

Newton'ın kanunları, maddeden oluşan topların hareketinin, antimaddeden oluşan toplarınkiyle tıpatıp aynı olacağını öngörüyor: milyarlarca atom nasıl davranırsa, milyarlarca antiatom da öyle davranır. Fakat atomların her birinin içinde maddenin ikikutuplu doğası pusudadır; kuantum kanunlarının hüküm sürdüğü yer de işte burasıdır. Bu kuantum kanunları, Einstein'ın görelilik kuramıyla bir araya getirildiğinde tek bir madde biçiminin yeterli olmadığını ortaya çıkarır: Büyük Patlama'nın yaratıcı hareketi, zıtlıkları birbirini dengeleyen iki çeşit üretmiş olmak zorundadır.

Popüler anlatımlarda atomlar çoğu zaman minyatür güneş sistemleri olarak tasvir edilir, gezegenlere benzeyen elektronlar çekirdek güneşin etrafında dönerler: ortadaki büyük şeyin etrafında dolaşan küçük şeyler. Gelgelelim, bu resim ortaya atılır atılmaz insanları endişelere sürükledi.

Dünya'nın Güneş'in etrafında dolaşması bir yıl alıyor ve Dünya dört milyar yıldan daha uzun zamandır zararsız ziyansız bu şekilde dolaşıyor. Hidrojen atomunda, merkezdeki protonun çevresinde ışık hızının yüzde biri hızıyla dönen ve her saniye bir milyon kere milyar

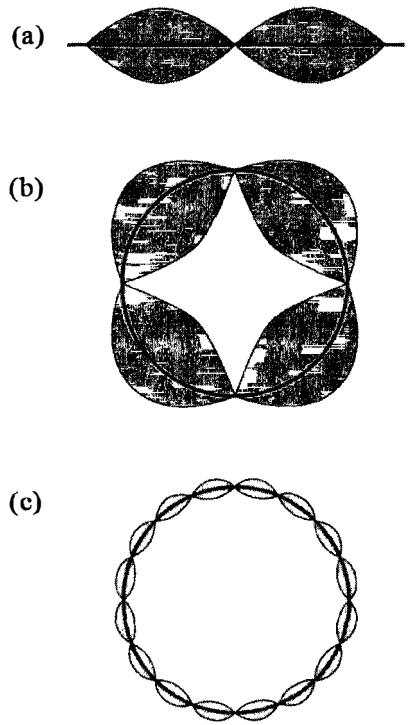
tur atan elektronla kıyaslayın bunu. Bir başka deyişle, elektronun saniyenin milyonda birinde protonun etrafında yaptığı dönüş sayısı, Dünya'nın bütün tarihi boyunca Güneş'in etrafında yaptığı dönüşlerden daha fazla. Bu fikirlerin ortaya çıkmaya başladığı yirminci yüzyıl başında geçerli sayılan kurama göre böyle bir elektron o kadar çok elektromanyetik radyasyon yayardı ki spiral çizerek bir ışık parlamasıyla çekirdeğe gömülmesi gerekirdi. Peki o zaman atomlar nasıl var olabiliyor; herhangi bir şey nasıl oluyor da var oluyor?

Bu sorunun cevabını kuantum kuramı verdi. Bir milimetrenin milyonda birinden daha kısa mesafelere, yani atomların boyutuna indiğinizde, gündelik şeylere dair deneyimimiz burada ne bekleyeceğimize dair iyi bir rehber değildir artık.

1900'de Max Planck ışık dalgalarının foton denen ayrı ayrı mikroskopik "paket"ler veya "kuantum"lar[2] halinde yayıldığını göstermişti; 1905'te de Einstein ışığın uzay boyunca yol alırken bu paketlerin içinde kaldığını gösterdi. Kuantum kuramının, yani parçacıkların insana imkânsız gibi gelen özelliklere sahip olabileceği fikrinin başlangıcıydı bu; parçacıklar ne orada ne de burada, ama "muhtemelen burada, belki de orada" olabilirdi. Kuantum mekaniğinde kesinliğin yerini olasılık alır, olasılık bir dalga gibi yükselir ve düşer. Bu fikrin ortaya atılır atılmaz gösterdiği başarı, atomların nasıl olup da var olduğunu açıklamak oldu.

Kuantumun olasılık dalgaları belli bir uzunluktaki ipin dalgalanması gibi canlandırılabilir. Eğer ip, kement gibi, bir daire oluşturacak şekilde kıvrılırsa, ipin üzerinde oluşacak her dalgalanmanın uzunluğu, ipin çevre uzunluğu içine yerleşecek kadar olacaktır. Bu halkayı saatin kadranı gibi düşünün. İp üzerindeki dalganın tepe noktası saat 12'ye, dip noktası da 6'ya denk gelirse, bir sonraki tepe noktası yine saat tam 12'ye mükemmel şekilde oturur. Hâlbuki zirvesini 12'de yapıp en düşük noktaya

[2] "Kuantum" miktar, nicelik anlamına gelir —*çev. notu.*



Şekil 1: Dalgalar var olabilmek için çembere tam olarak sığmak zorundadır.

saat 5'te gelecek olursa, bir sonraki zirveyi saat 10'da bulacak demektir, böylece dalganın vuruşuna göre saat 12 noktası zamanın dışında kalacaktır. Danimarkalı fizikçi Niels Bohr 1912 yazında, atomlarda dolaşan elektronların dalgalarının da her bir çembere mükemmel şekilde oturması gerektiğini anladı; elektronlar kafalarının estiği yere gidemiyorlar, sadece dalgalarının mükemmel şekilde yerleştiği bu yollar üzerinde seyredebiliyorlar. Dolayısıyla spiral çizerek çekirdekte yok olmaya da koşamazlar: atom kararlıdır. (bkz. Şekil 1.)

İki yüzyıllık bir sır olan atom tayfı fenomenini de açıkladı bu kuantum dalgaları. Atomlardan ışığı silkeleyip atarak kendilerine özgü tayflarını ortaya çıkarmalarını

sağlamak nispeten kolaydır. Bir elementi, mesela sodyumu ateşe atıp, oluşan ışığa prizmadan veya kırınım ağından bakarak yapabilirsiniz bunu, böylece ışık onu oluşturan renklere ayrılacaktır. Bu renkler arasında bir dizi parlak ışık olur, mesela sodyum söz konusu olduğunda, özellikle yoğun olan iki tane sarımsı turuncu çizgi vardır ki bunlar sodyum sokak lambalarının tanıdık rengini verirler. Benzer şekilde, cıva buhar lambaları mavimsi yeşil parlar, yıldızların pek çok resminde görülen pembe ışıksa hidrojenin gökkuşağının uzak kırmızı ucundan bazı gözle görülür ışıklar yaymasıyla ilgilidir. İşte bu güzel renkli desenler bir açıklama istiyordu: Buna neden olan nedir? Desenler neden bir elementten ötekine değişiklik gösterir? Şimdi biliyoruz ki bunlar, atomların içindeki elektronların kuantum hareketlerinin sonuçlarıdır.

Işık yalnızca, bir elektron bir yoldan diğerine geçtiği sırada salınır. Eğer ilk yol sadece yüksek enerjili elektronları kabul ediyorsa ve elektron enerjinin daha düşük olduğu bir yola geçerse, iki enerji seviyesi arasındaki fark, salınan ışık fotonuna gider. Toplam enerji aynı kalır, sadece dağılımı yeniden düzenlenmiştir. Dolayısıyla bu fotonlar sadece belirli ayrık[3] miktarlarda enerjiye sahip olabilirler ve bu miktarı da elektronun yapabileceği belli sıçramalar tayin eder. Fotonların sahip olduğu enerjilerin ayrık değerleri gözümüze değişik renkler olarak görünür. Bunun sonucunda, salınan ışık her atomik elemente kendine özgü bir renk tayfı verir. Kozmosun her tarafında hangi atomik elementlerin mevcut olduğunu, o elementler bize ışık tayflarını gönderirken işte bu renkli imzaları sayesinde anlayabiliyoruz. Bu rengârenk desenler, temel parçacıkların dünyasına hükmeden, düzenlenmiş olasılığın kuantum dalgalarının gözle görülen kanıtlarıdır.

[3] Miktarları temsil eden sayılar arasında süreklilik yoksa matematikte bunlara ayrık sayılar (*discrete numbers*) denir. Yani, bir şeyin miktarı, mesela 1.01, 1.02, 1.11, 1.2 gibi değil de yalnızca 1, 2, 3 diye ifade edilebiliyor, 1 ile 2 arasında başka değer alamıyorsa, ayrıktır —*çev. notu.*

SPİN YAPAN ELEKTRON

Maddi dünyamızın gizemli gölgesi antimadde âlemini bize elektron takdim edecek. 1897'de J. J. Thomson, elektronu atomdaki hapishanesinden bağımsız olarak, yalıtılmış ortamda ilk kez ürettiğinden beri biliyoruz ki elektronlar vardır ve tayfın kaynağı da atomların içindeki elektronların varlığıdır. Thomson bunu şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtlamadan önce bile bilim insanları böyle bir atom yapıtaşı bulunduğunu düşünüyorlardı, hatta bunun hem elektrik yüküne, hem de iki uçlu bilindik çubuk mıknatısın kuzey ve güney kutupları gibi iki yönlü bir manyetizmaya sahip olduğunu da çıkarmışlardı. Yarım asır sonra bu durum Paul Dirac tarafından açıklanacak ve yaptığı açıklama onun antimaddenin varlığını öngörmesini sağlayacaktı.

1896'da Hollandalı tayf ölçümcü (spektroskop) Peter Zeeman, örneklerinin yanında kuvvetli mıknatıslar bulunduğunda sodyumun yaydığı parlak sarı çizgilerde çok küçük bir değişiklik olduğunu fark etmişti. Bu çizgiler normalde çok keskindir ve çok net tanımlıdır, ancak Zeeman manyetik alanda çizgilerin genişlediğini görüyordu. Daha sonra geliştirilen daha güçlü ölçüm cihazları, genişleme gibi görünen olayın aslında bir çizginin ikiye veya daha fazla çizgiye ayrılması olduğunu gösterdi. Bu tek tek çizgilerin ayrışması Zeeman'ın göremeyeceği kadar küçük ölçekliydi; geniş bir bulanıklık gibi görünüyorlardı, miyop bir insanın onları gözlüksüz bakarken göreceği gibiydiler.

Bu durumun elektronun manyetizmaya sahip olmasından kaynaklandığı anlaşıldı sonradan. İki mıknatıs nasıl ki kutuplarının yerine göre birbirini itebilir veya çekebilirse, elektronun manyetik alandaki konumu da onun enerjisini etkiler. Buna bağlı olarak, salınan fotonların enerjisi de küçük bir değişiklik gösterecek ve tayf çizgilerinin oluşturduğu desen böylece değişecektir.

"Zeeman etkisi" elektronun kendi kuzey ve güney kutbu olan küçük bir mıknatıs gibi davranabileceğini ortaya

koydu. Sanki elektronun kendinden menkul bir dönme hareketi vardı içinde; "spin" denen bu hareket bir manyetik alanda, saat yönünde veya saat yönünün tersine, iki yöne doğru da olabilir. Ölçülebilir bir boyutu dahi olmayan bir elektronun bir de "spin" yapması fikri gündelik hayatımızın terimlerinde anlamsız kaçabilir, ancak elektronun bu acayip özelliğinden bahsederken fizikçilerin rahatlıkla kullandığı bir kelimedir spin. Elektronun böyle bir ikiliğe sahip olması hipotezi atomun tayf ölçümünde (spektroskopi) bol miktarda veriyi açıkladı, ama uzun zaman boyunca "spin" fikri bir sürü veriyi açıklayabilmek adına yapılmış çaresizce bir girişim sayılmanın pek de ötesine geçemedi. Bu özelliğin kaynağı neydi? Spin neden oluyordu? Bunlar ancak Dirac'ın görelilikle kuantum mekaniğini birleştirmesi sayesinde çözülebilecek gizemlerdi.

EINSTEIN'IN *E*'Sİ VE $E = mc^2$

Kuantum kanunları ve Einstein'ın görelilik kuramı bir araya getirildiğinde hem spin hem de antimadde fizikî dünyanın başka türlü olamayacak özellikleri olarak ortaya çıkar. Enerjinin aslında ne olduğunu ilk gösteren Einstein'dır, maddenin aslında yakalanmış enerji olduğu gibi olağanüstü bir sonucu ortaya koymuştur. Enerji donup madde parçacıklarına dönüşürken negatif bir iz bırakır, bu da antimaddedir. Bu derin hakikati ilk anlayansa Paul Dirac olmuştur.

Hareketin klasik kanunları 300 yıldan uzun zaman önce Isaac Newton tarafından keşfedilmişti. Önce Newton'ın eylemsizlik kanunu gelir: cisimler "tembel"dir, bir şey değişiklik getirmezse cisimler durdukları gibi durular veya sabit hızla hareket ederler. Miskin durumlarından çıkarılmak veya istikrarlı hareketlerinin değişmesi konusunda bir isteksizliği vardır cisimlerin: Deneyim bize, bir yaprağı hareket ettirmenin bir kurşun kitlesini hareket ettirmekten daha kolay olduğunu gösterir. Newton, bu

iki cisme aynı miktarda kuvvet uygulandığında, bunların birbirinden farklı ivmelerinin, onların içindeki eylemsizliğin yani kütlelerinin ölçüsü olacağını ileri sürmüştür.

Babamın sorduğu ilk bilmecenin ana karakteri olan yerinden kımıldayamayan cisim, sonsuz bir kütleye sahip olmak durumda olacaktır. Sonsuz kütleye sahip olmak ise, en azından Newton'ın mekaniğinde mümkün değildir, zira evrendeki hiçbir kütle, elbette aralarında muazzam olanlar varsa da, sonsuz olamaz. Gelgelelim, Einstein görelilik kuramıyla dünya görüşümüzü baştan yazdığında, uzay katlanıp zaman çarpıtırken, bir şeyin sonsuz kütleye sahip olması ve ivmeye sonuna kadar direnç gösterebilmesi fikri bir gerçekliğe dönüştü.

Eğer bir cisim hareketsizse ve siz bir saniye boyunca ona kuvvet uygularsanız, cismin hızı bir miktar artacaktır, diyelim saniyede 10 metre olacaktır. Şimdi aynı miktarda kuvveti bir daha uygulayın. Newton'a ve günlük tecrübelerimize göre hız yine saniyede 10 metre artacaktır. Bunu tekrarlarsanız cisim sınırsızca hızlanacaktır.

Fakat Einstein der ki eğer hızın değişimini çok hassas bir şekilde ölçerseniz, cisim durağan haldeyken kuvvet uygulandığında saniyede 10 metre hıza yükselmiş olmakla beraber, bir sonraki itmede saniyede 10 metreden birazcık daha az hızlanacak ve daha hızlı gittikçe de ivme kazanması giderek zorlaşacaktır. Eğer cisim ışık hızına yakın bir hızla hareket ediyor olsaydı, kuvvet uygulanması cismin hızını hemen hemen hiç değiştirmeyecekti.

Newton'ın kanunları hareketin tam kanunlarına mükemmel bir yaklaşıklık gösterir, yeter ki ışık hızına kıyasla yavaş hareket eden cisimleri ele alıyor olalım. Işık saniyede 300 bin kilometre hızla aktığı için Newton'ın kanunları günlük ilişkilerde son derece doğru sonuçlar verir; ancak eğer ışık hızına yüzde 1'den az farkla yaklaşan hızların söz konusu olduğu bir parçacık hızlandırıcısındaki elektronların davranışlarıyla ilgileniyorsanız, doğruya daha yakın olan Einstein tanımını kullanmanız gerekir.

Einstein'ın görelilik kuramında bir cisim daha hızlı

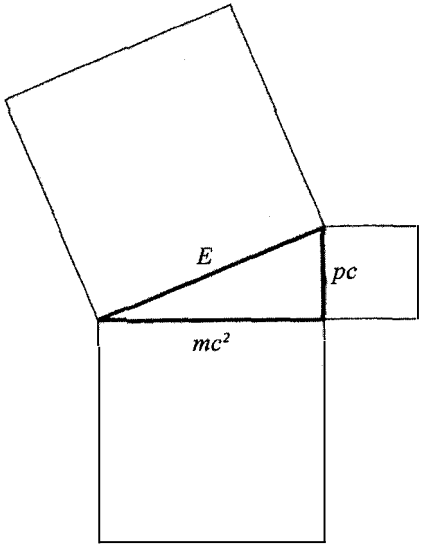
seyrettikçe, kütlesi de giderek büyür. Cisim ışık hızına yaklaşırken kütlesi de çok hızlı büyür, bu da cismi ivme kazanmaya her an bir öncekinden daha dirençli hale getirir. Sonuç olarak, ışık hızına ulaşmaya çalışırken kütle de sonsuza ulaşır. Dolayısıyla, kütlesi olan bir nesneyi ışık hızına ulaştırmak imkânsızdır; ışık hızıyla seyredebilenler sadece kütlesi olmayan şeylerdir, tıpkı ışığın kendisi gibi!

Eylemsizliğin hız ile birlikte değiştiği düşüncesi "sağduyumuza" aykırı gelse de, yüksek enerjili parçacıklarla çalışmaktan yıllar boyunca edinilen tecrübenin de gösterdiği üzere doğrudur bu. Madde parçacıkları CERN gibi laboratuvarlarda, karşı yönden gelen antimadde demetleriyle buluşmak üzere pistte hızla yol alırken zamanlama kritik önemdedir ve parçacıkların tam zamanında gelmesi için göreliliğin yardımını almak gerekir.

Bunun bir anlamı şudur: Enerji ile hareket arasında Newton'dan bu yana bilinen ve kuantum mekaniğinin öncüleri tarafından da doğru olduğu varsayılan, atomların ve elektronların davranışını açıklamakta ilk başta başarılı olan ilişki, sanılandan daha inceliklidir aslında.

Einstein'ın görelilik kuramından çıkan şaşırtıcı ve çok şeyi etkileyen sonuçlardan biri, durağan bir nesnenin bile enerjiye sahip olmasıdır, enerji nesneyi oluşturan atomların içine kapatılmıştır. Bu enerjinin miktarı, Einstein'ın meşhur denklemi $E = mc^2$'deki "E"dir; burada m kütle miktarı c ise ışık hızıdır. Enerji maddenin içinde gizlidir, sabit duruyor olsa bile.

Hareket eden bir cismin toplam enerjisinin hesabını tutarken cismin kinetik enerjisinin de işe katılması gerekir. Bu konuda doğal tahmin, kinetik enerjiyi cismin kütlesinde bulunan enerjiye (mc^2) eklemekten ibarettir. Doğru bir tahmin olurdu bu, hareket ederken nesnenin kütlesi m'nin artması, dolayısıyla mc^2'nin büyüklüğünün de değişmesi hariç. Bütün bunları çözmek zor bir iş oldu ama hareket eden bir nesnenin toplam enerjisi E'nin ne olduğunun epey basit bir cevabı olduğu ortaya çıktı sonunda. Önce hareket enerjisinin *karesini,* nesnenin kütle-



Şekil 2: Einstein, enerji ve Pisagor teoremi. Einstein'ın görelilik kuramında hareket halindeki bir cismin enerji miktarı E, tabanı bu cismin duran haldeki enerjisinin büyüklüğüyle (mc^2) orantılı olan bir diküçgenin hipotenüsünün karesinin alanıyla ve cismin, momentum ve ışık hızının çarpımıyla orantılı olan hareket enerjisi *pc*'yle orantılıdır.

sindeki enerjinin, mc^2'nin *karesiyle* topluyorsunuz; bunu yaptınız mı elde ettiğiniz sonucun karekökü aradığınız cevaptır. Dolayısıyla, mesela duran haldeyken enerjisi 4 julse ve hareket buna 3 jul daha ekleniyorsa, toplam enerji 5 juldür (3 kere 3, 4 kere 4, bunların toplamı 25 eder; 25 de 5 kere 5 demektir.)

Bu toplamı görsel olarak tasvir etmek için (ayrıca bkz. Şekil 2) dik açılı bir üçgen çizelim, bunun kenarlarının uzunlukları çeşitli enerji miktarlarıyla orantılı olsun. Taban, nesnenin kütlesinde içerdiği enerjiyi, mc^2'yi temsil ediyor. Dik kenarın uzunluğuysa kinetik enerjiyle orantılı[4]. Buna göre hipotenüsün uzunluğu da cismin toplam

[4] Burada daha kesin matematik isterseniz, bu kenar esasen cismin mo-

enerjisiyle orantılı olur. "Hipotenüsün karesi diğer iki kenarın karelerinin toplamına eşittir" diyen eski kuralı hatırlayarak, kütlesi olan ve hareket eden bir cismin toplam enerjisi *E*'yi basit bir hesapla buluyoruz: toplam enerjinin karesi, kütlede içerilen enerji mc^2'nin karesinin, hareket enerjisinin karesiyle toplamına eşittir.

Einstein'ın görelilik kuramının enerjinin doğasına dair getirdiği sonuçlar olağanüstü. Birincisi, kütlesi olan, durur haldeki cisimler içlerine kapatılmış mc^2 miktarında enerji içeriyorlar. İkincisi, kütlesi olmayan bir cisim, mesela ışık hızıyla hareket eden bir foton da hareketinden dolayı enerjiye sahip oluyor. Toplam enerji korunduğu için, bir ışık demetindeki enerjinin maddenin içine hapsolmuş enerjiye dönüşmesi mümkün oluyor.

Peki ama, hiç elektrik yükü olmayan bir ışık esintisiyle nasıl oluyor da negatif elektrikle yüklü bir elektron çıkıyor? Doğanın iki madde türü işte bu noktada giriyor işin içine. Negatif yüklü elektronun, pozitron adı verilmiş bir de pozitif yüklü biçimi var. Fotonun, yani bir ışık parçacığının enerjisi, birbirini tamamlayan bu iki madde parçasının içinde sıkışmış yatıyor. Bu işlemin tersi de mümkün: bir elektronla bir pozitron birbirini yok edebiliyor, bunların her birinin enerjisini, o yok oluş sahnesinden ışık hızıyla kaçıp giden fotonlar alıp götürüyor.

Işık enerjinin en saf halidir ve maddenin saf enerjiden ortaya çıkışının, neredeyse kutsal, muazzam bir etkisi var. Maddenin negatif görüntüsü olan antimadde üzerinden, yaratılışın tanrılarıyla temas ediyoruz. Burada, evrenin Büyük Patlama'yla nasıl oluştuğunu görmeye başlıyoruz. Zıtlıklarıyla birbirini dengeleyen madde ve antimadde parçalarının içinde donan yoğun ısı ve ışık. Enerjinin doğasına dair çok önemli sonuçlarıyla Einstein'ın görelilik kuramı,

---

mentumunun verdiği enerji ile ışık hızının çarpımını temsil ediyor: momentumu *p* sembolüyle, ışık hızını da *c* ile göstermek adettendir, dolayısıyla bunların çarpımı *pc*'dir. Buna göre hipotenüsün uzunluğu nesnenin toplam enerjisidir, $E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$.

zamanın başlangıcında maddenin nasıl ortaya çıktığını açıklıyor. Kuramın temel parçalarından biri, maddenin bir ayna görüntüsü olması, yani antimadde fikri. Görelilik enerji hesaplarını açıklar ama, doğanın bütün gücünün ortaya konması göreliliğin kuantum mekaniğiyle bir arada kullanılmasıyla mümkün. Antimadde fikri, yirminci yüzyılın bu iki büyük kuramının birleşimiyle ortaya çıkacaktı.

3

TAŞTAN TABLETLER

PAUL DIRAC

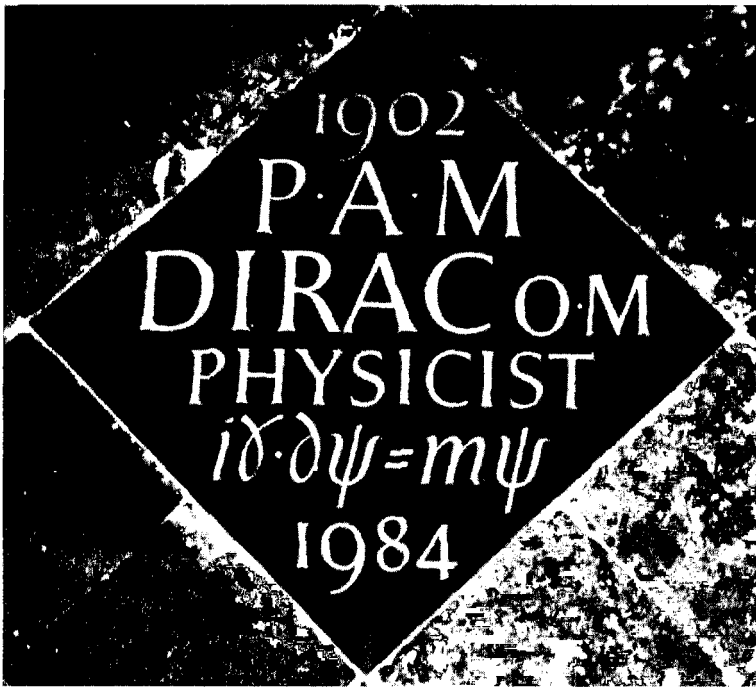
İlk gençliğimde, bilime odaklanmadan önce, Peterborough'daki kütüphanede ne varsa okuyan iştahlı bir okurdum. İki haftaya kadar sizde kalabilecek olan kitapları ödünç alırken kütüphaneci kitabın kapağına yerleştirilen bir kartın üstüne iade tarihini damgayla basardı. Bazı kitaplar o kadar sevilmişti ki kapağın içindeki cep, üstünden tarih damgaları taşan kartlarla dopdolu olurdu ve amazon.com öncesindeki o günlerde bir kitabın iyi olduğunun en emin göstergesi bu kayıttı. Hangi kitabı alacağınıza karar vermenin bir kriteriydi bu, fakat bir süre sonra herkesin okuduğu kitapları okumaktan sıkılmaya başladım ve hangi kitapların en az okunduğunu merak ettim. Pek çok kitap sadece bir-iki kez ödünç verilmişti, ama bunun nedeni kütüphanenin onları yakın zamanda satın almış olmasıydı çoğu kez, fakat nihayet, sadece bir kez, o da yıllar önce seçilmiş bir kitap buldum.

Kitabı alan ikinci kişi ben oldum, sadece önsözün ilk paragraflarını okumakla kalmış olduysam da. "Ortogonalite" (dikgenlik) diye bir şeyden bahsedip duruyordu, bunun ne olduğunu anlamıyordum, kitabın konusunun ne olduğunu babam da açıklayamadı. Hayatın hatırlanan anlarından biriydi bu an, insanın anne-babasının ilk kez bir soruya gerçekten hiç cevap veremediği an; besbelli ki bu kitap özel bir kitaptı.

On sene sonra, teorik fizik lisans öğrenciliğimin son yılında o kitapla tekrar karşılaştım. Bu kez çoğunu anlayabiliyordum, ama hâlâ cidden zorlanıyordum. Kitap *The Principles of Quantum Mechanics* (Kuantum Mekaniğinin Esasları), yazarı da Cambridge Üniversitesi'nden matematikçi Paul Dirac'tı ve artık biliyordum ki sadece babamla ben değil, hemen hemen herkes zorlanmıştı bu kitabın 1930'da yayımlanan ilk versiyonundaki tezleri takip etmekte. Yetmiş yıldan uzun zamandır kuantum mekaniğini anlamaya çalışan her ciddi ilgilinin klasik ders kitabı olan, bu kitabın yeni baştan yazılıp 1935'te yayımlanan ikinci versiyonudur, ama bunun da pek kolay okunduğu söylenemez. Kitap mantığın özlü ifadesinin bir örneği; matematik denklemleriyle dolu, araya açıklayıcı metinler serpiştirilmiş, Dirac bu yazılarda fiziğe kendi devrimci yaklaşımını tarif ediyor ve antimaddenin en basit parçacığı olan pozitronu öngören, adını kâşifinden alan o denklem de bu kitapta yer alıyor.[1]

Antimadde dünyasına dair ilk işaret deneyden gelmedi, tesadüfi bir keşiften gelmedi, Dirac'ın kendi denklemlerinde gördüğü güzel desenlerden çıktı. Portedeki çeyrek notaların, ikiliklerin ve on altılıkların simgeden başka bir şey değilken bir maestro tarafından yorumlanıp olağanüstü bir melodiye dönüştürülebilmesi gibi, çorak denklemler de doğanın içindeki uyumu mucizevi bir şekilde ortaya çıkarabilirler. Dirac'ın müthiş bir usta olduğu alan, matematiğin diliydi. 1995'te, bilim insanlarının en büyüğü olan Isaac Newton'ın mezarının bitişiğinde Dirac adına dikilen taş Westminster Kilisesi'nde açıldığında (bkz. Şekil 3), üstünde onun meşhur denklemi görüldü, antidünyayı tanıtan denklem. Bu simgelerin ne anlama geldiğini bil-

[1] Bir sonraki tatilimde Peterborough kütüphanesine gittim ve on sene önce aldığım o kitabı yine buldum. Bunun o zamanki kitap olduğunu doğruladıktan sonra kapağın içindeki tarih damgalarına baktım. Sadece iki damga vardı, biri de benimkiydi; onca yıl önce bu kitabı almış olan diğer kişinin kim olduğunu hiç öğrenemedim.



Şekil 3: Westminster Kilisesi'nde Dirac için dikilen ve üstüne onun denklemi yazılan mezar taşı. γ simgesi Ek 2: "Dirac Kodu" içinde tarif edilen "gama" matrislerini ifade ediyor.

meyen çoğu ziyaretçi için bile ham bir güzelliği var bunun. Matematiğin hiyerogliflerini okumayı bilenler için, Dirac denkleminin yaratıcılığı, gücü ve zarafeti Shakespeare ve Beethoven'ın eserleriyle yarışır düzeydedir.

$$i\gamma \cdot \partial\psi = m\psi$$

Paul Dirac'ın babası İsviçreliydi, Bristol'e yerleşmiş, orada dil öğretiyordu. Diracların evinde Fransızca ve İngilizce eşit yer tutuyordu ve Paul iki dilli olarak yetiştirildi, ama ikisinde de sıradışı derecede suskundu. Dirac'ın dili tutumlu kullanmasına ve iletişim becerilerindeki eksiklerine dair hikâye boldur. Buradaki tutukluğu, matematikteki muazzam kabiliyetiyle tezat oluşturuyordu.

Dirac'ın matematik bakımından çok parlak ve anlamsal olarak kesinlik taşıyan dersleri, konunun uzmanlarının bile gözünü korkuturdu. Toronto Üniversitesi'nde verdiği bir ders sırasında dinleyicilerden biri kibarca "tahtadaki o formülü nasıl çıkardığınızı anlayamadım" dedi. Uzun bir sessizlik oldu. Dirac, ancak oturum başkanı tarafından bir cevap vermeye davet edildikten sonra "bu bir soru değildi; bir durum bildiriyordu" dedi.[2] Kolejde akşam yemeği yenirken, sessiz matematikçinin yanına oturmak gibi karmaşık bir ayrıcalığa kimin sahip olacağı, nazik bir mesele olurdu her zaman. Bir keresinde, romancı E. M. Forster'ı misafir ederken kolej bu ikisini birlikte oturtmak gibi parlak bir fikir edindi; zira Forster da sohbettense yazılı kelimelerle daha rahattı ve Dirac Forster'ın eserlerini hevesle okuyordu. Anlatılanlara göre, (ki bunlar muhtemelen uydurmadır ama karakterlerin özellikleri düşünüldüğünde pekala doğru da olabilir), o akşam olaylar aşağıdaki şekilde gelişti.

Çorba ikramı sırasında tek kelime edilmedi ancak ana yemek sunulurken Dirac masanın üstüne eğilip, Forster'ın *Passage to India* eserini kast ederek "Mağarada ne oldu?" diye sordu. Dirac'ın o akşama katkısı bu olacaktı. Forster Dirac'ın sorusuna kafa yordu ama sessiz kaldı. Yemeğe devam etti ve yine uzun uzun düşündü. Sonunda tatlılar geldi ve Forster cevabını verdi: "Bilmiyorum."

Kişisel iletişimde pek sınırlı kalmakla beraber, Forster gibi Dirac da kendini yazılı simgelerle ifade ediyordu. 1928 tarihli, kuantum kuramına dair görüşleri bir araya getirip bunları asrın diğer büyük şaheseriyle, Einstein'ın özel görelilik kuramıyla kaynaştıran büyük eserinde Dirac yepyeni bir matematik dili buldu. O günlerde tuhaf, acayip görünen bu dil bugün teorik fizik öğrencilerinin standart eğitiminin bir parçası ve bu konuyu çalışan herkes tarafından kullanılıyor.

[2] *The Longman Literary Companion to Science,* Longman, Harlow, 1989, s. 170; aktaran: P. Coveney ve R. Highfield, *The Arrow of Time.*

BİR ALANA BİR BEDAVA

Hareketin bilimidir mekanik. Zaman geçerken bir şeylerin bir noktadan diğerine nasıl hareket ettiğini tanımlar, her saniye alınan mesafe ne kadar büyükse hız da o kadar fazladır. Hareket eden bir şey size çarparsa bunun etkisi sadece ne kadar hızlı seyrettiğine değil, ne kadar çok kütlesi olduğuna da bağlıdır. Önemli olan momentumdur: kütle ile hızın çarpımı. Mekanik, enerjiyi de ele alır, özellikle de hareketten kaynaklananı, yani "kinetik enerji"yi. Gündelik tecrübemizde bu enerji hızın karesiyle orantılı olarak büyür: teniste hızlı servis atmak bu yüzden bu kadar zordur –hızı iki katına çıkarmak için topa dört kat daha fazla enerji vermeniz gerekir.

Bir parçacığın hem konumunu hem de momentumunu kesin olarak bilemezsiniz, ama görülebilecek kadar büyük olan, milyonlarca, milyonlarca atomdan oluşan nesnelerle uğraşırken bu belirsizliğin oranı o kadar küçücüktür ki ölçüm dışı kalır. Lakin atomlar ve onları oluşturan parçacıklar gibi çok küçük şeyler söz konusu olduğunda bu "bilinemezlik" çok kuvvetlenir. Bu belirsizliği hesaba katmak için normal mekaniğin kurallarının dikkatle yeniden yazılması gerekti; bunun sonucu da Kuantum Mekaniği dediğimiz şeyin ortaya çıkması oldu.

Normal mekanikle ortak olarak, kuantum mekaniği denklemleri de eskisi gibi enerjiyi, momentumu, zamanı ve konumu ele alır. Bir parçacığın enerjisinin, kütlesinin ve momentumunun birbiriyle arasındaki ilişkiyi bildiğiniz sürece kuantum denklemleri herhangi bir durumda ne olacağını hesaplamanızı sağlayacaktır. Mesele o ilişkiyi tanımlamaktır.

Kuantum mefhumu, yani ışık dalgalarının foton denen parçacıklar şeklinde hareket etmesi ve elektron gibi parçacıkların dalgaya benzer özellikler taşıması düşüncesi yirminci yüzyılın başlarında ortaya çıkmıştı. Ancak kuantum mekaniğinin denklemleri bulunana kadar çeyrek yüzyıl geçti.

Erwin Schrödinger 1926'da yavaş hareket eden parçacıklar için çözdü bu işi, "yavaş hareket eden" derken, ışık hızına kıyasla yavaş yani. "Schrödinger Denklemi" atomlardaki elektronların davranışını açıkladı ve hidrojen atomunda elektronun saniyede yaklaşık iki bin kilometre hızla hareket ettiğini gösterdi. Bizim algımız için yüksek olan bu hız, ışık hızının yüzde birinden azdır. Schrödinger'in kuramı doğru çıktı ve bugün de atom fiziğindeki problemleri çözerken yaygınlıkla kullanılıyor.

Schrödinger denklemi atomlardaki elektronların yörüngesel hareketlerinin neden tayf çizgilerinin manyetik alanlarda çoğalmasına neden olduğunu da açıkladı. Ancak elektronun kendine ait "spin"ine dair hiçbir açıklama yapmıyordu. Elektronun bu bilinen özelliğinin Schrödinger kuramında yeri yoktu. Spini de kapsayan ve göreli hızlara uygulanabilen daha tamamlanmış bir kuantum mekaniği, bulunmayı beklemekteydi henüz.

Buradaki zorluklar, Einstein'ın görelilik kuramında enerjinin doğasının nazik olmasından başlıyor. Kütlesi olan bir cismin, dururken bile, onu oluşturan atomların içinde hapsolmuş halde enerji ($E = mc^2$) taşıdığını ve hareket ederken bunun yanısıra kinetik enerjisi de olduğunu hatırlayın. 39. sayfada gördüğümüz gibi, toplam enerji, Pisagor'un diküçgen için verdiği kurala paralel şekilde bulunur, "hipotenüsün karesi diğer iki kenarın karelerinin toplamına eşittir". Hareket halindeki kütleli bir cisimde, toplam enerjinin karesi (E^2), duran haldeyken sahip olduğu enerjinin karesinin, hareketin verdiği enerjinin karesiyle toplamına eşittir.

Oscar Klein, E^2'yi ve Einstein'ın "hipotenüs" ilişkisini (bağıntısını) kullanarak Schrödinger'in kuramını genelleştirmeyi denedi. 25'in karekökü +5 de, -5 de olabileceği gibi, E^2'nin karekökü pozitif de negatif de olabilir. Üçgenin hipotenüsünün uzunluğu negatif değil pozitif olduğu için, Einstein'ın Pisagor bağıntısının izin verir göründüğü negatif enerji çözümüne, suni bir durum muamelesi yapılıyor, fakat insanlar yine de negatif enerji çözümünün

mümkün olmasından huzursuzluk duyuyordu. Mesele, orijinal denklemin enerji miktarının *karesi* için yazılmış olmasından kaynaklanıyordu. Dirac kendini E^2 yerine E ile en baştan sınırlandırarak bu açmazdan kaçınmaya karar verdi.

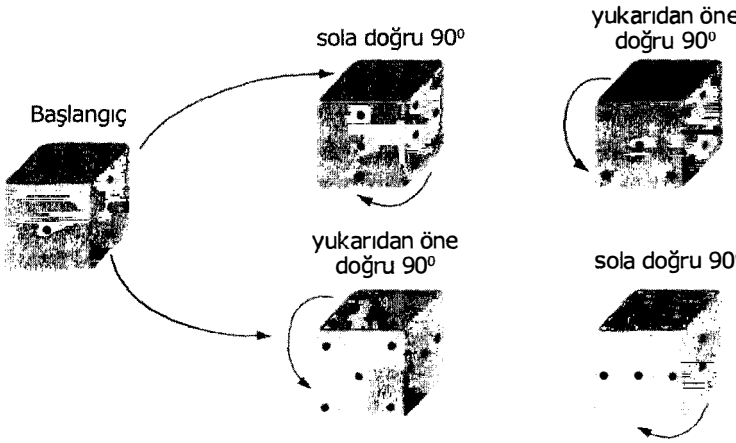
Bu, kalkışılması doğal, ama yapması o kadar da kolay olmayan bir şeydi. Dirac'ın elindeki problem, hipotenüsün uzunluğu (enerji E) ile diğer iki kenarın uzunlukları (durma halindeki enerji mc^2, kinetik enerji) arasında, bunların her birinin bir kere kullanıldığı, karelerinin alınmadığı bir bağıntının yazılmasıydı. Bunu temel alan bir kuantum mekaniği kurmakla her şey yerli yerine oturdu.

Hesabının tutması için Dirac'ın birbiriyle çarpıldığında 0 eden, fakat her birinin kendi karesi 1 eden iki meblağ bulması gerekiyordu. Bu elbette imkânsızdır. Çarpımın 0 olması için sayılardan birinin 0 olması gerekir, o zaman o sayının karesi de 1 değil 0 olacaktır.

Daha önce değilse bu noktaya geldiğinde, bunun imkânsız bir iş olduğuna ikna olarak pes ederdi pek çok insan. Fakat bunu yapmanın akıllıca bir yolu var ve işte o yolu da Dirac buldu. Problemi halletmek için Dirac'ın kullandığı matematik numarasını merak ediyorsanız kitabın sonundaki "Dirac Kodu" isimli ek bölüme bakabilirsiniz.

Eğer o iki meblağ birer sayı ise, bunun imkânsız bir iş olduğunu, ama eğer matris denen "iki boyutlu sayılar"sa sorunun çözülebileceğini hemen anladı Dirac. Matris, iki sütundan oluşan ve her sütunda iki sayı yer alan bir düzendir. Matematikçiler matrisleri toplamanın ve çarpmanın kurallarını çıkardılar ve mühendislikte, elektrikte ve manyetizmada pek çok durumda yapılan hesaplarda bunlar kullanılıyor. Matrislerin, Dirac'ın elindeki gizemi çözmenin anahtarı olan ilginç bir özelliği var: Eğer iki matrisi a x b sırasıyla çarparsanız alacağınız cevabın, aynı şeyi ters sırayla, b x a şeklinde yaptığınızda alacağınız sonuçla aynı olması şart değildir. İlk bakışta tuhaf gelebilir bu, ancak sıranın fark ettiği pek çok örnek vardır.

Dolayısıyla, Dirac'ın aradığı iki nicelik, a ve b, eğer



Şekil 4: Bir zarın önce sola doğru 90 derece, ardından yukarıdan öne doğru 90 derece döndürülmesiyle gelen yüz, bu sıra tersine çevrildiğinde bulunan yüzden farklıdır.

matris iseler bu sorunu çözebilirler. $a^2 = 1$; $b^2 = 1$'i onlar sağlayabilirler. Ayrıca $a \times b$ sıfır olmadığı, $b \times a$ da sıfır olmadığı halde, bunların toplamı $a \times b + b \times a = 0$ olabilir. Matrisler kullanarak, bir nesnenin toplam enerjisini onun duran haldeki enerjisiyle hareket halinden gelen enerjisinin toplamıyla ilişkilendirebilen ve Einstein'ın görelilik kuramıyla tamamen tutarlı olan bir denklem yazabildi Dirac.

Matrislerin bir şey döndüğü zaman ne olduğunu açıklıyor olması bu denklemin bonusuydu; zira matematik, elektronun kendisinin de dönebileceğini söylüyordu: yani spin yapabileceğini! Dahası, Dirac'ın bu matematiği tek bir sayının yerine iki sütundaki çiftlerin geçtiği en basit matrislerle çözebilmiş olması, spinin bir "iki-liği" olduğunu ima ediyor, bu da Zeeman etkisiyle bire bir örtüşüyordu (s. 35). Schrödinger kuramının eksik parçası, matrislerin matematiğinden mucize gibi çıkıyordu; bu matematiği Dirac'a dayatan da Einstein'ın görelilik kuramının gerektirdikleriydi.

Bu başlıbaşına büyük başarıydı ama Dirac'a boşa ümitlendiğini düşündüren bir özelliği vardı denklemin. Pozitif enerjili *ve* negatif enerjili sonuçları gerçek kabul ettiğinde her şey pek güzel işliyordu. Başka insanlar E^2'yle çalışırken ortaya çıkan negatif enerji probleminden kaçınmaya çalışırken, matrisleri kullanmaya mecbur kalmış ve elektron spinini de açıklamıştı Dirac; fakat ironik olarak, negatif enerji çözümleri de pozitif olanlar kadar meşru muamelesi görmekte ısrar ediyordu bu açıklamada. Bu iki çözüm setini yan yana getirmek, elinde iki tane "ikiye iki" matris seti olması demekti. Bunun sonucu olarak, kuramını basit sayıların yerine her birinde dört sayı olan dört sütundan oluşan matrisler kullanarak yazmak zorunda kaldı.

Dört sütunlu bu matrislere "γ" (gama) matrisi denir ve adını Dirac'tan alıp Westminster Kilisesi'nde taşa kazınan o denklemdeki simgelerden birinin kaynağı budur. Görünen o ki Einstein'ın kuramı ancak, elektronun hem spini, hem de pozitif veya negatif enerjiye sahip olma imkânı olunca sağlanabiliyordu. Dirac o negatif enerji gizeminden kaçınmak için çıktığı yolda onu kabullenmek zorunda kalmıştı. Bu ne anlama geliyordu?

SONSUZ DENİZ

Arabada gaz pedalına bastığınızda araba hızlanır: hareket enerjisi, yani "kinetik enerji" kazanır. Yoktan var olmuş değildir; bu enerji, benzinin yakılmasıyla elde edilir; bu işlem sırasında yakıtın içindeki enerji açığa çıkmış ve arabanın kazandığına eşit miktarda kinetik enerjiye dönüşmüştür. Frene bastığınızda araba yavaşlar; kinetik enerjisi azalmaktadır. Burada enerji ortadan kaybolmaz, fren balatalarında ve lastiklerde ısıya, eğer patinaj yaparsanız belki biraz da sese dönüşür. Nihayet, durursunuz. Kinetik enerjiniz sıfırdır ama benzin deponuzda kilitli olarak halen, potansiyel olarak kullanabileceğiniz enerjiniz vardır. Deponuz boş da olsa, arabanızı ve sizi oluşturan

atomların mc^2'sinde donmuş halde bol miktarda enerji vardır ve arabanıza kinetik enerji kazandırmak için onu itmek gibi basit bir çareye başvurduğunuzda arabaya kendi mc^2'nizden bir parça vermiş olursunuz.

Sanayi toplumuna gücünü veren, bir pozitif enerji türünü ötekiyle değiş tokuş etmektir. Günlük hayatımız içinde negatif enerjiye dair hiçbir iz yok, o zaman elektron için negatif enerji çözümleri ne demek?

Elektronlar negatif enerjiye sahip olabilse, maddenin içindeki elektronların negatif enerji durumlarından birine inerek enerjilerini kendi kendilerine azaltabilmelerini beklerdik. Bu da maddeyi kararsız hale getirirdi, dolayısıyla var oluşumuz bile Dirac'ın elektron kuramının yanlış olduğunu düşündüren bir kanıttı başlı başına, öyle bir negatif enerji ihtimali olamazdı. Dirac müthiş bir şey yaptı: negatif enerji durumlarını yorumlamak için maddenin kararlı *olduğu* gerçeğini kullandı! Bunu nasıl yaptığını anlamaya başlamak için, atomik elementler arasında bulunan, Rus Dmitri Mendeleev'in keşfedip, yaptığı "Periyodik Cetvel"e kodladığı müthiş düzenliliği tanımamız lazım.

Bazı elementler özellikleri bakımından birbirlerine epey benzerler; bütün elementleri atom kütlelerinin artışına göre sıraladığımızda "periyodik" (düzenli) olarak tekrar eder bu benzerlikler. Periyodik olarak tekrar eden özelliklere bazı örnekler, helyum, neon ve argon gazlarının kimyasal asallığı [yani başka elementlerle hemen hiç reaksiyona girmemeleri], sodyum ve magnezyum gibi metallerin suyu sevmesi, ve çok reaktif elementler flor, klor ve iyotun hidrojene duydukları yakınlıkla asitleri oluşturmasıdır. Bu benzerlikler asırlardır biliniyordu. Mendeleev'in Periyodik Cetvel'i benzerliklerin tekrarlama düzenini ortaya koydu, ama benzerliğin açıklamasını yapan kuantum mekaniğidir ve bunu Dirac'ın ikilemini çözen bir şekilde yapar.

Bütün atomlardaki elektronlar birbirinin aynıdır. Bir atomik elementle öteki arasındaki fark, atomun merkezindeki çekirdeğin etrafında dönen elektronların (ve elbette, çekirdekteki protonların) sayısıdır. Gördüğümüz gibi

bu elektronlar kafalarının estiği yere gidemezler, bunun yerine kuantum mekaniğinin kuralları elektronların seçimlerini belirli birkaç özel yolla, "kauntum yollarıyla" sınırlı tutar. Atoma elektronlar eklendikçe, yani elementlerin cetvelinde daha ilerilere gidildikçe, mümkün olan yollara dair desenler de düzenli bir döngü oluşturacak şekilde tekrar eder; birbirini takip eden elementler arasında gözlenen periyodik benzerlik de böylece tekrarlanır. Kuantum mekaniği bunu, dışlama ilkesi diye bilinen temel bir kanunun sonucu olarak açıklar. Bu yüzden elektronlar karpuz gibidir, bir koltukta iki karpuz taşınmaz, yani kuantum mekaniğinin kuru diliyle: bir grup elektron varsa bunlardan iki tanesi aynı kuantum konumunda bulunamaz.

Denkleminin elektronların negatif enerjiye sahip olabilmesi anlamına geldiğini fark eden Dirac işte bu dışlama ilkesini muhteşem bir fikrin temeli olarak kullandı. Vakumlu alan dediğimiz şeyin aslında boş olmadığını, dipsiz bir kuyu gibi olduğunu, her basamağı olası bir kuantum seviyesine, yani elektronlar için durak yerlerine tekabül eden bir merdivenin aşağıya indiğini düşündü. Bu merdivenin en üst noktası sıfır enerjiye denk gelir ve aşağıya inen her bir basamak, elektronlar için mümkün negatif enerji konumlarıdır. Dirac'm sezdiği şey şuydu: eğer bütün bu negatif enerji seviyeleri zaten doluysa, hiçbir elektron negatif enerji çukuruna düşemez, dolayısıyla madde kararlı halde kalır. Boşluk dediğimiz alan, rahatsız edilmedikçe fark edilmeyen düz ve derin bir deniz gibidir aslında. Dolu deniz taban seviyesidir, bütün enerjiler bu seviyeye göre belirlenir: Dirac'ın "deniz seviyesi" enerjinin sıfırını tanımlar.

Dirac'ın vakum yorumuna göre bu denizdeki bir elektron eksilmişse yerinde bir delik kalır. Deniz seviyesine göre negatif enerjiye sahip negatif yüklü bir elektronun yokluğu, pozitif yüklü pozitif bir parçacık olarak görünecektir, yani daha sonra pozitron adı verilecek şeyin bütün özelliklerini taşıyacaktır. Acayip bir fikirdi bu, kuantum

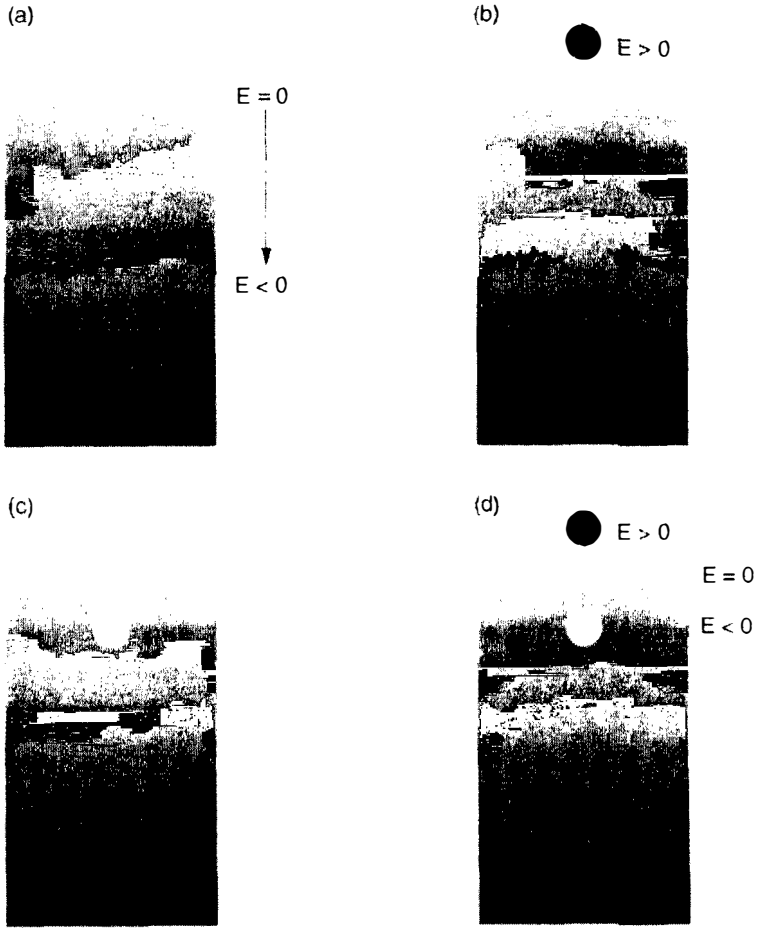
mekaniği de seksen yıl sonra hâlâ acayip bir şey zaten; Dirac bu fikri ortaya attığında kuantum mekaniği daha bebeklik çağındaydı, fikir ise radikal bir deha örneğiydi.

Negatif enerjili bir elektron nasıl olur yerinden oynatılır da, vakum denizinde bir delik görülebilirdi? Cevap: enerji temin ederek. Mesela yüksek enerjili gama ışınıyla. Eğer gama ışınının yeterince enerjisi varsa, negatif enerji durumundaki bir elektronu pozitif enerjili bir duruma gönderebilir. Bunun sonucunda gama ışını, hem pozitif enerjili bir elektron, hem de vakum olan yerde bir delik oluşturmuş olacaktır. Delik hem negatif enerjinin eksikliğidir ve bu kendini pozitif enerji hali olarak gösterir, hem de negatif yükün eksikliğidir, bu da pozitif yük olarak görünür. Neticede gama ışınının enerjisi alışıldık bir negatif yüklü elektrona ve yanında bir de pozitif yüklü elektrona dönüşmüş olur, ikisi de pozitif enerjiye sahiptir (bkz. Şekil 5).

POZİTİF ELEKTRON DA NE?

Dirac'ın anti-elektron öngörüsü zamanında çoğu kişiye bilimkurgu gibi geldi. O zamana kadar bilinen parçacıklar elektron ve protondu ve maddenin tamamı bunlarla açıklanabilir gibi görünüyordu. Dahası bunların değişmez olduğu düşünüyordu, oysa Dirac'ın kuramı maddenin bu temel parçacıklarının iradi olarak yaratılıp yok edilebileceğini söylüyordu. Genel kabul gören ama henüz bulunmamış olan, atom çekirdeğine cüsse ekleyip kararlı olmasına katkıda bulunan nötron hariç, başka parçacığa gerek yoktu, bunu isteyen de yoktu. Kozmik ışınlar alanındaki keşifler ve parçacık hızlandırıcıları sayesinde fantastik isimleri olan acayip parçacıkların pıtrak gibi çoğaldığı günlere daha çok vardı. 1928'de parçacıkların tasviri basitti: madde negatif yüklü elektronlardan ve pozitif protonlardan oluşur. Nispeten rahat olan bu dünya görüşünde antielektrona yer yoktu.

Kuramının yayımlanmasından sonraki aylar boyun-



Şekil 5: Vakum, negatif sonsuzluktan bir maksimuma doğru giden enerji seviyelerinden oluşan sonsuz derinlikte bir denizle doludur. Bu konfigürasyonu, en az enerji seviyesini, sıfır diye tanımlıyoruz. Vakuma göre pozitif enerjiye sahip bir elektron, yukarıdaki siyah yuvarlaktır. Negatif enerjiye sahip bir eksiklik (beyaz yuvarlak) negatif yüke sahip olup, pozitif yüke sahip pozitif enerji gibi görünür. Dirac'ın elektronun antiparçacığına dair resmi işte buydu: pozitron. Eğer bir negatif enerji durumu boşsa ve pozitif olan doluysa, bu pozitif enerjili bir elektron olabilir ve "delik" de pozitif enerjili bir pozitron olarak algılanır. Bu konfigürasyonu oluşturmak için vakuma enerji eklemek gerekir. Bu enerji foton tarafından sunulabilir, foton böylece bir elektrona ve bir pozitrona dönüşmüş olur.

ca yaptığı bütün konuşmalarda Dirac'a "nerede bu antielektron?" diye sordu insanlar. Bu soruların ardından gergin kahkahalar geliyordu ve Dirac sonunda bezdi bunlardan. Çağdaşları arasında, onun denklemini çalışmış olanların, söylediklerini anlayabilenlerin çok az sayıda olması, bu "zekice" soruyu özellikle sinir bozucu kılıyordu. Sonunda Dirac, proton pozitif yüke sahip olduğuna göre, pozitif yüküyle antielektronun belki de proton olabileceğini öne sürerek onların önüne geçmeye çalışır oldu.

Böylece, Dirac'm, sihirbazın şapkasından fırlayan tavşan misali denkleminden çıkan pozitif yüklü parçacık için aday olarak protonu gerçekten de ciddi ciddi düşündüğü şeklinde genel bir kanaat oluştu. Madde ile antimadde arasındaki derin simetriden artık haberdar olan modern fizik için, protonun antielektron olarak görülebilmesi, hele kütleleri arasında iki bin kat fark varken, absürt geliyor.

Bugün hepsi çok açıkmış gibi gelebilir, ama maddeyle antimadde arasındaki derin simetriler bugün 1928'dekinden çok daha iyi anlaşılıyor ve tarihçiler elektron ile protonun kütlesi arasındaki uyumsuzluğun o zaman da bugün göründüğü kadar bariz bir şekilde saçma görünüp görünmediğini tartışıyorlar. Meşhur bir Rus fizikçi ve Dirac'ın çağdaşı olan Pyotr Kapitsa, Dirac'm sessiz sakin karakteri bir yana, bu sözü şaka olarak söylediğini iddia etmişti. Dirac'ın amacı ardı arkası kesilmeyen sorguculara susturmak, böylece incelikli fikrini açıklama imkânı bulmak ve kütle meselesini bir "ayrıntı" olarak sonraya bırakmaktı sadece.

Dirac'ın denklemi antimaddeye giden yolu gösterdi, ama resmin tamamını gören kişi, daha sonra Manhattan atom bombası projesinin lideri olarak ünlenecek Robert Oppenheimer oldu. Oppenheimer pozitif parçacığın proton olamayacağını vurguladı, çünkü öyle olsaydı hidrojen atomu kendi kendini yok ederdi. Elektronun ve onun pozitif eşinin vakumdan ortaya çıkabileceği anlamına gelen iddialar tersinden de uygulanabilirdi: Filmi geri sarın, bu iki-

sinin birbirini ortadan kaldırıp gama ışınına dönüşmesini izlersiniz. Yani eğer pozitif parçacık proton olsa, hidrojen atomu ancak protonla elektronun birbiriyle karşılaşmamasıyla var olabilirdi. Yoksa sadece hidrojen değil, bütün maddeler, bir ışık parlaması içinde yok olur giderdi.

Dirac Oppenheimer'ın getirdiği eleştirinin gücünü hemen anladı ve iddia ettiği pozitif elektronun yepyeni bir şey olduğunu kabul etti. 1931'in Eylül ayında vardığı sonucu yayınladı: Delik "yeni tür bir parçacıktır, deneysel fizik tarafından saptanmamıştır, kütlesi ve yükü elektronla aynıdır. Bu parçacığa antielektron diyebiliriz."[3] Parçacığın çok önemli özelliği, alıştığımız negatif enerjili elektron tarafından patlatılıp imha edilebilmesi ve bunun tam tersi olan diğer ihtimalde, saf enerjiden birbirlerini yaratabilmeleri olacaktır.

Kütleli proton bambaşka bir yaratıktı ve Dirac denklemi bunun da bir "anti" eşi olduğunu ima ediyordu. 1931'deki makalesinde, kuramında "pozitif ve negatif elektrik yük arasında tam ve mükemmel bir simetri vardır" diyerek bunu açıkça ifade etti Dirac. Temkine çok küçük bir yer bırakarak, "eğer bu simetri doğada gerçekten esassa, her tür parçacığın yükünü tersine çevirmek mümkün olmalıdır" dedi. Böylece protonun negatif yüklü, kütle sahibi bir ayna görüntüsünün, yani antiprotonun var olması gerektiğini de öngörmüş oluyordu. Dirac'ın her parçacık türü için bir antiparçacık eş bulunması gerektiği öngörüsü bugün temel bir gerçeklik, evrenin dokusunun derinlerine geçmiş simetrinin tezahürü olarak kabul ediliyor.

Dirac'ın birbirinin aynı elektronlardan oluşan dipsiz deniz fikri "vakumdan çıkagelen" bütün elektronların neden rasgele çeşitlenen imkânlar içinde farklı farklı değil de birbiriyle tıpatıp aynı özellikler taşıdığını da açıklıyor. Dirac ayrıca protonların denizi doldurduğu düşüncesini ortaya attı; bugün bunların daha temel tohumları olan

[3] P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc., Eylül 1931. Aktaran: Fraser, *Antimatter*, s. 62.

kuarkların da (kendileriyle 5. Bölüm'de tanışacağız) dışlama ilkesini karşıladığını ve sonsuz derinlikte bir denizi doldurduğunu kabul ediyoruz. Maddeleşmemize imkân veren parçacıkları ve antiparçacıkları bize sunan, Dirac denizinin sonsuz derinlikteki deposudur.

Antimaddenin kuramından bu kadar; gerçeklikten ne haber? Bir sonraki durağımız pozitronun hikâyesi.

4
KOZMİK BİR KEŞİF

Başımızdan binlerce metre yukarıda atomaltı parçacıklardan oluşan yüksek enerjili sağanaklar ve uzaydan gelen gama ışınları atmosferin üst katmanına çarpıyor. Bu çarpışmalar başka parçacık selleri oluşuyor ama bu parçacıkların çoğu Dünya'nın yüzeyine varmadan havaya karışıyor, böylece yer seviyesine ulaşan radyasyon, gayet zararsız bir çisentiden ibaret oluyor.

Bu "kozmik ışınlar"ın, tanıdık elektronlar, protonlar ve atom çekirdeklerine ek olarak, dünyanın daha önce bilmediği birtakım egzotik şeyler içerdiği bulundu. Pozitron, elektronun pozitif yüklü antiparçacığı, işte böyle belli etti kendini.

Hikâyeyi kısaca anlatalım. Daha 1923'te kozmik ışınların ilk fotoğraflarında pozitronların bıraktığı izler görülebiliyordu, ama o dönemde bunun böyle olduğunu anlamadı hiçkimse. Ardından, Paul Dirac'ın 1928'de elektronun bu şekilde pozitif yüklü bir versiyonu olduğunu öngörmesinden sonra dört yıl içinde pozitron kozmik radyasyonun içinde bulundu. İlk tepkiler, pozitronun dünya dışından gelme bir şey olduğu şeklindeydi, ta ki bilim insanları onun bunca zamandır dünyada da, bazı radyoaktif süreçlerin artıklarından biri olarak üretilmekte olduğunu keşfedene kadar. Onları kimsenin fark etmemiş olmasının tek nedeni, pozitronlar için bizimkinin yabancı bir dünya olması, burada hemen imha edilivermeleriydi.

POZİTRONUN KEŞFİ

Pozitronlar Dirac'ın kuramı çıkmadan beş sene önce görülmüş, ama anlaşılamamıştı. 1923'te Leningrad'da Dmitriy Skobeltsın[1] gama ışınlarını araştırıyor, onları görünür kılmak için de sis odası kullanıyordu.

Jet motorlu uçakların ardındaki buhar izlerini bilirsiniz, gökyüzünde birkaç dakika kalıp uçağın hareketinin kaydını sunan bu izler uçağın egzoz dumanında yoğuşan ve uzun ince bir bulut yaratan küçük su damlacıklarından oluşur. Parçacık izlerinin görüntüsünü üretmeye yarayan ilk araç olan sis odasında da aynı ilke işler. Sis odası aslında, içinde düşük basınçlı nemli hava bulunan camdan bir kutudur, havanın birdenbire odacığa dolmasını sağlayan bir de pistonu vardır. Havanın girişiyle beraber su buharı, yüklü parçacıklar üstünde yoğuşur ve minyatür buhar izleriyle o parçacıkların varlığını ve hareketini belli eder. Astronomlar için teleskop neyse, yirminci yüzyılın başında atom fizikçileri için sis odası oydu, normal görüşün ötesindeki şeyleri görünür kılıyordu.

Gama ışınları izlerini doğrudan bırakmazlar, H. G. Wells'in görünmez adamı gibi kalabalığı itip kakarak eleverirler kendilerini. İşte Skobeltsın da onları öyle yakalamayı planlamıştı. Görünmez gama ışınları sis odasında elektronları atomlardan dışarı atacak, Skobeltsın elektronların izlerini görecekti ve bu izlerden gama ışınlarına dair kanıtlar toplamayı umuyordu.

Planı işledi, ama fazla iyi işledi. Gama ışınları o kadar kuvvetlilerdi ki elektronları gazdan dışarı atmakla kalmayıp, sis odasının duvarlarından da dışarı fırlatıyorlar, bu da Skobeltsın'ın yapmaya çalıştığı ölçümleri etkiliyordu. Sonra Skobeltsın akıllıca bir şey düşündü, sis odasını büyük bir mıknatısın kutupları arasına yerleştirerek istenmeyen elektronları ortamdan süpürdü. Böylece bulutlar

[1] Rusça ismin Türkçe yazımı için Günay Çetao'ya ve Çevbir'e teşekkür ederim —*çev. notu.*

incelmiş oldu ve daha net görüntülerin oluşması hiç beklenmeyen bir şey ortaya çıkardı: manyetik kuvvetler sanki bazı "elektronları" "yanlış tarafa" yönlendiriyordu.

Skobeltsın'ın gördüklerinin pozitron, yani elektronların pozitif yüklü "anti" versiyonları olduğunu biliyoruz bugün, ama 1923'te böyle şeyler hiç tahmin edilmiyordu. Anormal izler kafa karıştırıcıydı ama aynı zamanda Skobeltsın'ın yapmaya çalıştığı iş bakımından dikkat dağıtan şeylerdi. Yine de aklını kurcalamaktaydılar.

Bu görüntülere dair haberler bilim insanlarının kardeşlik çevresinde yayıldı ve beş yıl sonra Skobeltsın bunları Cambridge'de yapılacak uluslararası bir konferansta sunmaya karar verdi. Herkes onun kadar şaşkındı, ama kimse duruma bir açıklama getiremedi. Bu görüntüleri 1928'de Cambridge'de sunuyor olması ironikti, zira Dirac da, izleri muhakkak "yanlış yöne giden elektronlar" gibi görünecek olan pozitronları, kuramsal bir öngörü olarak aynı yerde ve aynı yılda ortaya atıyordu. Ancak, o dönemde bunu bilen birinin Skobeltsın'ın sunumuna gelme ihtimalini bırakın, kimse pozitronların var olması için bir neden göremediğinden, büyük ödülü kaçırdı Skobeltsın.[2]

Manyetik alan elektrik yüklü parçacıkların yolunu saptırır. Oluşan eğrinin derecesi, hafif ve yavaş hareket eden parçacıklar için, ağır ve hızlı olanlara nazaran daha fazladır ve yönü yükün negatif mi pozitif mi olduğunu gösterir, negatif parçacıklar bir yöne, diyelim sola giderken, pozitif olanlar sağa döner. Ancak Skobeltsın'ın sis odasında bazı izler dümdüz geçiyor, arkalarında düz çizgiler bırakıyordu. Bunları bırakan elektronlar o kadar hızlı gidiyorlardı ki manyetik alan yollarını saptıramadan çoktan

[2] Dirac 1928'in birkaç ayını kıta Avrupasında ve Sovyetler Birliği'nde geçirmiş olduğu için bu konferansa katılmış olması pek mümkün değil (bkz. G. Farmelo 2009). Her halükârda, Dirac matematikçi olduğundan ve çalışmasının kozmik ışınlar alanında bir anlamı olduğu henüz ortaya çıkmadığından, bu gelişmelerden muhtemelen haberi olmamıştı. Dahası, Skobeltsın'ın sunumunun kalıcı bir etkisi olması, yapıldığı tarihten daha sonra anlaşılanlarla ilgili olabilir. Bkz. D. Wilson (1983), s. 562.

uzaklaşmış oluyorlardı, hareketleri o dönem bilinen her türlü radyoaktivite veya gama ışını kaynağının verebileceğinden çok daha hızlıydı. O elektronlar aslında kozmik ışınlar tarafından atomun dışına fırlatılıyordu. Skobeltsın o sırada kendisi de anlamamıştı bunu ama bizzat kozmik ışınlar tarafından bırakılan izleri gözlemleyen ilk kişiydi. İzlerin sadece elektronlardan değil pozitronlardan da kaynaklandığı neredeyse kesin, ancak izler onun bunu bilebileceği kadar eğilmediğinden ve Skobeltsın da bu işi takip etmediğinden büyük ödülü bir kez daha kaçırdı. Pozitronu 1932'de, Dirac'ın kuramı onun varlığını öngördükten dört yıl sonra, çığır açıcı bir keşifle tespit etmek ABD'li Carl Anderson'a kaldı.

Caltech'ten (California Teknoloji Enstitüsü), elektronun yükünü ölçtüğü için 1923'te Nobel Ödülü almış olan Robert Millikan "kozmik ışın" adını koyan kişiydi ve dünya dışı kaynaklı radyasyonun nereden geldiğine dair kendi kuramlarına sahipti. Kozmik ışınların gama ışını, kendi ifadesiyle "yaratılışın doğum sancıları" olduğunu, bu ifadeyle ne kast ettiği açık olmasa da Skobeltsın'ın sis odasındaki izlerin bunu kanıtladığını düşünüyordu. Işınların içinde ne olduğunu çıkarmak için önce bunların eğilmesini, böylece yüklerini ve enerjilerini göstermelerini sağlamak, bunun içinse çok daha kuvvetli bir mıknatıs gerekiyordu. Manyetik alanlar yeterince güçlü olduğunda en hızlı parçacıkların bile yönü sapardı. 1930'da Millikan, kendi araştırma öğrencisi Carl Anderson'a kozmik ışınların yönünü saptıracak kadar kuvvetli bir mıknatıs yapmasını önerdi.

Anderson yakındaki havacılık laboratuvarında çalışan mühendislerin yardımıyla bunu yaptı. Elde ettiği manyetik alanlar Skobeltsın'ın kullandıklarından on kat daha güçlüydü ve bu daha güçlü düzenekle parçacıkların uçuş yollarını eğmeyi başardı Anderson. Hayretle gördü ki kozmik ışınlar, sayıları aşağı yukarı eşit olan hem negatif hem pozitif parçacıklar içeriyordu.

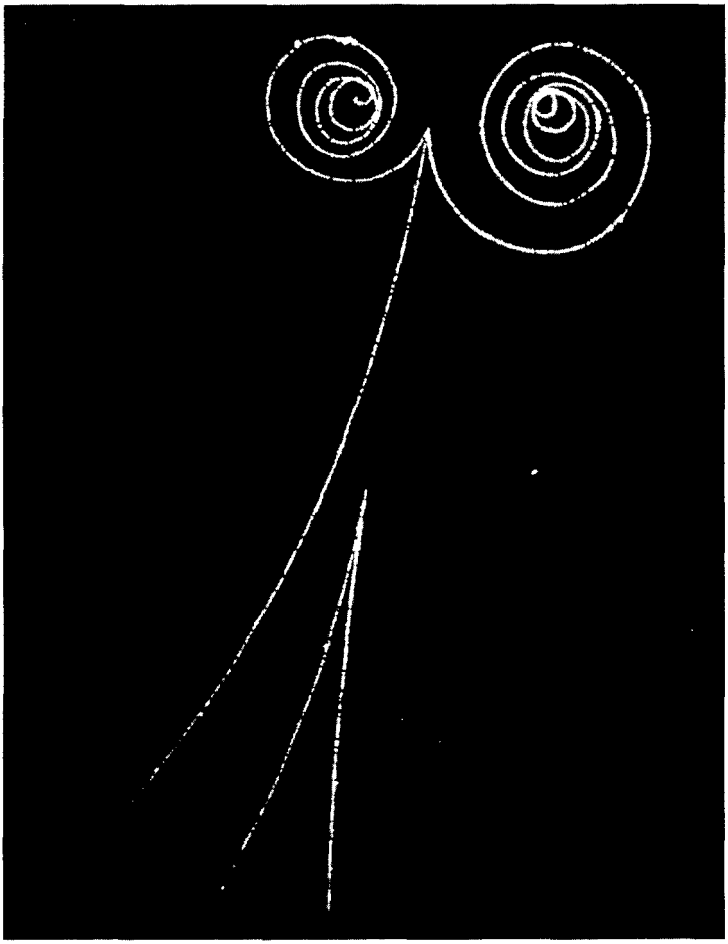
Millikan kozmik ışınların gama ışınlarından oluştu-

ğuna inandığından, ve gama ışınları da kendi başlarına iz bırakmadığı için, o yüklü parçacıkların gama ışınları tarafından atomların dışına atılmış olduğunu düşündü. Onun yorumuna göre parçacıkların negatif olanları elektron, pozitif olanları da protondu. Gelgelelim Anderson'ın çektiği fotoğraflardaki görüntüler buna pek de uymuyordu. Elektron gibi hafif parçacıklar ince, ufacık izler bırakır, daha cüsseli olan protonların bıraktığı yoğun yol izlerinden epey farklıdır bunlar. Anderson'ın resimlerindeki izlerin hepsi elektron izine benziyordu, o da böylece "yanlış yöne" sapanların aşağı doğru giden pozitif yüklü parçacıklara değil de yukarı doğru giden elektronlara ait olabileceğini öne sürdü. Millikan bu fikri sevmedi ve kozmik ışınların doğasına dair kendi önyargılarının çarpıttığı değerlendirmesiyle, izler kalın değil ince olmasına rağmen, yine de aşağıya doğru giden protonlara ait oldukları konusunda ısrar etti.

Anderson, sis odasına odayı ortasından kat eden bir kurşun tabaka yerleştirerek tartışmaya son verdi. Parçacık tabakadan geçince enerji kaybedecek, böylece tabakadan çıktığında yolunun çizdiği eğri öncekinden daha dar olacaktı. Böylece parçacıkların aşağı doğru mu yukarı doğru mu gittiğini tartışmaya gerek kalmayacak, yüklerinin işareti de bir kerede, kesin olarak belirlenmiş olacaktı: aşağı gidenler pozitif, yukarı gidenler negatif.

Bu yöntem gerçekten de soruyu cevapladı ve Anderson'la Millikan'ın *ikisinin de* yanıldığını gösterdi! İzler ne pozitif yüklü protonlara, ne de yukarı doğru giden elektronlara aitti, aşağı doğru hareket eden "pozitif elektronların" izleriydi bunlar. Cevap en azından Anderson'ı tatmin etmişti, fakat daha sonra göreceğimiz gibi, Anderson hocası Millikan'ı ikna etmekte zorluk çekiyordu halen.

Anderson'ın ilk gördüğü pozitronun hakikaten de yukarı doğru gidiyor olması ironiktir. Bunun, bir kozmik ışının kurşun levhanın altında kalan alanda, havada bir atoma çarpıp bunun levhadan sekip içinden geçmesiyle yolunu şaşıran bir pozitronun izi olduğu ortaya çıktı.



Şekil 6: Bir elektron ve bir pozitronun oluşumu. Yüksek enerjili bir kozmik ışın bir elektronu atomun dışına fırlatmış –görüntünün üst kısmından sol alta uzanan yumuşak eğimli yol bunun izi. Bir elektron ve bir pozitron oluşturmaya da yetecek enerji mevcut, görüntünün üst bölümünde, dar kıvrımların meydana getirdiği spiraller bunlara ait izler. Resmin alt kısmında bir elektron ve pozitron daha oluşup, ters dönmüş *V izini* bırakarak birbirlerinden ayrılmışlar.

Olay Anderson'ın kafasını büsbütün karıştırdı, ama daha sonra protondan açıkça çok daha hafif olan ve kurşun levhanın içinden aşağı inen ilk güzel pozitif parçacık örneğini buldu. Kısa süre içinde bunun gibi yukarıdan aşağı inen birkaç tane daha "pozitif elektron" örneği yakaladı ve bunu kamuoyuna duyuracak güveni kazandı. *Science News Letter*'ın editörü, Aralık 1931 sayısında bu iz fotoğraflarından birini yayımladı ve "pozitron" adını ilk kez kullandı. Pozitron o zamandan beri pozitron diye biliniyor.

1931'de eldeki bilgi, maddenin atomlardan oluştuğu ve atom menüsünün de basit olduğuydu: bir elektronlar var bir de protonlar. Pozitronun burada yeri yoktu, o zaman bunlar nereden çıkıyordu ve neydiler? Anderson'la Millikan ABD'nin batı yakasında yaşıyorlardı ve anlık iletişimin, bugün norm olan tartışma gruplarının yokluğunda Dirac'ın çalışmalarına ve bunun taşıdığı anlama dair gelip geçici şekilde bilgileri olmuştu ancak. Pozitronu ilk tespit eden Anderson olmakla beraber, onun varlığını şüpheye yer bırakmaksızın doğrulayan ve nereden geldiğini açıklayan, Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'ndan Patrick Blackett ile Guiseppe Occhialini olmuştu.

BLACKETT VE OLUŞUM

Pozitronlar atomların içinde yok, en azından dünyada bildiğimiz maddenin atomlarının içinde değiller; o halde kozmik ışınlardaki pozitronlar nereden geliyordu? Anderson bunu bilmiyordu ve aynı yıl içinde cevabı bulan Blackett'la Occhialini oldu: pozitronlar dünya dışından gelme işgal kuvvetleri değildi, bizzat kozmik radyasyon tarafından, atmosferin içinde oluşturuluyorlardı.

Blackett, Rutherford'un grubunda, Cambridge'deki Cavendish Laboratuvarı'nda sis odasıyla çalışıyordu. Alet edevata bayılırdı ve yaklaşık on saniyede bir çalışmaya hazır bir sis odası geliştirmiş, sıradan sinema filmi üzerine fotoğraflar kaydetmeye başlamıştı. 1921 ile 1924 ara-

sında, sis odasında azot gazına bombardıman yapan alfa parçacıklarının (radyoaktif nükleer bozunmanın bir ürünü) izlerinin yirmi binden fazla resmini biriktirdi. Zaman zaman bir alfa parçacığı bir azot atomunun çekirdeğiyle çarpışıyor ve onunla öyle bir şekilde birleşiyordu ki azot başka bir elementin tohumlarına dönüşüyordu. Atom çekirdeğinin transmutasyonunu (değişimini) bu şekilde yakalayıp film üzerine kaydeden Blackett adını duyurmaya başlamıştı.

Guiseppe Occhialini Cavendish'e 1931'de geldi. Uzmanlığı, Gayger sayacı kullanarak nükleer radyasyonu tespit etmekti. O ve Blackett notlarını karşılaştırdılar ve uzmanlıklarını birleştirerek, o zamana kadar parçacıkları kimi zaman yakalayıp kimi zaman ıskalayan bir şey olan sis odasını etkin bir araca dönüştürebileceklerini fark ettiler.

Fikirleri pırıl pırıl bir sadelikteydi. Blackett'ın sis odası otomatik çalışıyor ve poz poz resimler çekip duruyor, şans eseri bir şeylerin olduğu âna denk gelmeyi bekliyordu. Resimlerin büyük bölümünde ilginç hiçbir şey yoktu, ancak yirmi tanesinden birinde bir iz görünüyordu. Gayger sayaçlarının güçlü ve zayıf yönleri sis odasınınkileri tamamlıyordu; Gayger sayacı, içinden yüklü bir parçacık geçtiğinde işaret verir, ama buna neyin sebep olduğuna dair pek bir şey göstermez. Blackett'la Occhialini'nin büyük fikri, bir sis odasının üstüne ve altına birer Gayger sayacı yerleştirmekti. Eğer bunların ikisi aynı anda işaret verirse, odadan bir kozmik ışın geçmiş olması kuvvetle muhtemel demekti. Gayger sayaçlarını bir röle mekanizmasına bağladılar, sayaçların aynı anda verdiği elektrik uyarısı sis odasını harekete geçiriyor ve bir ışık parlamasıyla kozmik ışınların izleri film üzerinde sabitleniyordu. Buradaki önemli özellik, ışının geçişinden sonra kısa bir süre için izlerin kalmasıydı; fotoğraf çekildiğinde kozmik ışın çoktan geçip gitmiş, ama asıl önemli şey olan o damlacıklar hâlâ gazın içinde bulunuyordu.

Blackett'ın başarı oranı daha önce sadece yirmide

1'ken, şimdi beşte dörde fırlamıştı! O ve Occhialini bu yöntemle birlikte ilk fotoğraflarını Haziran 1932'de çektiler ve o yılın sonbaharına kadar bine yakın fotoğraf biriktirdiler. Fark ettiler ki ilk bakışta elektronlara ait gibi görünen izlerden bazıları aslında manyetik alanda yanlış yöne meyletmişti. Blackett bunlardan Dirac'a bahsetti.

Dirac'ın dramatik bir şekilde bunun bir pozitron olduğunu, yani kuramının kanıtını bulduğunu söyleyeceği "Evreka!" ânı için her şey tamamdı. Ama olmadı. Blackett ve Dirac her nasılsa ikiyle ikiyi toplayamadılar. Dirac'ın temkinli ve mantıklı konuşma eğilimi olabilir bunun nedeni; günümüzde yaygınlaşan, fikirleri "zorla satma" tavrını hiç de benimseyebilecek biri değildi o. Belki de Blackett Dirac'ın kuramının ne kadar derin olduğunun farkında değildi ya da onu ciddiye almamıştı. Sebebi ne olursa olsun, Dirac'la Blackett, gözlerinin önündeki o kıymetli gerçeği ikisi de idrak edememiş olarak ayrıldılar birbirlerinden. Skobeltsın büyük ödülü nasıl kaçırdıysa, keşif onların önünden de geçip gitti. Blackett ile Occhialini ellerinde ne olduğunu ancak Anderson'ın keşfini duydukları zaman anlayabildiler.

Ama şanslıydılar ki onların elinde daha fazlası vardı, Skobeltsın'm da Anderson'ın da hedefi bir yakalayıp bir ıskalayan deney sistemleriyle tutturamadıkları bir şeydi bu. Blackett ile Occhialini'nin elindeki pek çok resimde, sayıları yirmiyi bulabilen parçacıkların, sis odasının hemen üzerinde yer alan bakır levhadan kaçan, duştan akan suya benzeyen izleri görülebiliyordu. Odanın her yanına yayılmış güçlü manyetik alan izleri eğiyor ve parçacıkların aşağı yukarı yarısının negatif yüklü, gerisinin pozitif yüklü olduğunu gösteriyordu. Blackett ve Occhialini, pozitronlar doğada kendiliğinden bulunmadığına göre eşit sayıda pozitron ve elektronla karşılaşmalarının gözle görünmeyen yüksek enerjili radyasyondan kaynaklandığını anladılar. Buradaki mesaj, pozitronların sis odasındaki kozmik ışınlarla atomların çarpışması sonucunda oluştuğuydu.

Sis odasının camdan kenarları bakır çerçeveliydi ve gördükleri o sağanaklar kozmik ışınların metale çarpmasının sonucuydu. Bu şekilde, kozmik ışınlardaki tek bir elektron, elektronlardan ve pozitronlardan bir çağlayan yaratmaya yetiyordu. Bakır atomlarının içindeki yoğun elektrik alanları buradan geçen elektronların gama ışınları saçmasına neden oluyor ve eğer bu gama ışınlarının yeterince enerjisi varsa onlar da elektron ve pozitron çiftleri üretiyorlardı. Einstein'ın $E = mc^2$ denklemi enerjinin (E) kütleye (m), yani radyasyonun maddeye dönüştürülebileceğini söylüyordu ve Blackett ile Occhialini radyasyondan maddenin ve tabii antimaddenin ortaya çıkışını ilk kez göstermiş, Anderson'ın yeni parçacığının tuhaf bir dünya dışı ziyaretçi olmadığını ispat etmişlerdi.

Bu hikâyedeki son ironi de, Blackett ile Occhialini'nin neredeyse Anderson'ı geçip işin bütün payesini alacak olmasıdır. Anderson vaktini, danışmanı Millikan'ı gördüklerinin proton filan olmadığına, gerçekten de elektronun pozitif versiyonunu bulduğuna ikna etmeye çalışmakla geçirmişti. Blackett ve Occhialini'nin çalışması bunu şüpheye yer bırakmayacak şekilde kanıtladı ve gönülsüzce de olsa Millikan bile Anderson'ın haklı olduğunu kabul etmek zorunda kaldı. Blackett ile Occhialini'nin makalesi Şubat 1933'te *Proceedings of the Royal Society* dergisine gönderilmişti. Anderson neyse ki Millikan'ın şüpheciliğine rağmen elindeki taslak sonuçları 1932'de kamuya sunacak güveni bulmuştu kendinde ve *Science News Letter*'da çıkan resmin ardından, önceki aralık ayında yayımlanmıştı bunlar. Talih cesurdan yanadır.

DÜNYA YÜZÜNDE POZİTRONLAR

Dirac'ın yolu göstermesiyle Anderson, Blackett ve Occhialini tarafından yapılan keşiflere dair haberler bilim camiasında hızla yayılınca pozitronlar her yerden fışkırmaya başladı. Fizikçiler hemen sis odalarında çektikleri eski

fotoğraflara baktılar ve pozitronlarm varlığının, daha önce fark etmedikleri kanıtlarını gördüler. Eğer yeterince cesaretleri olsa bilimin kayıtlarında Anderson'inki yerine kendi isimlerini ölümsüzleştirebilecek birçok insan vardı. Irene ve Frederic Joliot-Curie de pozitronu kaçıranlar arasındaydılar. Marie Curie'nin kızı Irene ile kocası Frederic Joliot, Ocak 1932'de[3] nötronları ilk üretenler olup da onları gama ışını zannederek Nobel Ödülü'nü bir kez kaçırmışlardı zaten. Şimdi pozitronu da ıskalamış olduklarını fark ediyorlardı: Anderson bu keşif için 1936'da Nobel Ödülü aldı. Ancak Joliot-Curielerin de şansı dönmek üzereydi, 1935'te kısa ömürlü radyoaktif çekirdeklerin üretiminden dolayı onlar da Nobel Kimya Ödülü'nü aldılar; çalışmalarının uygulama alanlarından biri kendiliğinden pozitron yayan çekirdeklerin üretimidir.

1896'da Henri Becquerel radyoaktiviteyi tesadüfen bulduğunda, uranyum atomlarının kendi kendilerine değişebildiğini keşfetmişti. Bugün biliyoruz ki çekirdekteki nötronlardan birinin protona dönüşmesinden kaynaklanır bu, toplam elektrik yüküyse negatif yüklü bir elektronun salınmasıyla dengelenir. Pozitronun keşfedilmesinin ardından, bir protonun nötrona dönüştüğü ve elektrik yükünün de pozitron tarafından taşınıp götürüldüğü çekirdek bozunmaları olabileceğini düşünmek doğaldı.

Radyoaktivitenin pozitronları da elektronları ürettiği kadar kolay üretebileceği fikri kuvvetleniyordu. İkisi arasındaki asıl pratik fark, bundan sonraki adımda ne olduğuyla ilgilidir. Çekirdekten atılan bir elektron elektrik akımı olarak akıp gidebilir veya komşu atomların çekirdeklerinde gezegen gibi dolaşan diğer elektronların dansına katılabilir, ardından kimyasal reaksiyonlar başlatır, evrenin geleceğinde sayısız macera yaşar. Onun aksine pozitron bizim toprağımızın yabancısıdır ve bu dünyada fazla ömrü yoktur. Sayısız negatif yüklü elektronla dolu maddeyle çepeçevre kuşatılmış bulur kendini. Bu elekt-

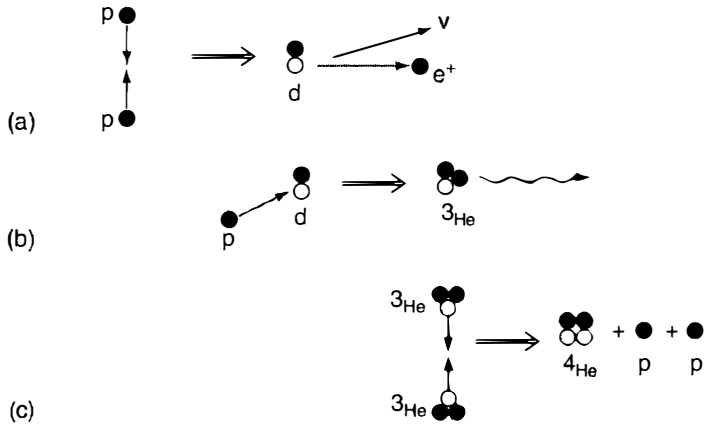
[3] D. Wilson, *a.g.e.*, s. 548.

ronlardan biri anında pozitronla kozmik bir ölüm dansına başlar ve birbirlerinin etrafında dönerek bir mikrosaniye içinde, bir ışık parlamasıyla karşılıklı olarak birbirlerini imha ederler. Son yıllarda pozitronun çeşitli uygulamalarda kullanılmasını sağlayan işte bu özelliğidir.

Pozitron salınımı doğal ve yaygındır; bazı çekirdek türlerinin pozitron yayabiliyor oluşu tıpta ve teknolojide çok işe yarar. Bu tür çekirdeklerden bazıları, karbon-11, azot-13 ve oksijen-15'tir, vücudumuzda bolca bulunan elementlerin bu radyoaktif formları pozitron yayımı ile beraber bazı vücut fonksiyonları, mesela beyinde yapılanları izlemekte kullanılır. Temel ilke, çekirdek bir pozitron yaydığında ve bu pozitron yakınlardaki bir elektronla beraber yok olduğunda, neredeyse peş peşe çıkan iki gama ışınını kullanmaktır. Bu çiftin parçacık fiziğinde geliştirilen elektronik devrelerle tespit edilmesi, onları yayan çekirdeğin yerini çok hassas şekilde saptanmasını sağlıyor. Şimdi bunun nasıl uygulandığına geçelim.

Siz düşünürken beyninizin çeşitli kısımları başka başka düzeylerde faaliyet gösterir. Faal olmakla beyin, damarlardaki kanda bulunan kimyasal şekerin verdiği enerjiyi kullanır. Beyindeki şeker konsantrasyonunu ölçebilseydik, beynin faaliyetine dair bir şeyler gösterirdi bu bize. Kimyagerler şeker moleküllerinin içine radyoaktif atomlar katabiliyorlar, bu şeker vücuda alınıp, kalp, akciğerler, kaslar ve beyin gibi, faaliyet gösteren bölgelere dağıtılıyor. Tıpta teşhis koymakta ne çok işe yaradığını bize göstermiş olan temel fikir, burada pozitron yayan şekerler kullanmak. Pozitronlar çevredeki atomlarda bolca bulunan elektronlar tarafından anında ortadan kaldırılıyorlar. Bu noktadan uçup giden gama ışınlarını saptayan özel kameralar kullanarak gayet kolay bir şekilde söz konusu yok etme olayının uzayın neresinde yaşandığını, dolayısıyla şekerin nerede kullanıldığını tespit edebiliyoruz.

Kişinin başının çevresinde kameralardan bir hale oluşturularak beynin dilim dilim kesitler halinde görüntüleri elde edilebiliyor. Bu tekniğe pozitron yayıcı tomografi



Şekil 7: Pozitronlar ve Güneş'teki enerji üretimi. p ile gösterilen iki proton birleşerek bir döteron (beyaz daireyle gösterilen bir nötron ve siyah daireyle gösterilen bir protondan oluşuyor) ile bir pozitron ve bir de nötrino yapıyorlar. (b)'de başka bir proton gelip döterona çarparak onu helyum-3'e ve bir fotona çeviriyor. (c)'de bu süreçlerin ikisinin sonucunu görüyoruz: iki helyum-3 çekirdeği birleşerek bir helyum-4 ve iki proton oluşturuyorlar.

ya da kısaca PET (*positron emission tomography*) deniyor. Bu işte kullanılan belirli izotoplar oldukça kısa ömürlü olduğundan,[4] hastanın yanında hazırlanmaları gerekiyor. Söz konusu izotoplar, uygun elementleri küçük bir hızlandırıcıdan gelecek protonlarla bombardımana tutarak elde edilebiliyor.

Yani Dirac'ın o esrarengiz antimadde öngörüsü bugün hayat kurtarmakta kullanılıyor. Pozitronların yok oluşu malzemelerle ilgili çalışmalarda da çok işe yarıyor. Mesela, karşılıklı imhanın metallerde kullanımı metal yorgunluğunun başladığını diğer tekniklerden çok daha önce gösteriyor. Uçak türbinlerindeki pervane kanatlarının test

[4] Mesela, oksijen metabolizmasını incelemekte kullanılan oksijen-15'in yarı ömrü sadece iki dakikadır.

edilmesinde kullanılıyor bu yöntem, böylece güvenlik payı daraltılarak kâr artırılmış oluyor.

Bilim insanları pozitronları sıradan atomlara bağlayarak antimaddenin kimyasal özelliklerini çalışıyorlar. Bir elektronla bir proton nasıl hidrojen atomu yapıyorsa, bir elektronla bir pozitron da "pozitronyum" oluşturabiliyorlar, bunun da kendi kendini yok etmeden önce saniyenin milyonda birinden az ömrü oluyor. Hatta pozitronyum molekülleri bile oluşturuldu ve bu moleküllerin yoğun halde bir arada bulunmasıyla gama ışını lazerinin temelinin oluşturulabileceği üzerine konuşuluyor.[5]

Böylece antiparçacıkları pozitron formunda tanıyor ve gündelik hayatımızda kullanıyoruz. Bizim için elektronlardan daha az tanıdık olmalarının temel nedeni sayıca bu kadar azınlıkta kalmaları ve bu yüzden de hemen ortadan kalkmaları. 23. sayfada söylemiş bulunduğumuz üzere günışığı da, Güneş fırınında yüz bin yıl önce üretilmiş olan pozitronların son ürünü, uzak geleceğin aydınlığıysa tam şu anda oluşmakta olan pozitronlar tarafından hazırlanıyor.[6] (bkz. Şekil 7)

[5] *Nature*, 2007, cilt. 449, s. 153.

[6] Solar füzyon sonucu dört tane proton bir helyum çekirdeğine dönüşür ve buna ek olarak iki pozitron iki de nötron çıkar ortaya. Pozitronlar yok olarak fotonları üretirler. Helyumun kütlesi dört protonun kütlesinden azdır ve arta kalan mc^2 enerji olarak yine yüzeye çıkar ve gözle gördüğümüz ışık olur. Görünen ışığın yaklaşık yüzde 10'u pozitron imhası kökenlidir.

5
İMHA

NE MADDE NE ANTİMADDE

Madde var, elektron gibi, antimadde var, pozitron gibi; bir de ne madde ne de antimadde olan başka şeyler var. Maddesiz şeylerin en tanıdık örneği elektromanyetik radyasyon. Gama ışınlarından x ışınlarına (röntgen), morötesi ışınlardan gözümüzün gördüğü ışığa, kızılaltına (*infrared*) ve radyo dalgalarına kadar bütün elektromanyetik radyasyon (ışıma), farklı enerjilerdeki fotonlardan oluşur. Madde ve antimadde birbirini götürebilir, ortadan yok oluşlarından geriye foton halinde maddesizlik kalır; eğer şartlar uygunsa bu sıra tersinden de işleyebilir ve fotonlar madde ve antimadde parçalarına dönüşür.

Doğanın işleyişinde hesapları kontrol ederken bilim insanlarının pek sevdikleri o kavram, yani saf enerji de maddesizdir; bir biçimden ötekine geçebilir; elektriksel, kimyasal veya hareketsel olabilir veya maddeleşip madde ve antimaddeye dönüşebilir. Enerjiden ne kadar madde yoğuşabileceğini Einstein bize söyler; $E = mc^2$'nin asıl numarası budur. Bir elektron bir de pozitron yapmak için gereken asgari enerji miktarı $2\,mc^2$ olacaktır. Bir pay mc^2 sabit bir elektron yapmaya yeter, ikinci pay da pozitronundur. Durur halde oluşmuş olduklarından hemen birbirlerini yok edecekleri neredeyse kesindir, böylece bir an için içlerinde tuttukları enerjiyi de serbest bırakmış olurlar. Pozitrona hayatta kalma şansı vermek için bu mi-

nimum enerjiden daha fazlasına sahip olmanız gerekir; "fazla" gelen enerji, kinetik enerji, yani hareket olacak böylece elektronla pozitron doğum ânında birbirlerinden uzaklaşarak kaçacaklardır.

Işık fotonu, maddesiz parçacıkların bilinen yüzden fazla örneğinden biridir sadece. Bu varlıklara "bozon" denir, isimleri Hintli fizikçi Satyendranath Bose'dan gelir. Maddenin ve antimaddenin temel parçacıkları olan maddeli parçacıklar içinse, İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin adından türetilmiş "fermion" kelimesi kullanılır. Fermionların davranışlarını Dirac denklemi tanımlar; bozonlar başka kurallar izlerler. Dirac şanslıdır bir bakıma. Amacı kütlesi olan parçacıklar için bir denklem kurmak ve pozitif–negatif enerjiler problemiyle uğraşmaktı. 1928'de bilinen yegâne kütleli parçacıklar elektronla protondu ve tesadüfen bunların ikisi de fermiondur; tanımlanması gereken tek parçacık olan fotonsa bozondu ama kütlesi yoktu. Dirac, denklemiyle bilimde devrim yaptıktan yirmi sene sonra, kozmik ışınlarda kütleli bir bozon olan "pion" keşfedildi. Eğer 1928'de pion biliniyor olsaydı Dirac o denklem için bu kadar çalışır mıydı, ya da hiç çalışır mıydı, bilemiyoruz.[1]

Evren, doğanın kuvvetleri tarafından sonu gelmez bir raksa kıstırılmış temel parçacıklardan oluşur, bu kuvvetlerin en bilindik olanları da kütleçekimi kuvveti, elektrik ve manyetik kuvvetlerdir ("elektromanyetik kuvvet"). Atomların boyutuyla karşılaştırdığınızda sonsuz sayılacak kadar büyük mesafelerden etki eder bunlar. Kütleçekimi gezegenleri Güneş'in çevresindeki yörüngeleri üzerinde tutar, Dünya'nın erimiş merkezinin içinde dolaşan elektrik akımları bir pusulanın incecik ibresini döndüren ve kayıp gezginlere aradıkları yönü gösteren manyetik alanı oluşturur. Eskiden öyleydi en azından; bugünkü gezginler

[1] Kimi radyoaktif bozunmalarda yayılan "alfa parçacığı" denen şey de bozondur. Ancak bu parçacık helyum atomunun çekirdeği olarak biliniyordu dolayısıyla diğer parçacıklar kadar temel sayılmıyordu.

pusula yerine GPS sistemi kullanacak olsalar da, bunların ardında yatan ilke benziyor: Uyduyla iletişim radyo dalgaları aracılığıyla kuruluyor, bu da elektromanyetik radyasyon, yani her yerde bulunan aynı kuvvetlerin bir diğer hali.

Mıknatısın metalleri çektiğini veya pusula ibresinin kuzeye döndüğünü gördüğünüzde bunların arasındaki iletişimi neyin sağladığını merak edebilirsiniz. Buna bir isim koyup "elektromanyetik alan" diyebiliriz, ama gerçek bir açıklama değildir bu; uzak mesafeler arasında gelişen hareketler gibi acayip bir olay için bir etiket bulup kullanmış oluruz sadece. Dirac'ın çalışmalarının bir sonucu, elektromanyetik alanın kendisinin de kuantum kuramına tabi olduğunun keşfedilmesi oldu. Fotonlar parçacığa benzeyen elektromanyetik radyasyon kümeleridir; yüklü parçacıkların birinden diğerine koşarken elektromanyetik kuvveti aktarırlar. Londra'daki bir radyo anteninde ileri geri sallanan bir elektron, evinizdeki radyoda da buna benzer bir karşılık yaratabilir, bunların arasındaki iletişim elektromanyetik radyasyon, yani aynı zamanda fotonların hareketi de demek olan radyo dalgalarıdır. Bir yerdeki hareket başka bir yerde de harekete neden olmuştur; aralarındaki boşluğu fotonlar kat eder; kuvvet sizinledir.

Modern "kuantum alan kuramı"nda sadece elektromanyetik kuvvet değil bütün kuvvetler bozonlar tarafından aktarılıyor. Fotonun elektromanyetik kuvvet için yaptığı işi, kütleçekimi için de "graviton"un[2] yaptığı düşünülüyor. Gravitonu şimdiye kadar tespit eden olmadıysa da, böyle bir şeyin var olduğundan ve bir gün elbet bulunacağından hemen hemen kimsenin şüphesi yok. İki kuvvet daha var, bunların da bozonlar tarafından aktarıldığı biliniyor. Bunlar adı daha az duyulan kuvvetler çünkü asıl olarak atom çekirdeğinin içinde ve çevresinde etki ediyorlar ve ancak bu kadar küçük ölçekte çalışabile-

[2] İngilizce *gravity* ve Batı dillerindeki benzer kelimeler "kütleçekimi" anlamına gelir, *graviton* buradan türetilmiş bir kelimedir —*çev. notu.*

cek hassasiyetteki cihazlarla tespit edilebiliyorlar. Güçlü (baskın) kuvvet ve zayıf kuvvet diye bilinen bu kuvvetlerin isimleri, bildiğimiz elektromanyetik kuvvete kıyasla bunların ne kadar gücü olduğunu özetliyor.

Güçlü kuvvet, daha da temel parçacıklar olan kuarklardan (onlar hakkında daha fazlası pek yakında) protonları ve nötronları inşa ediyor ve atom çekirdeğini yapışık tutuyor. Zayıf kuvvet Güneş'in ışık vermesini sağlıyor ve elementlerin oluşumunda kilit rol oynuyor; elementler olmasa Dünya da, biz de olmazdık. Atom çekirdeklerinin içinden, onları yavaş yavaş aşındıran bu kuvvet sonunda atomların yapıtaşlarının daha kararlı kombinasyonlara dönüşmesini sağlar. İşte böylece, yakıtın protonlar olduğu Güneş'te zayıf kuvvet zamanla bu protonlardan dördünü sıkı bir kümeye dönüştürür; bu da, iki proton ve iki nötrondan oluşan helyumun çekirdeğini meydana getirir. Bu esnada zayıf kuvvet protonlardan ikisini nötrona çevirmiştir, bunların pozitif elektrik yükünü de kim alıp götürse beğenirsiniz? –Pozitronlar. Beş milyon yılda Güneş'in yakıtının, yani protonlarının yarısı bu şekilde değişmiştir. Bu bize, Güneş'in fırınında iş gören zayıf kuvvetin ne kadar zayıf olduğuna dair bir fikir verir, buna müteşekkir olmalıyız: Akıllı hayatın ortaya çıkmasına yetecek kadar uzun süre dayandı Güneş, ama hayatın kendisinin şartlarının oluşmasına yetecek kadar da hızlı yandı.

Güçlü ve zayıf kuvvetler yarım yüzyıldan uzun zaman önce varlıkları ilk fark edildiğinden beri fizikçilerde hayranlık uyandırıyor. Bugün nasıl işlediklerini anlıyoruz ve antimadde sayesinde bunların sırlarının nasıl anlaşıldığını 6. Bölüm'de göreceğiz. Onlar da bozonlarla aktarılıyorlar. Kuarkları birbirine yapıştırıp protonları ve nötronları meydana getiren şeylere "gluon"[3] deniyor, "pion"larsa atom çekirdeğini inşa etmek üzere nötronları tutmaya yardım ediyor. Zayıf kuvvet kendini birbirinden farklı iki yolla gösteriyor ve ikisi de bozonlarla aktarılıyor.

[3] İngilizce *glue* yapıştırmak anlamındadır —*çev. notu.*

Bunlardan biri elektromanyetik kuvvete benziyor ama ondan epeyce daha zayıf; Z^0 denen, elektriksel olarak nötr bir bozonla aktarılıyor (Z'nin üstüne yazılan sıfır, yükünün olmadığını gösteriyor). Bu Z^0 fotona çok benziyor ama epey cüsseli bir şey; kütlesi demir atomundan bile daha fazla; garip bir şekilde, "ağır ışık" diye bahsediliyor ondan. Zayıf kuvvetin ikinci etki etme biçimi de, etkisi altındaki parçacıkların elektrik yük miktarlarını birbirleriyle değiş tokuş etmek. Mesela Güneş'in içinde bir protonu nötrona dönüştürürken zayıf kuvvet elektrik yükünü protondan alıp bir pozitrona veriyor. Peki o pozitron nereden çıktı? Zayıf kuvvetin taşıyıcısı olan W^+ tarafından alınıp götürülen enerjiden yapıldı. Bu örnekte, üstteki işaret W'nin pozitif elektrik yükü olduğunu ifade ediyor. W negatif yüklü de olabilir, nötronun bozunması sırasında olduğu gibi. Elimizdeki durumda nötronun sıfır yükü bir pozitife (proton) ve bir negatife (W^-) dönüşüyor ve W^-'nin negatif yükü bir elektrona aktarılıyor.

Kuvvetleri aktaran bu ajanların hepsi maddesizdir, ne madde, ne antimadde, bunların hepsi bozondur. Bozonlar madde ve antimadde parçacıklarına etki eder ve kendileri de maddeli bu iki halin birbirini dengeleyen zıt parçacıklarına dönüşebilirler; o parçacıkların da hepsi "fermion"dur. Yani doğa iki parçacık çeşidi sunmuş gibidir: kuvvet taşıyanlar, yani bozonlar, ve maddenin temel tuğlaları, yani fermionlar. Bozonlar gelir gider, fermionlar eninde sonunda bozunup en kararlı biçimlerine döner yani elektron olur, proton ve nötron kombinasyonları olur, ve bu noktadan sonra onlar için risk sadece antimadde ikizinden gelir.

Evrende madde ile antimadde arasındaki savaş on dört milyar yıl önce oldu ve madde kazandı. Fermionlar yapıları meydana çıkarıyor, kararlılıkları var ve hayata imkân veriyorlar. Milyarlarca yıldır var olagelmiş atomlardan oluşuyoruz biz, sadece "biz" olduklarını düşünen kombinasyon biçimlerinde olmaları şimdiye ait. Oksijeni ciğerlerimize çekip karbondioksidi veriyoruz, büyüyoruz,

ölüyoruz, ama bizi meydana getiren atomların varlığı devam edecek. Onların en basit parçaları sonsuz çeşitlilikte yeniden biraraya gelerek uzak geleceğe yol alacak, yeter ki antimaddeyle karşılaşmasınlar.

BİRKAÇ ANTİPARÇACIK DAHA

Dirac aslında denklemini elektronu açıklamak için yazmıştı. Ama bütün fermionların yazısı oldu bu ve proton için de, nötron için de bir o kadar geçerli. Denklemden elektronun negatif enerji seviyesinde bir versiyonu olduğu çıkıp, Dirac bunu gayet başarılı bir şekilde, pozitif enerjiye ve pozitif yüke sahip bir pozitron olarak yorumlarken, proton ve nötronun da antimadde eşleri olduğunu söylüyor, antiprotonla antinötronu da öngörüyordu denklem. Antiproton, protonla aynı kütleye sahip, ama pozitif değil negatif yükü var. Bunun gibi antinötronun da kütlesi nötronla aynı ve yükü sıfır. Peki nötronla antinötronun yükü aynı olduğuna göre, onları birbirinden ayıran özellik ne?

Nötron toplamda hiç elektrik yüküne sahip olmasa da, bünyesi yük içeriyor. İleride göreceğimiz üzere hem protonun hem de nötronun küçük ama ölçülebilir bir boyutunda dönüp duran pozitif ve negatif elektrik yükleri var ve protonun ve nötronun yükü diye bunların toplamına diyoruz aslında. Nötronun toplam yükleri sıfır etse de, bunların hareketleri fırıl fırıl dönen elektrik akımları ve manyetizma üretiyor ki bunu nötronun manyetik alanda nasıl hareket ettiğini izleyerek hissedebiliyoruz. Antinötronun içinde bu tekil elektrik yüklerinin her birinin işareti, nötrondakilerin tersi; onun iç akımları nötronunkilerin aynadaki aksi gibi dönüp dolaşıyor. Daha sonra göreceğimiz üzere bir araya gelerek protonları ve nötronları oluşturan elektrik yük noktalarının kendileri de, kuark denen küçük parçacıklar. Proton ve nötron kuarklardan oluşurken, bunların anti karşılıkları da antikuarklardan oluşuyor.

Pozitronun keşfinin ardından mesele, antihidrojen atomunun diğer parçasının, yani antiprotonun da var olup olmadığını doğrulamak oldu. Sorun, protonun elektrondan yaklaşık iki bin kat daha ağır olmasıydı, dolayısıyla antiproton da pozitrondan bir o kadar ağır olacak, yani onu meydana getirmek için çok daha fazla enerji gerekecekti. Kozmik ışınlarda antiprotonlarla da karşılaşılır ama onlar çok daha enderdir ve tespit edilmeleri de daha zordur.

1950'de kozmik ışınlar daha başka, daha yeni parçacıkları ortaya sermişti. Bunlar arasında, elektronun daha ağır bir versiyonu olan muon, protonun yaklaşık yedide biri ağırlığındaki bozon ve beklenmedik şekilde uzun ömürlü oldukları için "acayip" adı takılan kaon gibi parçacıklar vardı; ama antiproton yoktu. Antiprotonun varlığı genelgeçer bilgi sayılıyordu, fizikçiler o kadar emindiler Dirac'ın öngörülerinden. California'daki Berkeley'de, protonları bir hedefe çarptıklarında antiprotonu üretecek kadar çok enerji sahibi olacakları raddede hızlandıracak bir parçacık hızlandırıcısı yapmak gibi iddialı bir plan yapıldı. Mesele bu cihazı yapmak ve antiprotonu şüpheye yer bırakmayacak şekilde yakalayıp tespit edecek bir yöntem tasarlamaktı.

Bir antiprotonun içinde kilitli bulunan enerji miktarı olan bir "milyar elektron volt" (*billion electron volts*) için kullanılan "BeV" kısaltmasından gelen BeVatron'du bu makinenin adı. Enerji kütleli parçacıklara dönüşürken parçacıklar çift halinde ortaya çıkar, her parçacığın yanında antiparçacığı da olur, dolayısıyla BeVatron, antiprotonu protonuyla beraber üretecek kuvvette inşa edilmişti ve bunun böyle olacağına inanılıyordu. Ancak bütün varsayımların deneyle kanıtlanması gerekiyordu ve bu çetrefilli bir işti; çünkü antiprotonlar çok ender olacaktı, üstelik üretim sırasında elektron ve proton sağanaklarıyla pionlar gibi daha hafif parçacıkların içinde kalacaklardı.

En ikna edici teklifin hangisi olduğuna kadar verecek olan bilim insanları komisyonuna antiproton "iğne-

sini" parçacıklar samanlığından nasıl ayrıştırılacağına dair birkaç fikir sunuldu. Yarışmayı Owen Chamberlain, Emilio Segre, Clyde Wiegand ve Tom Ypsilantis'ten oluşan küçük bir ekip kazandı ve BeVatron'un kullanımında ilk sırayı aldılar. Fikirleri işe yaradı, deney çok başarılı oldu ve 1955'te antiprotonun bulunduğunu ilan ettiler. Yarışmaya katılmış olan Oreste Piccione liderliğindeki bir diğer ekip de 1957'de antinötronu saptayarak başarıya ulaştı. Böylece Dirac'ın o çığır açıcı öngörüde bulunmasından otuz yıl sonra antidünyanın temel parçacıklarının hepsi yerli yerindeydi: pozitron, antiproton ve antinötron.

Antimadde hikâyesinin başlangıcının sonuydu bu, ama yıllarca sürecek ve sonunda davalara dönüşecek anlaşmazlıklar daha yeni başlıyordu. 1959'un Nobel Fizik Ödülü, antiprotonun keşfindeki rollerinden dolayı, deneyi yürüten ekibin başındaki Chamberlain'le Segre tarafından paylaşıldı. Kavganın büyüğü, antinötronu bulan ekipteki Oreste Piccione etrafında koptu. Mesele, Piccione'nin, herkes tarafından pastanın üstündeki süsleme gibi görülen antinötronun da bir ödülü hak ettiğini düşünmesinden çok, antiproton ödülünden kendisine de bir pay düşmesi gerektiğine inanmasıydı. Piccione o deneyi yapan dörtlünün içinde olmadığına göre neden bir payı olmalı diye merak edebilirsiniz.

BeVatron Komisyonu yeni makineyi ilk kimin kullanacağına dair görüşmeleri yaparken Piccione uçar kaçar antiprotonun nasıl yakalanacağına dair bazı akıllıca yöntemler düşünmüş ve sunduğu teklifte bunlara yer vermişti. Ancak her şey göz önüne alındığında Chamberlain ve Segre'nin bulunduğu ekibin teklifi daha iyi göründü ve böylece makineyi önce onlar, ikinci olarak da Piccione kullandı. Hikâye bununla kalsaydı bir şanssızlık örneğinden ibaret olacaktı. Fakat, en azından Piccione'ye göre, onun fikirleri rakip ekibin deneyinde kullanılmış ve turnayı gözünden vurmalarında bu fikirlerin çok faydası olmuştu. Bu Piccione'nin o kadar içine oturdu ki 1972'de, on üç yıl önce verilen Nobel Ödülü'ne haksız olarak ortak

edilmemesinden dolayı tazminat talebiyle dava açtı. On üç yine uğursuzluğunu gösterdi: Mahkemeye yapılan başvuru ile söz konusu olay arasında çok fazla zaman geçtiğine hükmedildi ve dava zaman aşımından dolayı usulen düşürüldü.

Davanın sonucu buydu; Piccione geç kalmasaydı davayı kazanır mıydı, onu hiç bilemeyeceğiz. Bilim insanları camiasında görüşler birbirinden farklıydı. Bazılarına göre Piccione ödülden pay almayı hak etmişti; diğer uçta bazı kişiler bunu hiçbirinin hak etmediğini söylüyordu, veya belki de deneyler için zamanı ayıran komitedekiler ya da bu makineyi antiprotonu düşünerek tasarlamış olanlar almalıydı ödülü; zira bunun benzersiz önemini takdir eden "kavrayış"ın sahibi onlardı. Antiparçacıklar, en azından bilim insanları camiası içinde özel bir ilgi toplamıyordu artık. Ancak bu durum, maddenin ve tabii antimaddenin daha derin bir katmanının, "kuark"ların ve "antikuark"ların keşfedilmesiyle değişecek, bu da sonunda maddenin Büyük Patlama'yla nasıl ortaya çıktığına dair bir açıklamaya varacaktı.

KUARKLAR, VE TABİİ ANTİKUARKLAR

Dirac antimadde fikrini ortaya attığında sadece elektronla protonu biliyordu. Dikkat çekici olarak, Dirac'ın pozitronunun tespit edildiği yılda nötronun bulunmasından sonra bile parçacık menüsü hâlâ nispeten sadeydi. Gelgelelim otuz yıl içinde kozmik ışınlarda ve yeni yapılan parçacık hızlandırıcılarında o kadar çok parçacık keşfedildi ki, Dirac bu öngörüsünde o zaman bulunsaydı pek bir heyecan yaratmazdı muhtemelen: bir parçacık daha mı varmış, ee-e?

Berkeley'de antiprotonu üretmek için tasarlanan hızlandırıcı, parçacıkların giderek zenginleşen menüsüne de katkıda bulundu. Yeni parçacıkların hepsi kararsızdı, kiminin ömrü bir ışık hüzmesinin atom çekirdeğinden geçip

gitmesi kadar bile sürmüyordu. Parçacığın oluştuğu anda ölmesini söylemek demek bu, zira Einstein'ın görelilik kuramı bilginin ışık hızından daha hızlı yol alamayacağını söyler ve bütün parçacığın oluşup dağılması ancak o kısacık an kadar sürebilecektir. Daha uzun yaşayan başka parçacıklar da keşfedildi, uzun derken yine de saniyenin milyarda birinden kısa süreyi kastediyoruz, yani ışığın elinizin bir tarafından diğerine geçmesi için gereken süre kadar. Bu kadar gelip geçici bir şeyden insanın nasıl haberi olabilir diye merak ediyorsunuz belki de. Sorunun cevabı modern elektroniktir, bir de, bu parçacıkların ışık hızına yakın hızlarda yol alırken kısacık ömürlerinde büyük mesafeler kat edebilmeleri.

Elektrik yükü olan her türlü parçacık havadaki atomlara çarptığında elektronları onlardan dışarı atar (yani onları iyonlaştırır). Eğer hava nemliyse, parçacık geçerken buhardan bir iz bırakır. Sis odası yirminci yüzyılın ilk yarısında, pozitronun keşfi de dahil olmak üzere, atom parçacıklarına dair anlaşılanlarda bir devrim yarattı; yüzyılın ikinci yarısında daha yetenekli araçların icat edilmesiyle de müzelik oldu.

1952'de Michigan Üniversitesi'nde Donald Glaser bir bardak biranın içinde baloncukların nasıl oluştuğu üstüne düşüncelere dalmıştı. Bunu düşünürken bulduğu ilhamla kabarcık odasını icat etti ve bu icadı kısa süre içinde atomaltı parçacıklarının dansını izlemenin olağanüstü bir yolu haline geldi. Sis odasında parçacıklar gazın içinde sıvı kabarcıkları oluşturuyorken, kabarcık odasında sıvının içinde gaz kabarcıkları oluşturuyorlardı. Manyetik alarılarda spiraller çizen, bir parçacık bozunurken birbirinden ayrılan, ebeveynin genlerini yavrularına aktarması gibi yeni kuşaklar üreten kabarcık izi görüntüleri bir yandan nefis sanat eserleri oluştururken diğer yandan bunları deşifre etmeyi bilenlere derin hakikatler açıklıyor.

Koskoca yeni parçacık ailelerinin ortaya çıkması işte bu kabarcık odası devrimiyle oldu. Düzenin oluşması neredeyse on yıl aldı.

Proton ve nötronun yanına kısa süre içinde yeni parçacıklar katıldı, yeniler sanki onların daha ağır versiyonları gibi görünüyordu ama kendilerine "acayip parçacıklar" adının yakıştırılmasına neden olan özellikleri vardı. Bazıları diğerlerinden daha acayipti. Sonra bir de, "acayip" denen o özelliği taşımayan ama yine de gayet acayip ve kışkırtıcı olanlar vardı. İsimleri Yunan alfabesinin Lambda'sını (Λ), Omega'sını (Ω), Sigma'sını (Σ), Ksi'sini (Ξ) ve Delta'sını (Δ) alıp, bunlar yetmemeye başlayınca küçük harf fi'ye (φ), ita'ya (η), omega'ya (ω) ve ro'ya (ρ) geçildi, sonunda Latin alfabesinin *A, B*'sine taştı adlandırma. Rutherford'un, bilimin aslında fizik, diğer her şeyinse pul biriktirmekten ibaret olduğu şeklindeki sözü büyük bir ironiye dönüşüyordu.

Yeni yeni parçacıklar çıkıp durdukça, bazıları arasında ortak özellikler seçilmeye başladı, bu da söz konusu parçacıkların hepsinin birbirinden bağımsız olmayıp çeşitli ailelere ait olduklarının ipucuydu. Durum, bir önceki yüzyılda atomik elementlerde yaşananları hatırlatıyordu. Mendeleev elementler arasında bir düzen olduğunu fark etmiş ve kurduğu Periyodik Cetvelde bunu kodlamıştı. Bu periyodikliğin açıklaması daha sonra bulundu: atomlar, hepsinde ortak olan az sayıda bileşenden oluşuyordu, proton ve nötronlardan oluşan çekirdeğin çevresinde dönen elektronlar vardı. Atomların gerçekten de böyle olduğuna, daha küçük parçalardan oluştuklarına dair ilk kanıt elektronları atomdan dışarı çıkaran J. J. Thomson'dan, ardından da atom çekirdeğinin varlığını keşfeden Ernest Rutherford'dan geldi. Protonlar ve kısa ömürlü bir dünya parçacığın durumu, atom vakasına epey benziyordu ama ayrıntılarında farklılardı.

Rutherford atomun içinde sert bir merkez olduğunu, alfa parçacıklarının atomlara çarptıkları zamanların bazılarında sanki içeride sıkı bir şeye denk gelmişler gibi şiddetle geri tepmelerinden anlamıştı. Çarptıkları şey atom çekirdeğiydi. Benzer bir durum yıllar sonra daha geniş ölçekte yeniden yaşandı: protonun, nötronun ve bunların

pek çok akrabasının maddenin en basit çekirdekleri olmadıkları, onları da oluşturan, kuark denilen daha küçük parçacıklar olduğu anlaşıldığı zaman.

Rutherford ve asistanları atom çekirdeğini Manchester Üniversitesi'nin bir odasında, masanın üstünde yaptıkları deneyde bulabilmişti, oysa atomun proton ve nötronlarını ele geçirmek için 3 kilometre uzunluğunda bir hızlandırıcı lazım oldu. San Francisco'nun güneyindeki Stanford'da elektron demetleri hızlandırıcıdan çıkıp hedefteki hidrojeni vurdular ve her atomun merkezinde bulunan protonların dibine daldılar. Elektronlar zaman zaman sert bir şekilde sekiyordu, protonların elektrik yüklü minyatür bir top olması bu kadar şiddetli sektirmezdi onları. Atom çekirdeği için ne olduysa, protonda da aynısı oluyordu: Protonun elektrik yükü onun hacminin her tarafına düzgün bir şekilde yayılmış değildir, bunun yerine çekirdeğin içindeki çok daha küçük üç parçacıkta konsantre olmuştur ki bu parçalar da kuarklardır. Hatta proton dediğimiz de bu kuarkların uçuşmasından başka bir şey değildir aslında; boyu bir metrenin milyarda birinin milyonda birini aşmayan ufacık bir hapishaneye kapatılmış, volta atar durur kuarklar. Tepe şeklindeki karınca yuvalarının uzaktan düzgün şekilli kahverengi bir tepe gibi görünürken yakına gelindiğinde kımıl kımıl kaynayan bir canlılar kitlesi olduğunun anlaşılması gibi, proton da uzaktan sıkı bir yük topağı gibi görünürken yakından bakınca bir kuarklar karmaşası olduğu belli olur.

Kuarklar birbirine üçer üçer, sıkı sıkı yapışır ve protonları, nötronları, parçacıkların oluşturduğu alfabe çorbasının diğer pek çok üyesini meydana getirir. Atom çekirdeğindeki iki parçacık çeşidinin, proton ve nötronun kendileri de iki kuark çeşidinden yapılmıştır; bunlara da "yukarı" ve "aşağı" denir. Bu madde tohumlarının bir protonun yükünün kesirleri kadar miktarlarda elektrik yükleri vardır. Protonun bir birimlik pozitif yükü varken yukarı kuarkın yükü 2/3 pozitif, aşağı kuarkınki de 1/3 negatiftir. Böylece iki yukarı kuarkla bir aşağı kuark bir

proton eder (2/3 + 2/3 – 1/3 = 1); iki aşağı kuarkla bir yukarı kuark ise sıfır yük eder (2/3 – 1/3 – 1/3 = 0), bu da nötrondur.

Üç tane yukarı kuarktan veya üç tane aşağı kuarktan oluşan parçacıklar da vardır, bunlar da Delta denen kısa ömürlü parçacıklardır. Bu ikisine, adı "acayip" olan üçüncü bir kuark tipi ekleyin. Bunun elektrik yükü aşağı kuarkla aynıdır (-1/3) ve yüzde 20 daha ağır olması dışında onunla her bakımdan denktir. Bu parçacıkla beraber acayip parçacıkları açıklamak için her şey vardır artık elinizde. Bir üçlüde ne kadar çok acayip kuark varsa, oluşan parçacık da o kadar acayip olur. Proton ve nötronda hiç acayip kuark yoktur; Lambda (Λ) ve Sigma (Σ) denen biraz daha ağır ve azıcık acayip parçacıklarda bir tane, Ksi (Ξ) denen çifte acayip parçacıklarda iki tane acayip kuark vardır, hepsinin en acayibi olan Omega (Ω) ise üç acayip kuarktan oluşur.

Dirac denklemi elektronlar ve protonlar için nasıl işliyorsa kuarklar için de aynı şekilde geçerlidir ve antimadde benzerlerini aynı şekilde öngörür. Pozitronun elektronun antiparçacık aynası olması gibi, antikuark da kuarkın aynasıdır; kuarkla aynı kütlede, aynı boyuttadır ve aynı elektrik yükü miktarına sahiptir, sadece elektrik yükü kuarkınkinin tersidir. Dolayısıyla anti-yukarının (buna yukarı antikuark mı demek istersiniz, anti-yukarı kuark mı, yoksa antiyukarı antikuark mı, siz bilirsiniz, bu konuda uzlaşılan bir kullanım âdeti yok) elektrik yükü +2/3 değil –2/3; anti-aşağınınki de –1/3 yerine +1/3'tür. Nasıl ki iki yukarı ve bir aşağı, pozitif protonu meydana getiriyorsa, iki tane anti-yukarıyla bir anti-aşağı da negatif antiprotonu meydana getiriyor. Bunun gibi, iki anti-aşağı ve bir anti-yukarı da toplanıp antinötronu yapıyorlar. Yunanca adları olan Lambda, Sigma, Ksi, Omega gibi acayip parçacıkların hepsinin de bir "anti" eşi var; her kuarkın yerine onun dengi olan antikuarkı koyduğunuzda anti-Lambda'yı, anti-Ksi'yi ve benzerlerini elde etmiş oluyorsunuz. Bunların hepsi deneylerde üretildi, hızlandırıcıdan

çıkan bir proton demetinin laboratuvardaki bir hedefe çarpmasında oluşan enerji fazlası yeni parçacıklar ve antiparçacıklar üretti. Ulaşabildiğimiz en hassas sonuçlara göre bunların her biri parçacık eşinin mükemmel ayna tersidir, *yin*'in *yang*'ıdır.

KUARKLA ANTİKUARK KARŞILAŞTIĞINDA

Kuarkları ve antikuarkları üçer üçer bir arada tutan güçlü kuvvet tek bir kuarkı antikuarka da çekebilir. Kozmik ışınlarda ve hızlandırıcılarda bulunan parçacıkların birçoğu, mesela pion ve "acayip" kaon, bir kuarkla bir antikuarktan oluşan miniminnacık demetlerdir. Böyle bir kombinasyon ne madde olur ne antimadde; içinde ikisinden de örnek vardır, bir madde kuarkıyla bir antimadde antikuarkı. Bir kuarkla bir antikuark, metrenin milyarda birinin binde biri boyutundaki minyatür bir evrene bir arada hapsedildiğinde birbirleriyle buluşacak ve neredeyse o anda yok olacaklardır. Bu yüzden pion ve kaon kısacık bir andan daha uzun yaşamazlar.

Proton antiprotonla buluştuğunda ne olduğunu deneyler göstermiştir. Bazen birbirlerinin içine dalarlar, bazen de birbirlerine hızla çarparlar ve ortaya çıkan ürünler farklı farklıdır. Ne kadar hızla çarpışırlarsa enerjileri de o kadar çok olur ve oluşan patlamayla üretilen pionlar ve gama ışınları da buna göre artar. Bilim insanları bu deneylerden o kadar çok şey öğrendiler ki birisi antimadde güç kaynağı veya bombası üretmeyi başaracak olsa veya uzaydan gelen bir anti-kaya parçası atmosfere dalacak olsa, olası sonuçları öngörecek kadar bilgiye sahibiz.

Bu deneylerin bize gösterdiği, imhanın bir anda gerçekleşmediği. Bunun yerine, protonla antiproton nihai ve vahim eşleşmeye girmeden önce birbirleriyle kısa bir kur dansı ediyorlar. Antimaddeye yaklaşan bir madde kütlesinin içinde bulunan protonları canlandırın zihninizde. Protonun pozitif yükü atomik boyutlarda uzaya yayılan

bir elektrik alanı yaratıyor. Böyle, metrenin on milyarda biri kadar mesafeler bize küçük gelebilir ama hem protondan hem de antiprotondan on bin kat büyük boyutlardır bunlar. Eğer antiproton, protona nispeten yavaş yaklaşırsa, zıt yükler arasındaki çekime kapılacak ve sıradan bir atomda elektronun yaptığına epey benzer şekilde protonun etrafından dönmeye başlayacaktır. Başlangıçta uzakta olur bu yörünge, ama antiproton enerji kaybedecek ve dış yörüngelerden iç yörüngelere düşecek, bu arada da gama ışınları yayacaktır. İşte, tespit edilen ve enerjisi ölçülebilen bu gama ışınları, çarpışma yerindeki patinaj izleri gibi olayların sırasını ortaya koyar.

Antiproton içeri doğru kıvrılan bir yola düşer ve güçlü kuvvetin etki alanına girer ki protonlar ve antiprotonlar için karşı konmaz bir kuvvettir bu. Dans saniyenin yüzde biri kadar bile sürebilir ama güçlü kuvvetin ağına bir kez düştüler mi ölüm neredeyse anında gerçekleşir. Felaketin haberi protonu ve antiprotonu ışık hızıyla kat eder ve saniyenin milyarda birinin milyarda birinden kısa sürede ortadan kaybolmuşlardır bile; geride gama ışınlarıyla pionlar kalır. Sonra bunlar da gider; bir kuarkla bir antikuarktan oluşan kısa ömürlü bir yapı olan pion kendi kendini imha eder ve biraz daha gama ışınına dönüşür, ya da elektronlara, pozitronlara, hayalet gibi nötrinolara, ve bunların hepsi de imhanın ortaya çıkardığı enerjiyi taşıyıp götüren şeylerdir.

Yok oluşun maddeden enerji açığa çıkarmak için sunduğu benzersiz fırsat, karmaşık bir nimettir. Maddi dünyamızda antimadde tamamen kendi kendini imha eden bir şey. Antimaddeyi kullanılabilmemiz için onu bir bünyeye almamız, orada her türlü madde parçasından uzak tutmamız ve kullanıma hazır olana kadar saklayabilmemiz gerekir. Bu meselenin nasıl çözüldüğü, hikâyemizin bir sonraki kısmıdır.

6
ANTİMADDEYİ DEPOLAMAK

HER ŞEYİ İMHA EDEN ŞEY

Babamın sorduğu, her şeyi yok eden bir şeyin nasıl depolanacağı sorusunun cevabını Bruno Touschek buldu. Antimadde her türlü maddi cismi yok edeceğinden, maddeden duvarları olmayan bir kafeste tutulması gerekir. Çözüm, antiparçacıkları, pozitron ya da antiprotonları dönüp duran demetler halinde hapseden manyetik ve elektrik alanlarla, uzaydakinden daha vakumlu bir vakum alanı yaratmaktır.

Çevresi 27 kilometre olan bir mıknatıs halkasının, boşaltılmış bir tüp içinden geçen pozitronlara haftalar boyunca yol olduğu CERN gibi fizik laboratuvarlarında yapılan da bu oldu. Işık hızından saatte 55 metre daha yavaş seyreden pozitronlar, mıknatıslara güç veren elektrik onları vakumlu tüpün duvarlarından uzak tuttuğu müddetçe veya gidip tüpün içindeki başıboş gaz atomlarıyla çarpışana kadar hayatta kalacaktır.

Bunları daha sonra öğreneceğiz. Şu anda bizi ilgilendiren soru, antimadde gerçek hayatta nasıl depolanır, nasıl nakledilir ve nasıl kullanılır? Nakliyesi bir yana, mıknatıslardan 27 kilometrelik halkalar inşa etmek de pratik değil elbette.

Buna ihtiyaç da yok üstelik. CERN'deki devasa halka bilimsel başarının zirve noktalarından biridir, antimadde demetlerini hızın doğal sınırı olan saniyede üç yüz bin

kilometreye olabildiğince yakın hızda üretmek ve kontrol etmek için özel olarak tasarlanmıştır. Fiziğin bu alanındaki orijinal fikir ve teknoloji yıllar önce, 1960'ta ortaya çıkmıştı. İcadın sahibi Avusturyalı Bruno Touschek'ti, ancak o zamanlar bunun antimadde deposunun doğumu olduğunu ne kendisi biliyordu ne de bir başkası.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Touschek Hamburg'da radar üzerine çalışıyordu. İş arkadaşlarından biri olan Norveçli Rolf Wideroe yirmi sene önce görece düşük ivmelendirme voltajlarından gelecek bir dizi itmeyle parçacıklara ivme kazandırma (onları hızlandırma) fikrini üretmişti. Wideroe'nin prototipinde elektrik alanlar parçacıkları düz çizgiler üzerinde hızlandırıyordu. Ardından, ABD'li Ernest Lawrence manyetik alanları kullanarak parçacığın izlediği yolu daireye çevirdi, böylece aynı ivmelendirme aralığından defalarca geçiyorlardı. Lawrence'ın "siklotron"u hem modern yüksek enerji fiziğinin doğumunu sağladı, hem de Lawrence'a Nobel Ödülü kazandırdı. Wideroe'nun temel fikri bugünkü hızlandırıcılarda bile kullanılmaya devam ediyor. Ancak çığırı açan, bir sonraki fikri oldu.

Wideroe 1943'te aynı yörünge üzerinde ters yönlerde seyreden parçacıkları depolamak, ardından da çarpıştırmak üzerine bir planın patentini almak için başvurdu. Başvurusu, yaptığı şeyin "bariz" olduğu gerekçesiyle reddedildiyse de başkalarının bu fikri uygulamaya koyması on beş yıl alacaktı. İki parçacığı birbirine doğru atarsanız birbirlerini ıskalama ihtimalleri çarpışma ihtimallerinden çok daha yüksektir. Ama eğer bir sürü parçacığı biriktirir, kullanana kadar depolar ve iki tane yoğun demeti birbirlerine doğru ateşlerseniz, birbirine karşı gelen iki demetten parçacıkların aynı anda aynı yerde bulunma ihtimali epey kuvvetlenir.

Bu "bariz" fikir ilk olarak 1959'da uygulandı. ABD'li bir ekip iki tane "depolama halkası" yaparak, elektronları bunların çevresinde idare etmek için mıknatısları kullandı. Halkalardan birinde manyetik alan elektronları saat yönüne yönlendirirken, diğerinde manyetik alanlar

tersine çevrilerek elektronlar saat yönünün aksine doğru gönderiliyordu.

İşte bu noktada Touschek, savaş zamanında Wideroe ile yaptıkları konuşmaları hatırladı ve birdenbire kendi büyük fikrini üretti: Pozitronlar elektronla aynı kütleye ama ters elektrik yüküne sahip, yani elektronları sağa doğru gönderecek bir manyetik alan pozitronları sola gönderir. Elektronları ayrı yönlere gönderecek iki ayrı mıknatıs seti yerine, elektronları bir tarafa, pozitronları da öteki tarafa gönderecek tek bir mıknatıs seti kullansak ya! Enerjileri aynı olduğu sürece bu iki demet tıpatıp aynı yolda birbirinin tersine doğru gidecektir.

Touschek ve Roma yakınlarındaki Frascati Laboratuvarı'ndan bir grup meslektaşı ADA'yı yani *Anello d'Accumulazione*'yi (biriktirme halkaları) tasarlayıp inşa etti. Hepsi hepsi bir metre çapındaydı ADA. Hem elektronları hem pozitronları depolamayı başardılar, antiparçacıklar ilk defa evcilleştiriliyordu. Ardından, bir bavula sığabilecek boyuttaki bu makine Paris yakınlarındaki Orsay'a taşındı, zira orada daha yoğun bir elektron demeti vardı.

1963'te yoğun pozitron demetlerinin başarıyla depolanması ve elektron demetleriyle kafa kafaya çarpıştırılması işte burada gerçekleşti. Zaman zaman demetlerin içindeki tekil elektronlar ve pozitronlar birbirine çarpıyor ve böylece ikili bir anda birbirini yok ediyordu. Seçim sizindi yani: isterseniz antiparçacıkları depolayabileceğiniz, isterseniz de onları çarpıştırıp ortadan kaldırabileceğiniz bir yol vardı elinizde.

Bundan sonraki otuz yıl içinde fizikçiler elektronlar ve protonlar için giderek daha büyük depolama halkaları yaptılar, bunlardaki demetlerin enerjileri de gittikçe daha fazla oluyordu. Parçacıkları birbirine vurup onları yok ettikçe, bunun maddenin kökeni ve doğası hakkında bir şeyler öğrenmek için şahane bir yol olduğunu gördüler ve bu şekilde açılan çığırlar Nobel Ödülleri getirdi. Bu makinelerin şimdiye dek yapılan en büyüğü CERN'deki LEP'ti (*Large Electron Positron Collider* / Büyük Elektron-Pozit-

ron Çarpıştırıcısı), bu bölümün başında bahsettiğimiz cihaz. Ancak bütün çalışmalar böyle devasa makineler yapmaya yönelik değil. Son yıllarda Stanford'da, Japonya'da hatta her şeyin başladığı Frascati'de, elektronlarla protonların özel seçilmiş şartlarda çarpışması için daha küçük örnekler yapıldı; bu çarpışmalarla madde ile antimadde arasındaki olası farkların ortaya çıkması umut ediliyor. 8. Bölüm'de bu konuyu biraz daha işleyeceğiz.

Bu gibi makinelerin çalışıyor olması bile başlıbaşına, madde ile antimadde arasındaki olağanüstü simetriyi gösteriyor. Elektron ve pozitron demetleri LEP'te defalarca tur attılar ve randevularına hep zamanında yetiştiler; bu da onların, kendilerini yönlendiren manyetik kuvvetlere tıpatıp aynı tepkiyi verdiklerinin kanıtı. Elektrik yüklerinin bire bir denk karşıtlıkta, kütlelerinin birbirinin aynısı olmasından dolayı önceden belirlenen yolları ters yönde izlemelerinin sonucu bu. Benzer şekilde protonla antiprotonun manyetik alandaki daireyi tamamlama sürelerini de karşılaştırabiliyoruz; buradan biliyoruz ki proton ve antiproton milyarda birden az farkla birbirine benziyor.

ANTİPROTONLARI DEPOLAMAK

Touschek pozitronları yola getirmişti; Rusya'da Gersh Budker aynını protonlar ve sonra da antiprotonlar için yapmayı denemeye karar verdi. Protonlar ve antiprotonların kütlesi, elektronlarla pozitronlarınkinden neredeyse iki bin kat daha fazla, onları yapmak için gereken enerji de aynı ölçüde daha büyük.

Ancak mesele antiproton yapmak değil, yeter ki elinizde o kadar enerji olsun. 79. sayfada bunun 1955'te yapılmış olduğunu da görmüştük. Fakat antiprotonları bir kez yaptıktan sonra kontrol etmek çok zor bir iş. Önce bir proton demetini bir metal bloka doğru ateşliyorsunuz. Yaklaşık olarak iki yüz elli bin çarpışmadan birinde kinetik enerji yeni bir proton-antiproton çifti olarak kütleye

dönüşüyor. Bu antiprotonlar ışık hızına yakın hızlarda seyrediyor ve her yere uçuşuyorlar. Pozitronları sabit yörüngelere odaklayabilen manyetik alanlar, vahşi antiprotonları kontrol edemiyordu, antiprotonlar çizdikleri yayın yanına doğru kaçıp, halkanın duvarlarına bindirecek ve yok olacaklardı.

Onları ıslah edecek bir yöntem lazımdı; mecazen yola getirilmeleri veya jargona göre konuşacak olursak "serinletilmeleri" gerekiyordu. Budker'ın fikri, antiprotonları soğuk elektronlardan oluşan bulutların içinden geçirmekti. Elektronlar madde ve antiprotonlar antimadde olduğu halde birbirleri için tehlike teşkil etmiyorlar: Elektron kendi antiparçacığı olan pozitron tarafından imha ediliyor, antiproton içinse tehlike sadece protonlar ve nötronlardan geliyor. Antiprotonların düzensiz bocalamaları kademe kademe düzeliyordu; zira enerjileri, yani "sıcaklıkları" elektronlara transfer oluyordu. 1974'te Budker antiprotonları yapmayı ve soğutmayı başardı; fakat yoğun bir demet elde etmeye yetecek kadar çok sayıda antiproton için yapamıyordu bunu.

1979'da Nobel ödül komitesi, fizik ödülünü elektromanyetik kuvvetle zayıf kuvveti tek bir "elektrozayıf" kuvvette bir araya getiren kuramları için, kuramın en önemli öngörüsü olan *W* ve *Z* parçacıklarının varlığının henüz kanıtlanmamış olmasına rağmen Sheldon Glashow, Abdus Salam ve Steven Weinberg'e verdi. CERN'de Carlo Rubbia'nın deneysel dehası ve enerjisiyle yapılan plan bu parçacıkları üretmekti ve bu yepyeni bir teknik geliştirmeyi gerektiriyordu: protonlar ve antiprotonlar arasında yüksek enerjili imhalar. Kuramcılar, bu şartlar altında sadece elektromanyetik radyasyon, yani ışık değil, radyoaktivitenin zayıf kuvvetlerini taşıyan ajanlar olan, *W* ve *Z* denen kuantumlardan da üretmenin mümkün olacağını hesaplamışlardı.

Rubbia bu işi CERN'in SPS denen "Süper Proton Sekrotronu"nda proton ve antiproton demetlerini ters yönde döndürerek yapmayı planladı. Başlangıç olarak

CERN'in daha eski ve daha mütevazı olan, o kadar "süper" olmayan PS makinesinde proton demetleri döndürüldü. Bir sonraki adım protonları buradan almak, daha yüksek enerjili demetler oluşturmak üzere onları hızlandırmak, sonra da SPS'ye enjekte etmekti. İşin kolay kısmıydı bu. Asıl zorluk antiprotonları dize getirmek ve SPS'ye sokmayı başarmaktı.

Bu bilmece Hollandalı mühendis Simon van der Meer tarafından çözüldü, bu da onun 1984'teki Nobel Ödülü'nden pay almasını sağladı. Kavradığı şey, parçacıkların bir eğimi alırken, yarım daireyi geçmelerinin, dairenin çapını ışık hızıyla kat eden bir sinyal göndermelerinden daha uzun sürdüğüydü.

CERN bu fikri "Antiproton Akümülatörü", yani AA denen küçük bir makinede uygulamaya koydu. İsminden de belli olduğu gibi bu makine antiprotonları alıp soğutarak terbiyeli bir demet haline getiriyor, kullanıma yetecek kadar çoğalana dek onları biriktirip depoluyordu. Van der Meer'in fikirleri işte bu noktada meyvalarını verdi. Halkanın birbirine karşı taraflarında bulunan elektronik detektörler demetteki antiprotonlar giderken nereden geçtiklerini takip ediyordu. Bu sinyal, demetlerin ne kadar saptığını ve onları daha iyi hizalamak için ne büyüklükte bir vuruş gerektiğini hesaplayan bir bilgisayara gidiyor, sonra da bilgisayar halkanın uzak ucundaki elektrotlara ışık hızında sinyal gönderiyordu. Buradaki akıllıca kavrayış, bir sinyalin çap üzerinden giderek kestirme yapmasının, antiprotonların yarım daireyi dolaşmasından yaklaşık yüzde 50 daha kısa sürmesiydi; böylece halka yeterince büyük olursa, elektroniğin ne yapılması gerektiğini hesap edip gereken emirleri göndermesine ve antiprotonlar dönemeci dönmeden alıcıların bu emirleri yerine getirmesine yetecek kadar zaman olurdu. Saniyenin milyarda birinde, yani bir "nanosaniye"de ışık metrenin üçte birini (bir fit) kat eder.[1] İsviçre saatlerinin hassas zamanlaması demekti

[1] Bunu aklınızda tutmak kolaydır zira bir fit (fit=0,3048 m) yaklaşık ola-

bu, hem mecazi hem de gerçek anlamda. Her iki saniyede bir, protonlar PS'den ateşleniyor, hedefe çarpıyor ve antiproton üretiyordu. Bu ateşlenenler teker teker Antiproton Akümülatörü'ne giriyor, bir sonraki ateşlemeye kadar iki saniye boyunca burada soğutuluyorlardı.

AA, açılıp kapatılabilen kepenklerle birbirine bağlanmış, bir aradaki iki halka gibiydi. Kepenklerin içindeki halkada soğutulmuş antiproton kümeleri dönecek, dışında ise soğutma işlemi henüz devam eden, yeni gelmiş en son antiprotonlar olacaktı. Bir sonraki ateşlemeden hemen önce, kepenkler açılacak ve dış halkadaki, artık daha soğuk olan antiprotonlar içteki halkaya geçecekti. Ardından kepenkler kapanacak, bir sonraki ateşlemenin antiprotonları içeri girecek ve işlem defalarca tekrar edilecekti.

Antiprotonlar içteki gruba katıldı mı, van der Meer'in elektronik mesajı halkanın karşı tarafına geçerek onları biraz daha soğutacaktı. Yüz milyar tane antiprotonu biriktirmek ve soğutmak bir günden azıcık daha uzun sürdü. Van der Meer'in bu numarası deneylerde kullanılabilecek yüksek enerjili, yoğun antiproton demetleri elde edilmesini sağladı.

Daha fazla kütlesi olan antiprotonların terbiye edilmesi pozitronlarınkinden çok daha zordu ama bir kere kontrol altına alındılar mı onlardan çok daha büyük bir etkiye sahip oluyorlardı. Fizikçileri heyecanlandıran da buydu. Antiprotonlarla protonların imhası sayesinde Büyük Patlama'nın ilk anlarında oluşmuş olan şartları yeniden üretebilirlerdi. Teknoloji tarafında ise, soğutmanın gövde gösterisi, özel pistlerin çeşitliliği ve sofistike elektronik işleri cezbediciydi ve antimaddenin gerçekten de dize gelebileceğini gözler önüne seriyordu. Evet, antiprotonları yapmak ve terbiye etmek mümkün, ama zaman alıyor, çok sabır istiyor ve maliyeti milyonlarca doları buluyor.

---

rak bir yetişkinin ayağı kadardır, böylece bir mesafeye ayağınızın kaç kere sığacağını kestirebilirseniz ışığın bu mesafeyi kaç nanosaniyede kat edeceğini anlamış olursunuz.

PENNING KAPANI

Güneş'in merkezinden bile daha yüksek sıcaklıklara denk, yüksek enerjili antiparçacıkların depolanması büyük hızlandırıcılar gerektiriyor. Peki onları soğukta, yani oda sıcaklığında ve bunun altındaki sıcaklıklarda tutmak mümkün mü? 1984'te Hans Dehmelt tek bir elektronu üç ay boyunca, başparmağımız boylarında boşaltılmış bir silindirin içinde depolamayı başardı. Bunu elektrik ve manyetik alanların dâhiyane bir kombinasyonunu kullanarak yaptı ve icada, mütevazılıkla, onu zekice geliştirmekte temel aldığı orijinal fikrin sahibi Hollandalı fizikçi Frans Penning'in adıyla Penning kapanı ismini koydu.

Penning kapanı fikri 1930'lara, elektroniğin vardığı son noktanın, gücünü valflerden alan radyolar ve katot ışını tüpleriyle çalışan televizyonlar olduğu döneme dayanır. Elektrik sanki bir sıvıymış gibi teller üzerinden gider. Telin bir ucunu güçlü bir pilin negatif terminaline (anot) diğerini de içi gazla dolu bir cam tüpün içinde duran metal plakaya (katot) bağlarsınız. Böylece elektrik gazın içinden geçer. Bu esnada garip ışıklanmalar olur, ilk kez on dokuzuncu yüzyılın sonlarında görülen bu ışıklar Viktorya dönemi toplumunu büyülemişti. Burada ne olduğunu anlamaya çalışan J. J. Thomson böylece elektronu, yani elektrik akımını taşıyan ajanı buldu. Elektrik ve manyetik alanları kullanarak ışını yönlendirerek yaptı bunu, ışınların verdiği tepkilere bakarak bunların atomlardan daha küçük bir şeyden, hafif elektronlardan oluştuğunu anladı.

Eğer manyetik alan yeterince güçlüyse elektronları küçük daireler oluşturacak şekilde yönlendirebilir ve tüpün diğer ucuna gidemeyecekleri şekilde bu yörüngelere kapatabilir onları. Mükemmel vakum ortamında olan budur en azından; içeride gaz kalıntısı mevcutsa elektronlar bunun atomlarına çarpacak, yörüngelerinden çıkacak ve akım devam edecektir.

Penning'in aklına gelen parlak fikir, bu etkiyi vakumu ölçen bir cihaz yapmakta kullanmaktı. Akımın devam

etmesi veya kesilmesi voltaja, manyetik alanın gücüne ve tüpteki gaz miktarına bağlıdır. Dehmelt'ın yaptığı, voltajı akımın *hiç* olmayacağı şekilde değiştirmek oldu; elektronlar akım oluşturmak yerine manyetik alanda durmadan dolaşıyorlardı. Yaptığı anot dar bir silindir şeklindeydi, kapağı ve tabanı kenarlarda belli bir açıyla ayrılmışlardı ki bunları da katot olarak kullandı Dehmelt. Meşrubat kutusu büyüklüğünde bir şey üretmişti böylece, ancak "Penning kapanı" metalden değil de elektrik ve manyetik alanlardan oluşuyordu. Dehmelt'ın ilk işi tek bir elektronu yakalayıp manyetizmasını ölçmek oldu. Dönen elektron minyatür bir radyo vericisi gibiydi; radyo alıcısı bunun yaydığı elektromanyetik radyasyona göre ayarlanabiliyordu. Radyo dalgalarının frekanslarını kesin olarak ölçmek suretiyle elektronun manyetizmasını on milyarda birlik hassasiyetle ölçebiliyordu. Bu o güne kadar yapılabilmiş bütün ölçümlerden daha hassastı ve o kadar kesin sonuç veriyordu ki Dehmelt elektronun manyetizmasının Dirac'ın denkleminin öngördüğünden daha fazla olduğunu fark edebildi.

Bu çok küçücük, binde birlik bir farktı, o yüzden kimse daha önce görmemişti onu, ama son derece önemli bir sonuçtu. Dirac denkleminin yanlış olduğunu göstermekle uzaktan yakından ilgisi yoktu, bilakis denklemin fiziksel dünyayı ne kadar iyi tanımladığını doğrulamış oluyordu. Zira, Dirac'ın sadece elektron için bir kuram üretmekle kalmadığını, aynı kuramın elektronun manyetik alanlara nasıl tepki verdiğini de tanımladığını ortaya koyuyordu. Richard Feynman ve başkaları elektromanyetik alanın kendisinin de gelip geçici elektronlara ve pozitronlara dönüşebileceğini göstermişlerdi; kuantum belirsizliğinin birçok garip özelliğinden biriydi bu da. Söz konusu "sanal" parçacıkların ve antiparçacıkların vakumlu alandaki etkisi, elektronun yakın çevresinde sadece boşluğun olmadığı, oraların aslında hareket kaynadığı anlamına geliyordu. Dehmelt'ın deneyi o kadar hassastı ki sadece elektronu değil, etrafındaki vakumun etkilerini de ölçü-

yordu. Burada bir elektronun tam olarak ne olduğu üstüne felsefe yapmamıza gerek yok; ne olduğu ona ne kadar dikkatle baktığınıza bağlıdır. Yeterince dikkatle bakarsanız vakumu nasıl bozduğunu, boş alanı, antiparçacıkların da dahil olduğu, faaliyetlerle dolu bir kovana çevirdiğini görürsünüz. Kuramcıların aklından geçeni doğrulamıştı Dehmelt: Maddelerin dünyasında yaşıyoruz ama vakum hem "sanal" madde hem de "sanal" antimaddeyle dolu, sanal derken maddeleşmeyen bir şeyi kastediyoruz (burada belki de "anti-maddeleşmek" demek gerek), ama bunun etkileri gelip geçen madde parçacıklarına yaptığı etkiden çıkarılabiliyor.

Bunlar 1973'te oldu. On sene sonra Dehmelt kapana bir pozitron kıstırdı. Onu orada üç ay tutarak, onun da manyetizmasını ölçmeyi başardı. Manyetik alanların yönünü değiştirmesi yeterliydi, böylece pozitif yüklü pozitron da daha önce negatif yüklü elektronun tabi olduğu aynı sınırlarda yaşacaktı. Ayrıca pozitronun manyetizmasını ölçtüğünde onun değerinin de aynı elektronunki gibi binde birlik farkla [teorinin öngördüğünden] daha yüksek olduğunu buldu. Bu kez de Dehmelt'ın yaptığı sadece pozitronu yakalamak değil, onun gerçekten de elektronun mükemmel bir elektrik ve manyetik ayna görüntüsü olduğunu göstermekti.[2]

KAPANDAKİ ANTİPROTONLAR

Büyük Patlama'nın fiziğini merak eden CERN ekibinin bu merakı gidermek için çok yüksek enerjili antiproton demetleri yapmaları gerekiyordu, bunun için de büyük cihazlar lazımdı. Küçük boyutlu saklama yerlerinde antiparçacıkları yakalamak ve depolamak için parçacıkların

[2] Dehmelt 1989'da Nobel Ödülü'nü kazandı; ödülün neden verildiğinin açıklamasında "tek bir elektronu [veya pozitronu] son derece hassas şekilde incelemeyi mümkün kılan iyon kapanını geliştirdiği için" diye yazıyordu.

olabildiğince sabit olması gerekir. Bu nedenle CERN'de bilim insanları ve mühendislerden oluşan ekipler tecrübelerini antiprotonların yavaşladığı bir depolama halkası yapmak için kullandılar. Bu Düşük Enerjili Antiproton Halkası'na (*Low Energy Antiproton Ring*) LEAR adı verildi. Dehmelt'ın iş arkadaşlarından Gerald Gabrielse antiprotonları LEAR'dan çekip Penning kapanına kıstırma meselesini üstlendi.

Pozitronlara nazaran antiprotonlarda görülen sorun, daha cüsseli olmaları, dolayısıyla bunları yaparken daha yüksek enerjiler gerekmesi ve bunun getirdiği istenmeyen sarsıntılar. CERN bu güç işin doğasını etkileyici bir şekilde özetledi: önce, antiprotonları üretmek için Güneş'in merkezindekinden çok daha yüksek sıcaklıklara ulaşmak, sonra onları Penning kapanında depolayabilmek için uzayın derinliklerindekinden daha soğuk sıcaklıklara düşürmek ve Ay'da bulabileceğinizden daha iyi bir vakum alanı gerekiyordu. O derecelere kadar soğutma yapmanın klasik yolu sıvı helyum kullanmaktır. Ancak helyum nötronlar ve protonlardan oluşur, onlar da antiprotonları değer değmez imha edeceklerdir. Gabrielse'in amacı antiprotonları depolamaktı, onları imha etmek değil! Bu yüzden Budker gibi o da soğutucu olarak soğuk elektron gazı kullandı.

Kapan 15 santimetre boyundaydı. Antiprotonlar içeri girdiğinde voltaj artırılıyor, bu da kapanın kapanan kapısı gibi elektrikten bir bariyer oluşturuyordu. Gabrielse antiprotonları ilk olarak 1986'da yakaladı ve üç sene içinde, altmış bin tanesini dört günlüğüne depolayabilecek duruma geldi. Ama amaç kesinlik elde etmek, yani birkaç tane antiprotonu uzun süre saklayabilmekti. 1991'de yüz tane antiproton birkaç ay depolandı, 1995'te kapana tek bir antiprotonu kıstırma amacına ulaşıldı. Önce, yaklaşık on bin antiproton ve soğutma gazından gelen bir sürü elektron hapsedildi. Ardından voltaj verildi adım adım, küçük bir pencere açmak gibi bir şeydi bu, elektronlar buradan kaçabiliyor ama irikıyım olan antiprotonlar içeride kalı-

yordu. Sonra voltaj bir kere daha ayarlanıp, antiprotonlardan bazılarının kaçmasına izin verildi, ta ki içeride sadece bir düzinesi kalana kadar. Kalan on iki antiprotonun her biri manyetik alanların etrafında dönüyordu ama farklı hızları vardı. Bu noktada bir lazer demeti, en hızlı dönen antiprotonları şutlayacak şekilde ayarlandı, sadece bir tane antiproton kalana kadar onları teker teker ayıkladı. İşte o zaman voltaj yükseltildi ve kapan tamamen kapatıldı. Bir tanecik antiproton, manyetik bir şişe içinde dans etmekteydi.

Nihayet izole edilmiş tek bir antiprotonu kapana kıstırmayı başaran Gabrielse ekibi artık onu istediği gibi çalışabilirdi. Antiprotonun elektrik ve manyetik alanlardaki davranışlarını protonunkiyle karşılaştırdılar. Bu deneyler protonla antiprotonun da birbirinin mükemmel ayna akisleri olduğunu, elektrik yüklerinin birbirine ters, kütle birimi başına düşen elektrik yük miktarının ise trilyonda 90'dan daha yüksek bir hassasiyetle birbirinin aynı olduğunu gösteriyor.

Kapana kıstırılan antiprotonlarla yapılan bir başka araştırma serisi ise anti-kütleçekimi diye bir şeyin olup olmadığıyla ilgili. Maddenin yere kütleçekiminden dolayı düştüğünü biliyoruz, maddeyle antimadde arasındaki simetri ise antimaddenin de bir anti-yere doğru düşmesi gerektiğini ima ediyor. Peki ama Dünya'nın kütleçekimi alanında antimadde düşer mi yoksa yükselir mi? Bu konuda kimse tüm servetine bahse girmezdi ya, antimaddenin anti-kütleçekimine tabi olma ihtimali de bütün bütün yok sayılamazdı. Eğer bu denenecek olursa bahsi antiprotonlara oynamak en iyisi gibidir, zira onlar pozitronlardan neredeyse iki bin kat daha ağır. CERN'de, 1980'lerde Los Alamos'tan bir ekip tarafından sunulan teklifleri inceleyen ilk komisyonun içindeydim. Bu testin yapılabileceğine hiçbirimiz inanmıyorduk çünkü bunun için gereken hassasiyet o dönemde elde bulunan imkânların sunduğunun çok ötesindeydi, ancak iş o kadar çetrefildi ki buna kalkışmanın ne olursa olsun antimadde teknolojisinde

çok önemli ilerlemelere neden olacağından emindik.

Pozitronun keşfinden neredeyse seksen yıl, antiprotonunkindense yarım yüzyıl sonra bugün her şey, antiparçacıkların parçacıklara doğanın tuttuğu ayna olduğu, bunların o *yin*'in *yang*'ı olduğu şüphesini doğruluyor. Fakat antimadde kütleçekimi altında düşer mi yükselir mi, onu hâlâ bilmiyoruz.[3]

ANTİHİDROJEN VE ANTİMADDE FABRİKASI

Manyetik şişelerde ancak çok küçük miktarlarda antimadde depolanabiliyor. Tek başına pozitronlar ve antiprotonlar için sınırlandırıcı etken, birbirinin aynı olan yüklerin birbirini itmesi; bu durum büyük bir meblağı bir arada tutmayı imkânsız hale getiriyor zira aralarındaki itici güç kısa sürede, manyetik şişedeki alanların kontrol edemeyeceği kadar kuvvetleniyor. Bunun sonucu şişenin sızdırması ve antiparçacıkların yok olması olur. Bu meseleyi aşmak için pozitronlarla antiprotonları bir araya getirip antihidrojen atomları oluşturmaya kalkışırsanız karşınıza başka bir sorun çıkar. Atomlar elektrik olarak nötrdür ve elektrik alanlarla manyetik alanlar nötr parçacıkları tutamaz; parçacıklar hemen normal maddeyle, mesela kabın kenarlarıyla temas edip imha olacaklardır.

1995'ten önce, evrenin tarihinde bir tek antimadde atomunun bile var olmamış olması ihtimal dahilindedir. Kozmik ışınlardaki pozitronlar ve antiprotonlar birbiriyle karşılaştıklarında o kadar hızlı hareket ediyor olurlar ki, beraber azıcık takılıp birleşerek atomları oluşturmak yerine ayrı ayrı yollarında gitmeye devam ederler. Ama o yıl, CERN'den bir ekibin ilk defa bir avuç antihidrojen atomu

[3] En azından doğrudan bir bilgi sahibi değiliz. Deneyler, maddeden oluşan farklı malzemelerin hepsinin aynı oranda düştüğünü gösteriyor. Eğer Einstein'ın genel görelilik kanunu kütleçekiminin doğru tanımıysa, bu sonuç dolaylı olarak, antimaddenin de dünyaya maddeyle aynı oranda düşeceğini söyler.

yapmasıyla her şey değişti.

Düşük Enerjili Antiproton Halkası'nda (LEAR) dönen antiprotonlar ağır bir elementin atom çekirdeğiyle yakın temasa girdiler. Onun yeterince yakınından geçen her antiproton, hem bir elektron-pozitron çifti yaratabilir hem de hayatta kalabilirdi; bu olayların çok küçücük bir kesiminde antiproton pozitronla bağ kurarak bir antihidrojen atomu oluşturacaktı.

1996'nın başlarında CERN'de dokuz tane anti-atom üretildiği ilan edildiğinde haber tüm dünyaya yayılıp gazetelerden, radyodan, televizyondan duyuruldu. Ancak antiatomların çok kısa süreliğine var olabilmesi, bunların daha ileri araştırmalarda kullanılamayacağı anlamını taşıyordu. Marifet bunları bir kez yapabilmiş olmaktı, çevrelerindeki madde tarafından imha olunmadan önce saniyenin küçücük bir kesri kadar yaşamış olmaları bile çok önemliydi.

LEAR'ın işlevi 1996'da sona erdi ve yerini antimadde yapmak amacıyla antiparçacık üretip soğutmak için tasarlanmış bir başka makine aldı. Bu "Antiproton Hız Kesicisi"nde (*Antiproton Decelerator*) yani AD'de mıknatıslar antiprotonları döndürüyor ve güçlü elektrik alanlar onları görece rahat hızlara, ışık hızının yaklaşık yüzde 10'una kadar yavaşlatıyor. AD aslında daha önce bahsettiğimiz antiproton akümülatörünün yeniden doğmuş hali. Yapılan büyük değişiklikler, vakum sisteminin iyileştirilmesi ve daha önce LEAR'da kullanılan soğutma mekanizmasının buna eklenmesinden ibaret.

AD'den gelen her antiproton yığını, ATHENA ("AnTiHydrogEN Apparatus-Antihidrojen Aracı) denen bir deneye tabi tutuluyor: Antiprotonların on bin kadarı onları daha da yavaşlatan bir manyetik kafese konuyor ve böylece hızları ışık hızının milyonda birkaçına düşüyor. Bir sonraki aşama bunları yaklaşık yetmiş beş milyon tane soğuk pozitronla karıştırmak. Söz konusu pozitronlar radyoaktif bir izotopun bozunmalarından toplanıyor ve başka bir kapana kısılı bekliyorlar. Nihayet pozitronlar ve

antiprotonlar üçüncü bir "kaynaştırma" kapanına alınıyor. İşte "soğuk" antihidrojen atomları burada oluşuyor.

ATHENA deneycileri başarılı olduklarını nereden biliyorlar? Bir pozitronla bir antiproton bir araya gelip nötr bir antihidrojen atomu ürettiklerinde bu atom kapanın elektromanyetik alanlarından kaçıp gider. Ardından anti-atom çevrede bir yerlere çarpar, pozitron ve antiproton ayrı ayrı, bir elektron ve bir protonla imha olurlar. Antihidrojenin var olmuş olduğunun şüphe götürmez kanıtı, antiprotonun ve pozitronun eşzamanlı imhasının tespit edilmesidir.

2002'de ATHENA ve bir diğer deney olan ATRAP'ta on binlerce antihidrojen atomunun ilk defa üretilmesiyle Antiproton Hız Kesicisi manşetlere oturdu; zira bu bir antimadde gazının incelenmeye başlanmasına yetecek kadar büyük bir sayıydı. ATHENA deneyinde antihidrojenin açık işaretleri ilk olarak 2002'nin Ağustos ayında görüldü, çok isabetli olarak. Zira bu tarih Paul Dirac'ın yüzüncü doğumgünüydü. Bir ay sonra ATRAP, antiatomun içine ilk kez bakılabildiğini duyurdu. Sonunda, hidrojen ve antihidrojenin elektromanyetik alanlarda ve kütleçekimi alanlarında nasıl davrandıklarının artık karşılaştırılabileceği umuluyor. Maddeyle antimadde arasındaki herhangi bir fark, ne kadar küçük olursa olsun, doğaya ve evrene dair kavradığımız en temel şeyler açısından çok büyük bir anlam taşıyacaktır. Ancak derdiniz antimaddeden işe yarayacak bir enerji elde etmek ve bir kısım uzay yolculuğu meraklısının hayallerini gerçekleştirmekse, bundan milyarlarca kat fazlasını üretmeniz gerekir. Antiproton Hız Kesicisi bu gezegenin en iyi antimadde fabrikasıdır; gerçeği[4] kurgudan ayırt etmekse en son bölümümüzün konusu olacaktır.

[4] Yazar burada, "fabrika" anlamındaki İngilizce *factory* kelimesini, "gerçek" anlamına gelen *fact*'i gösterecek şekilde *fact-ory* diye yazarak kelime oyunu yapıyor —*çev. notu.*

LEP

Yirminci yüzyılın son on yılında dünyanın en büyük bilim cihazında antimadde düzenli olarak üretiliyor, depolanıyor ve imha ediliyordu. LEP (*Large Electron Positron collider*), yani Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı gerçekten de büyüktü. İsviçre ve Fransa topraklarının elli metre altında, Londra metrosunun "Circle Line"[5] hattı kadar uzun bir tünelde, mıknatıslar elektron ve pozitron demetlerini hedefe doğru yönlendiriyorlardı.

Antimaddenin yola gelmesi için gereken bu mühendislik harikasına dair fikir edinmemiz için birkaç sayı vermek kâfi. Devasa halka, kavisli sekiz bölmeden oluşuyor, bunların her biri yaklaşık üç kilometre uzunluğunda ve aralarında 500 metre boyunda düz bölmeler var. Üç bin 500 ayrı mıknatıs, demetleri eğip bükerek kavislerden geçiriyor, bunlara ek olarak, bin mıknatıs da demetleri yüksek elektrik yük yoğunluklarına odaklamak üzere özel olarak inşa edilmiş.

LEP'te elektronlar, atomlardan çekilip küçük bir hızlandırıcıda hız kazandırılarak üretiliyordu. Elektron demetinin küçük bir tungsten hedefe doğru ateşlenmesiyle pozitronlar yapılıyordu, hedef vurulduğunda çarpışmanın enerjisi hem pozitron, hem de bir miktar daha elektron üretiyordu. Pozitronlar van der Meer'in yapmış olduğu, antiproton üretiminde çok başarılı olan cihaza benzer bir mantığa sahip akümülatör halkasında depolanıyordu. Yeterli sayıya ulaştıklarında, arabanın vites yükseltmesi gibi, enerjilerini LEP'in ana halkasına girecek hızı kazanana kadar yükselten bir dizi hızlandırıcıya yönlendiriliyorlardı. İçinden geçtikleri tüpler mıknatısların merkezinden geçiyor ve o güne dek inşa edilmiş en uzun, ultra-yüksek vakum sistemini meydana getiriyordu. Tüplerin içi, Ay'dakinden daha alçak basınçlara düşene dek

[5] Londra'nın altında eğri büğrü bir daire çizen, sonradan eklenen kuyruğuyla beraber uzunluğu 27 kilometreyi bulan metro hattı —*çev. notu.*

boşaltılıyordu; zira yoğun pozitron demetlerini yapmak, depolamak ve odaklamak için girilen onca çabadan sonra, bunların havadaki başıboş atomlar tarafından imha edilmesine engel olmak için bu kalitede vakum oluşturmak lazımdı.

Pozitronlar İsviçre bağlarının altındaki 27 kilometrelik halkada hızla giderek Fransa sınırını saniyede 11 bin defa geçiyor, Voltaire'in ömrünün son yıllarını geçirdiği, Fransa'nın Cenevre kentinin banliyösündeki heykelinin altından fırtına gibi esip, Jura dağlarının eteklerindeki tarlaların, ormanların, köylerin altından alelacele gidiyorlardı. Elektronlar için de hikâye bunun gibiydi; zira manyetik alanlar elektronlarla pozitronları aynı dairesel yol üzerinde, ters yönlerde gönderiyorlardı. O yolları biraz ayrı tutun, her şey gayet yolunda devam eder. Ama devrenin üstündeki dört noktada, elektrik ve manyetik kuvvetlerin küçük vuruşlarıyla demetler azıcık saptırılarak yolları kesiştiriliyordu. Orada bile, demetlerin içinde parçacıklar o kadar seyrekti ki teker teker elektronlar ve pozitronlar birbirlerini ıskalayıp turlarına devam ettiler. Gelgelelim arada sırada bir pozitronla bir elektronun bodoslama çarpıştığı oluyor, bir enerji parlamasında birbirlerini imha ediyorlardı.

İşte o büyük an bu andı. Antimaddenin maddeyi ihma etme ve içindeki bütün enerjiyi serbest bırakma kabiliyeti bilim tarafından, uzayın ücra bir köşesinde bir anlığına, evrenin tamamının Büyük Patlama'nın hemen ardından nasıl olduğuna dair minyatür bir temsilini oluşturmakta kullanılıyordu. Bilim insanlarını ilgilendiren, ortaya çıkan sonuçtu: canlandırılan bu "mini patlama"nın ardından ne tür parçacık veya antiparçacık şekillerinin ortaya çıktığına bakarak, evrenin bebekliğinde gerçek Büyük Patlama'da enerjinin nasıl cisimleştiğini öğreniyorlardı. Çarpışma alanlarının çevresindeki son derece karmaşık elektronik araçlar, maddenin ve antimaddenin ilk parçalarının ortaya çıkışını yakalayıp kaydederken, LEP çok eskiden gerçekleşen o oluşum ânını tekrar edip duruyordu.

Hepsi, günlerce yaşayabilen pozitron demetleri üretebilmenin ve kontrol edebilmenin sonucuydu. Bunun gerektirdiği mühendislik o kadar hassastı ki, LEP'in Ay'ın hareketinden bile etkilendiği ortaya çıktı. Bilim insanları önce elektronlarla pozitronların karşılıklı imha görevine kimi zaman birazcık daha erken geldiğini, bazen de azıcık geç kaldıklarını fark ettiler. Aradaki fark bir nanosaniyeden azdı ama LEP buna bile hassastı. Zamanlama yirmi sekiz günlük bir döngü içinde erkenden geçe doğru gidip geliyordu. İşte fizikçiler, müthiş bir kesinlikle çalışan bu devasa makinenin harikulade hassasiyet düzeyini o zaman idrak ettiler. Ay'ın, okyanus dalgalarını birkaç metre yükselten aylık döngüsü, dünya yüzeyindeki kayaları da, çok önemsiz bir miktarda olmakla beraber etkiliyor. LEP'in 27 kilometre uzunluğundaki parkuru her ay birkaç milimetre uzayıp kısalıyordu, bu yüzden de demetlerin bazı günlerde biraz daha uzun yol alması gerekirken, iki hafta sonra devre kısalıyordu.

Dünyanın her tarafından yüzlerce bilim insanı bu deneylerin gerçekleşmesinde işbirliği yaptı. Veriye anında ihtiyaç duyulması ve yaptıkları analizlerin sonuçlarını birbirlerine kolayca iletme gereği, deney hazırlıklarının başladığı 1980'li yıllarda büyük meseleydi. *World Wide Web*[6] bunu gerçekleştirmek amacıyla CERN'de kuruldu; antimadde maddeyi imha ediyor ama dolaylı yoldan *World Wide Web*'i kurdu işte. Deneylerle geçen on yılda LEP, evren daha saniyenin milyarda biri yaşındayken maddenin nasıl oluştuğunu gösterdi. "Minik patlama"dan elektron ve pozitron, kuarklar ve antikuarklar gibi parçacıklar ve antiparçacıklar çıktı. Bunların çoğu LEP'ten önce biliniyordu ama LEP, bilim insanlarının, bu değişik parçacık ve antiparçacık biçimlerinin birbirleriyle nasıl ilişkilendiğini daha iyi anlamalarını sağladı. Bilindik elektrona ve bir araya gelerek protonları, nötronları ve tanıdığımız maddeyi meydana getiren iki çeşit kuarka ek olarak başka

[6] "dünyayı saran ağ": internet —*çev. notu.*

FERMİONLAR (madde)

elektron	e^-	muon	μ^-	tau	τ^-	"Leptonlar"	Yük -1
nötrino	ν_e	nötrino	ν_μ	nötrino	ν_τ		Yük 0
yukarı (*up*)	u	çekici	c	üst (*top*)	t	"Kuarklar"	Yük + (2/3)
aşağı (*down*)	d	acayip	s	alt (*bottom*)	b		Yük - (1/3)

BOZONLAR (kuvvet taşıyıcılar)

Foton γ	Elektromanyetik	"Elektro-zayıf" kuvvet
W^+ W^- Z^0	Zayıf	
gluonlar	Güçlü kuvvet	

Şekil 8: Parçacıkların (kuark ve leptonlar, ki bunlar fermiondur) ve kuvvet taşıyıcıların (bunlar da bozondur) Standart Modeli.

parçacık çeşitleri de var. Bunlar bugün dünyada ender görülüyor, hatta hemen hemen hiç görülmüyor olabilir ama erken, sıcak evreni oluşturan ateş fırtınasında bolca mevcutlardı.

Anlaşıldı ki doğa, atomun dış uçları için mümkün tek parçacık çeşidi olarak elektronla tatmin olmamış, ondan ağır iki versiyonunu daha yapmıştı. Biri, elektrondan 200 kat ağır olan "muon", ikincisi de dört bin kat ağır olan "tau". Bunlar elektrik yükü bakımından, hatta bilebildiğimiz kadarıyla her bakımdan elektronlarla aynıdırlar, bir tek kütleleri daha fazladır. Tıpkı elektronunun pozitron diye bir antiparçacık ikizi olması gibi, bunların her birinin de pozitif yüklü antiparçacıkları vardır.

Kuarklar için de benzer bir hikâye söz konusudur. Protonlar ve nötronlar "aşağı" ve "yukarı" kuarklardan oluşur. Yukarının daha ağır iki versiyonu var, "çekici" (*"charm"*) ve "üst" (*"top"*); aşağının da kendinden ağır iki versiyonu, "acayip" ve "alt" (*"bottom"*) var. Bu altı kuark "çeşnisinin" her birinin bir de antikuark eşi var (bkz. Şekil 8).

LEP, enerjinin madde ve antimadde olarak mükemmel bir uyum içinde donması sırasında evrenin bir anlık halini gösterdi.[7] Ancak, parçacık ve antiparçacıkların yüzlerce çeşidi arasında, bir avuç örnek çıktı ki bunlarda madde ve antimadde, simetrik olarak üretilmekle beraber, kısacık ömürlerinde ve ölümlerinde asimetrik davranıyorlar. Bunun nasıl olduğunu açıklayabilirsek, evvel zaman içinde gerçekleşen oluşum ânında maddeyle antimaddenin nasıl olup da birbirini imha etmediğine, dolayısıyla nasıl olup da bugün evrende hiçbir şey değil de bir şeyler kaldığına dair ipuçları bulabiliriz. Antimaddeyle madde arasındaki derin ilişkiyi anlamak ve aralarında küçücük farklar aramak, hikâyemizin bir sonraki adımı olacak.

[7] LEP'in yerini şimdi, protonları kullanan LHC (Large Hadron Collider, "Büyük Hadron Çarpıştırıcısı") aldı. Teknolojinin sınırı burasıdır, LHC'nin gelecekteki bir versiyonuna antiprotonları koymak şu an için bilim-kurgudur.

7

AYNA EVREN

ZAMANDA GERİYE GİTMEK Mİ?

Yirminci yüzyılın en büyük teorik fizikçilerinden Richard Feynman, kendi adıyla anılan diyagramlarıyla meşhurdur. Bu diyagramlar parçacıkların uzay ve zaman içinden geçişini gösterir, birbirleriyle etkileşirken fotonlar üzerinden yaptıkları gibi radyasyonu nasıl emdiklerini ve yaydıklarını takip eder. Son derece görsel olmakla beraber, aslında bir yandan da fizikçilerin maddenin temel yapı taşlarının davranışlarını hesaplamalarını sağlayan karmaşık matematik işlemleri için bir koddur bu diyagramlar. Feynman, İkinci Dünya Savaşı sırasında atom bombasını geliştiren Manhattan Projesi'nin genç bir üyesiydi. Savaş Avrupa'yı kasıp kavururken, tarafsız kalan İsviçre'de Ernst Stueckelberg de benzer bir fikir geliştirdi, ancak onun yaptığı iş, Feynman'ın daha sonra, ondan bağımsız olarak yapacağı işe kıyasla daha kullanışsızdı. Stueckelberg'in diyagramlarından çıkan sonuçlardan biri, antiparçacığın zamanda geriye doğru giden parçacık olarak görülebileceğiydi.

Stueckelberg'in fikri 1941'de, o dönem uluslararası alanda fark edilmesini sağlamaya pek de uygun bir mecra olmayan bir İsviçre dergisinde yayımlandı. Sekiz sene sonra Feynman'ın aklına benzer fikirler geldi ve asıl önemlisi, bu fikirleriyle parçacıkların ve atom fiziğinin hesabını daha önce kimsenin yapamadığı şekilde tutabiliyordu.

Feynman'ın diyagram teknikleri o kadar güçlü ki bugün bütün fizik öğrencilerinin ana öğünü ve fizik hesaplarının temel gıdası durumunda. Stueckelberg'se yeterince takdir görmediğini hissetti daima. Ona fikrini neden uluslararası bir dergide, mesela çok okunan Amerikan dergisi *Physical Review*'da yayımlamadığı sorulduğunda, savaş zamanı olduğundan bir sanatçıya diyagramları hazırlatmanın imkânsız olduğunu söyledi. Buna inanmak biraz zor, zira diyagramlar birkaç tane düz çizginin dalgalı çizgilerle birleştirilmesinden ibaret sayılır. Her halükârda, antiparçacıkların zamanda geri giden parçacıklar olarak görülebileceği fikrini ilk ortaya atan Stueckelberg'dir denebilir.

Fikir, antimaddeye dair cidden garip canlandırmalar oluşturuyor; pozitronları izlerken elektronların gelecekten geldiğini gördüğümüzü düşünüyoruz. An be an akıp gider zaman sana aldırmadan[1]; zaman elbet geri gelmez, ve antimadde dediğimiz şey bizi geçmişe geri götürmez, her geçen antigün gençleşen antiuzaylılarına kadar her şeyi tam olan antimadde dünyaları, görünmeden gelecekten gelip bir şekilde bizim şimdiki zamanımızı kovalayacak değildir. Zaman geri alınamaz. Antimaddenin ve zamanın geri çevrilmesinin maddeyle ilişkisinin nasıl olduğunu görmek için önce fiziğin temel kanunlarının zamanı nasıl ele aldığını ve bizim zaman algımızın nasıl oluştuğunu anlamamız lazım.

Canlılar da dahil olmak üzere, toplu halde bulunan madde parçaları için zaman, çok sayıda atom için uygulanan tesadüf kanunlarının geçerli olduğu bir yanılsamadır. Çiçeklerin solması, bedenimizin yaşlanması, yumurtaların kırılıp kabukların kendiliğinden tekrar birleşmemesi ve genel olarak düzenin düzensizliğe dönüştüğünü hissetmek bize zamanın aktığını sezdirir, ama kavramın kendisi, temel fizik kurallarına bakıldığında böyle açık seçik olmaktan uzaktır.

[1] "Time and tide wait for no man" deyimini, Sezen Aksu'nun yazdığı "Bile Bile" (1990) şarkısından bu sözlerle karşıladık —*çev. notu.*

Gezegenlerden bilardo toplarına, her ölçüdeki hareket Isaac Newton'ın temel kanunlarına tabidir ve bu kanunlar geçmişle gelecek arasında bir ayırım yapmazlar. Zamanı geriye çevirip gezegenlerin Güneş'in çevresinde yörüngede gerisin geri, geçmişe doğru seyredişni izleyecek olsak, normal işleyişi aynadan izlemekten farklı bir şey görmezdik. Eğer bunların ikisini aynı anda yapacak olsak, yani hem aynadan bakıp hem de zamanın yönünü tersine çevirsek, göreceğimiz şey gerçeklikle tıpatıp aynı olurdu. Jargonla söyleyecek olursak Newton'ın hareket kanunları "*P*" (*parity*, "parite" yani ayna simetrisi) ve "*T*" ("zamanın tersine çevrilmesi"nin simgesi) uygulandığında değişmezlik özelliği taşır.

Temel denklemler zamanın ne yöne doğru aktığını önemsemese de, zamanın kendini gösteren bir yönü vardır.[2] Zamanın oku tek tek atomların hiç umurunda olmayabilir, ama atomların yer değiştirmelerine neden olan karşılıklı etkileşimleri, atomlar grup halinde olduklarında düzensizleşmeye meyilli kılar onları. Bunun sebebi çevrede daha fazla seçenek olmasıdır: atomların belirli bir yumurtayı meydana getirmesinin tek bir yolu vardır ama yumurtanın ezilmiş parçacıklarının düşmesinin yolları sayısızdır.

Basit bir örnek verelim, bilardo oyunun başında, on tane kırmızı topun üçgen şeklinde düzgünce dizilmiş olduğunu farz edin. Istaka topu bunlara çarpıp düzenlerini bozuyor. Bu noktada her bir bilardo oyunu neredeyse benzersiz hale geliyor, çünkü o tek vuruşla dahi topların alabileceği çok fazla dağılım var. Istaka topunun diğer topların duruşunu hiç değiştirmemesi ve kendisinin de başlangıçta olduğu aynı yere geri dönmesi ihtimali,

[2] Gezegenleri yeteri kadar uzun süre izlerseniz burada bile zamanın ibresini görebilirsiniz. Gelgite bağlı sürtünme (gelgitsel ivme) dolayısıyla Ay Dünya'dan uzaklaşıyor ve Apollo'daki astronotların bıraktığı sensörler bu tek yönlü hareketi şimdiden ortaya koyuyor. Birkaç milyar yıl bekleyin, bildiğimiz haliyle Güneş Sistemi ölecek.

çok küçük olmakla beraber, mevcut. Öyle bir durumda, bunun filmini izliyor olsanız, gördüğünüz şey gerçek mi yoksa zaman geriye mi sarılıyor ayırt edemezdiniz. Böyle bin yılda bir olacak bir olay dışında, gerçek olanla filmin geriye sarılmasını ayırt edersiniz, çünkü rasgele dağılmış topların kendi kendilerine geri dönüp tekrar düzgün bir eşkenar üçgen oluşturmalarının pek de mümkün olmadığını bilirsiniz.

Sadece on tane bilardo topunun düzeninin bozulması zamanın okunu göstermeye yeter. Makroskopik nesnelerde öyle çok atom söz konusudur ki zamanın yönüne dair şüpheye filan yer yoktur. Gelgelelim atomların içindeki teker teker temel parçacıklar için zamanın oku kaybolur, tıpkı masanın üstünde sadece iki topun bulunduğu bir bilardo oyunu gibi. Oyunun sonunda masada sadece siyah top ve beyaz ıstaka topu kalmıştır. Tek bir "şok" vuruşu yapmak mümkündür, beyaz top sabit duran siyaha çarpar, durur ve bütün momentumunu siyah topa aktarır. Bunu geriye saracak olsanız oyunu ele verecek tek şey "siyah" bir ıstaka topunun sabit duran bir beyaza çarpması olacaktır. İki topu da beyaza boyayacak olursanız ileri doğru giden bir film mi, yoksa geri sarılan bir film mi seyrettiğinizi ayırt edemezsiniz. Bunun gibi, tek tek elektronlar, protonlar, hatta atomlar düzeyinde de kanunlar açısından zamanının yönü hiç fark etmez.

Elektrik yüklü tekil parçacıklar için yapmanız gereken bir şey daha var: Zamanı geriye sarın, aynadan bakın ve bir de her yerdeki elektrik yükünün işaretini değiştirin. Elde edeceğiniz şey, başlangıçta elinizde olanla tıpatıp aynı şekilde davranacaktır. Siyah ve beyaz bilardo topları benzetmesinde, siyah ve beyaz topları birbiriyle değiştirecek olursanız yine gerçekliği tersinden ayırt edemezsiniz. Madde ile antimadde arasındaki simetridir bu; tıpkı elektron ile pozitron arasındaki simetri gibi. Elektronların mekaniği ve bunların kuvvetlere verdiği tepkiler, pozitronların aynadan izlenip geriye alınan görüntüleriyle bire bir aynıdır. Bunun gibi, LEP'te saat yönünün tersine

dönen pozitronlardan kaynaklanan elektrik akımları, saat yönünde dönen elektronların zamanın geriye sarıldığı bir filmdeki görüntüsüyle aynıdır. Pozitron işte bu anlamda, zamanda geri giden bir elektron gibi davranır.

Feynman'ın diyagramları, kuantum mekaniğinin, yüklü parçacıkların elektromanyetik alanlarla etkileştiği karmaşık işleyişinde bataklara düşmeden hesap yapmak için görsel bir kestirme yoldur. Cevapları hesaplamamızı sağlar, pozitif enerji ve negatif enerji durumlarını hesaplarken karşımıza çıkan görünmez hata risklerini takip eder. Bu hataların bazılarından kaçınmak konusunda, negatif enerji durumlarını "zamanda geriye doğru" diye düşünmek çok faydalıdır ama zamanda gerçekten de geriye doğru seyreden hiçbir şey yoktur, bildiğimiz kadarıyla. Nasıl ki elektronlar zamanda ileri doğru giden negatif yüklü pozitif enerji parçacıklarıysa, pozitronlar da onların pozitif yüklü eşleridir, onların da enerjisi pozitiftir, onlar da zamanda ileri doğru giderler.

Bir pazartesi günü bir grup pozitronla bir grup elektronu LEP'e koyun ve geleceğe doğru dönerlerken filme alın onları. Haftanın sonunda filmi geriye doğru izleyin ve bunu gerçekte gördüklerinizle karşılaştırın. Pozitronlardan kaynaklı yük akışı, elektronların akışının zamanda geri alınmasına tıpatıp benzer; bu benzerlik, elektronların zamanda geriye doğru izlenen pozitronlara olan benzerliğinden ne daha az, ne de daha çoktur.[3] Pozitronların sıradan madde parçacıklarına karşı tutumu diğer bütün antimadde parçacıklarından farklı değildir. Hayal gücümüzü harekete geçiren ve kafamızı karıştıran, onları "anti-madde" yapan imha kapasiteleridir, yoksa onlar da maddi dünyanın daha tanıdık oyuncuları gibidir.

Maddeyle antimadde arasındaki derin simetri sadece, özelliklerinin her üçünü de tersine çevirdiğinizde kendini gösterir: yük (C), ayna simetrisi (P) ve zaman (T). Alt-

[3] Kütleçekimi yok sayılıyor. Bu idealleştirilmiş örnekte aslında LEP'in uzaya taşınması gerekir.

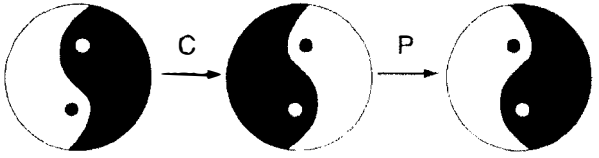
mış yıldan uzun zaman önce Stueckelberg ve Feynman çalışmalarını yaptıklarında, bu simetriyi göstermek için bunlardan herhangi birinin, mesela sadece zamanın değiştirilmesinin yeterli olduğu sanılıyordu. Fakat bugün biliyoruz ki "bir" yeterli değil. Simetrilerden sadece birini, hatta bir çifti değiştirirseniz ince farklılıklar ortaya çıkabilir. Madde ve antimadde kesinlikle birbirlerinden ayırt edilebilirler.[4]

ACAYİP PARÇACIKLARIN ACAYİP DAVRANIŞLARI

Birbirine zıt olan ana kozmik kuvvetler kavramı, zıtların birliği, Çin felsefesinde *yin* ve *yang* ile temsil edilir. *Yin* gölgenin, meşum olanın, sol elin özelliklerini simgelerken *yang* bunun aydınlık zıddını yansıtır, dürüstlüğü ve sağ eli simgeler. Madde ve antimadde bu gizemli simetriyi bir ölçüde paylaşır ki *yin* ve *yang* sembollerinin de ortaya koyduğu üzere burada derin bir asimetri de vardır. Bunu daha sonra göreceğiz. İlk bakışta, yin ve yang'ın açık ve koyu renginde mükemmel bir kontrpuan olmasına rağmen, daha yakından incelendiğinde o kadar bariz değildir bu simetri (bkz. Şekil 9).

5. Bölüm'de, bir kuark ve bir antikuarktan oluşan bozonlarla tanışmıştık. Yüzlerce çeşit bozondan bir tanesi var ki, madde ile antimadde arasında mutlak bir fark gösteriyor. Nötr kaon denen bu acayip parçacık, parçacık fiziğinin kısaltmalarında K^0 diye gösterilir. Nötr kaon, farklı çeşnilere sahip olan ve elektrik yüklerinin toplamı hiçbir şey etmeyen bir kuarkla bir antikuarktan oluşur. Aşağı özellikteki bir kuark ile acayip bir antikuark bir araya ge-

[4] *CPT* teoremi denen incelikli bir matematik eseri, bu işlemlerin her üçü de yapıldığında madde ile antimaddenin simetrik olmak zorunda olduğunu gösterir. Ancak satır arasında gizlenen önemli bir ayrıntı yine de vardır: bu sadece, kütleçekiminin etkileri gözardı edildiğinde geçerli olur. Kütleçekimi etkisi altında madde ve antimaddenin yine de simetrik davranıp davranmayacağı tartışma konusudur.



Şekil 9: ***Yin Yang*** **sembolünün, negatifinin ayna görüntüsüyle karşılaştırılması.**

lerek K^0'ı oluştururlar. Maddeyle antimaddeyi değiştokuş edin, bir acayip kuarkınız bir de aşağı antikuarkınız olsun, K^0'ın anti çeşidini üretmiş olursunuz.

K^0 ve antiparçacığının özel olduğuna dair ilk ipucu 1964'te ortaya çıktı. New York'taki Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'nda yapılan bir deney, aynı anda hem yüklerin cinsini değiştokuş edip hem de aynadan bakmak demek olan *CP* simetri birleşimine duyarlıydı. O zamana kadar herkes, maddeyle antimaddenin aynı şekilde davranacağını düşünüyordu: *CP* doğanın kanunlarından bir "simetri" olacaktı. Gelgelelim, herkesi şaşkına çeviren bir şey oldu ve deney, durumun hiç de öyle olmadığını gösterdi. Jim Cronin ve Val Fitch bunun için Nobel Ödülü aldıklarında, bir İsveç gazetesi o yılın fizik ödülünün "Tabiat kanunları yanlıştır!" keşfini yapanlara verildiğini duyurdu manşetten. Tabiatın kanunları yanlış değildir, ama herkesin sandığından daha incelikli oldukları anlaşılmıştır.

Orada ne olduğunu bugün daha iyi anlıyoruz. Hatta K^0'la onun antiparçacığı arasında zamanın tersine çevrilmesinde oluşan asimetriyi göstermenin yollarını da bulduk.

Acayip kuark aşağı kuarktan daha iridir ama bunun dışında hemen hemen aynıdırlar. Bunun sonucu olarak, acayip kuark biraz enerji vererek aşağı kuarka dönüşebilir, aynı şekilde anti-acayip de anti-aşağıya dönebilir. Buna karşılık, eğer aşağı kuark ve anti-aşağı kuark da enerji alırsa güçlenip acayip ve anti-acayip kuarka dönüşebilir.

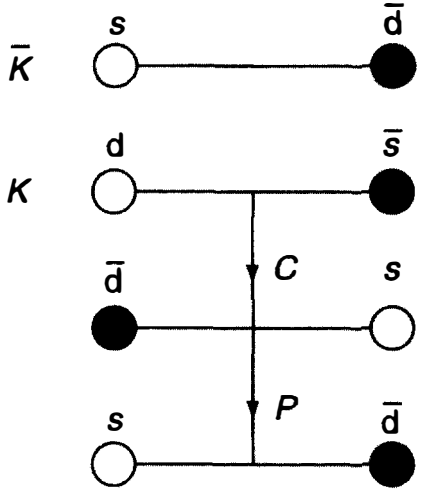
K^0'la anti-K^0 için bunun anlamı çok büyüktür; Doktor Jekyll ve Bay Hyde gibi kimlikleri değiştirir dururlar.

Jekyll formu, aşağı ile anti-acayipin kombinasyonudur. Anti-acayip enerji kaybeder ve anti-aşağıya dönüşür; bazen o enerji sızıp gider ve bu da kaonun bozunmasına neden olur, ancak enerjinin komşu aşağı-kuark tarafından emilmesi de mümkündür, böylece o da bir acayip-kuarka dönüşür. Bu durumda, aşağı ve anti-acayiple başladığımız yolda acayip ve anti-aşağıya varmış oluruz: K^0 Jekyll, anti-K^0 Hyde'a dönüşmüştür (bkz. Şekil 10).

Bu demektir ki K^0'la anti-K^0 sürekli olarak birbirlerine dönüşüp durabilir, bir Jekyll olur, bir Hyde olur, sonra yine Jekyll olur... Bilim jargonunda buna osilasyon (salınım) denir. Eğer maddeyle antimadde simetrikse, K^0'la anti-K^0 arasında değişme olmasıyla bunun tersinin gerçekleşme ihtimali eşit olmalı. Osilasyonların filmi çekilse filmin ileriye doğru oynatımı ile geriye doğru oynatımı aynı olmalı. Maddeyle antimadde arasında fark varsa değişme oranları arasında da fark olabilir.

Jekyll ve Hyde yaratıklarından birinin içini nasıl görür, bir yöne osilasyon diğerinden daha fazla mı diye nasıl bakarsınız? Bunun cevabı, içlerinden biri öldüğünde geriye ne kaldığına bakmaktır, zira bu şekilde merhumun K^0 mı yoksa anti-K^0 mı olduğunu söyleyebilirsiniz. K^0'la onun anti ikizinin oranının eşit (50:50) olduğu bir demet oluşturursanız, öldüklerinde karışımın içinde hangi oranda olduklarını karşılaştırabilirsiniz. Ölü kaonların birbirine oranı 50:50'den farklı herhangi bir şey çıkarsa, ya salınımda bir asimetri vardır, yani Jekyll ile Hyde arasındaki değişimde bir yön ötekine ağır basıyordur, ya da kaonun bir hali ötekinden daha hazırdır ölmeye. Hangisi olursa olsun, sonuç, maddeyle antimadde arasında fark bulunduğudur.

1998'de CERN'de yapılan bir dizi deneyle, anti-K'nın K'ya dönüşümünün, aynı işlemin tersinden biraz daha hızlı olduğu keşfedildi. En temel parçacıklar düzeyinde dahi zamanın okunun kendinden bir yönü olduğunun



Şekil 10: Jekyll ve Hyde K^0. d (down/aşağı) ve s (strange/acayip) kuarklar ve antikuarklardan oluşan bir kaon ve antikaon (antikuarklar, simgelerinin üzerindeki düz çizgiyle belirtiliyor). C'nin (kuarkın "negatif görüntüsü" olan antikuarka dönüşmesi) ve P'nin (ayna tersi) etkisi gösteriliyor. Etki itibarıyla kaon antikaona dönüşmüştür.

kanıtıdır bu, zira anti-*K*'dan *K*'ya salınıma ait filmin ileriye doğru mu geriye doğru mu oynatıldığını ayırt edebilirsiniz: eğer anti-*K* ölmeye meyilliyse ileri doğru, anti-*K* zaman içinde daha çok ortaya çıkıyorsa geriye doğru izliyorsunuzdur filmi. Yani eğer *K* ve anti-*K*'nın eşit olduğu bir karışımla işe başlarsanız, sonunda küçük bir *K* fazlası oluşur. *K*'nın kısa ömrü içinde bunun bir önemi yoktur ve bu, maddenin evrendeki büyük egemenliğini açıklamaya tek başına yetecek bir durum değildir. Yine de, ilke olarak böyle bir asimetrinin doğabileceğinin kanıtıdır.

Madde ve antimadde arasındaki asimetriye dair bu ipuçları, doğanın bir hediyesi sayesinde bulundu: aşağı kuark ve ondan daha ağır olan acayip kuarka ek olarak, doğanın bunlarla kalmadığını biliyoruz artık. 104. sayfada gördüğümüz üzere, LEP'teki deneyler evrenin başlangıcında üç "nesil" kuark, üç nesil elektronvâri parçacık ve

bunlarla bağlantılı nötrinolar olduğunu ortaya koymuştu.

Dirac denkleminin bize söyledikleri, doğanın bir değil üç nesli kullandığı gerçeğini dikkate alacak şekilde genişletildiğinde, maddeyle antimaddenin simetrik zıt-eşler olmasına artık gerek olmadığı sonucu çıkıyor. Bunun ampirik kanıtı, *K* ile anti-*K* arasındaki asimetrik davranışta görüldü. Yakın dönemde bu kanıt daha da kuvvetlendi: *K* ve anti-*K*'daki acayip kuark ve antikuarkın yerine üçüncü nesilden kuark ve antikuark olan "alt" konduğunda, ortaya çıkan alt mezonları *B* ve anti-*B*'nin daha da büyük bir asimetri gösterdiği keşfedildi. Kuramın öngördüğünün gerçekleşmesi gerektiğiyle uyumludur bu, ve evrende üç nesil kuark çeşnisinin var olmasının maddeyle antimadde arasında asimetri oluşmasına imkân verdiğini kanıtlar. Bu ayrıca bize, çok uzaklardaki bir galaksinin maddeden mi yoksa antimaddeden mi oluştuğunu test etmenin mutlak bir yolunu da sunar. Tek ihtiyacımız, sorgulayabileceğimiz zeki bir uzaylıdır.

ANTİ-UZAYLIYLA EL SIKIŞMAYIN

Çok çok uzak bir galakside gezegenin birinin üzerinde uçmaktasınız. Acaba bu gezegen maddeden mi yoksa antimaddeden mi yapılmış, yani buna inmek güvenli olur mu olmaz mı, bilemiyorsunuz. Gezegende dost uzaylılar yaşıyor, onlarla radyo bağlantısı da kurmuşsunuz. Çok akıllılar, söylediklerinizi anlıyorlar, ve ileri varlıklar oldukları için madde ve antimaddeye dair her şeyi de biliyorlar.

Doğal olarak onlar da maddeden yapıldıklarında ısrar ediyorlar, ne de olsa kimse kendi varlığından "anti" diye bahsetmez. Onların sözlüğüyle bizimkinde aynı kelimenin aynı anlama geldiğini nasıl anlarız?

Eğer madde ve antimadde her daim mükemmel bir simetri içinde birbirinin tam denk karşıtı olsaydı, bu meseleyi çözmenin bir yolu olmaz, ancak gezegene yaklaşıp bir kumar oynanır veya küçücük bir insansız uydu gönderile-

rek atmosfere ya da antiatmosfere girdiğinde ne olduğuna bakılabilirdi.[5] Ancak biliyoruz ki burada bir asimetri var, küçük olsa da ölçülebilir bir asimetri, ve *K* mezonlarının elektrik olarak nötr çeşidinin ortaya koyabileceği şey de işte bu. Bozundukları zaman, ya pozitif ya negatif yüklü bir pion ve yanında bir elektron veya pozitron üreterek yapıyorlar bunu. Eğer maddeyle antimadde birbirinin mükemmel zıddı olsaydı bu iki bozunma da birbirinin tamı tamına eşi olurdu, ikisinin gerçekleşme ihtimali aynı olurdu. Gerçekte ise arada ufacık bir fark var.

Nötr *K* ve anti-*K* doğada birbirine öyle bir şekilde kaynamıştır ki kimi zaman kısa süre içinde ölür, kimi zaman biraz daha uzun yaşayabilirler. Bu iki imkân birbirinden epey farklıdır, uzun-ömürlü ve kısa-ömürlü versiyonlar diye adlandırılırlar. İkisi de maddeyle antimadde arasında asimetri gösterir, ama bu etki uzun-ömürlü olanda en büyüktür, pozitronun ortaya çıkmasını sağlayan bozunmanın görülme ihtimali, elektron veren bozunmanınkinden azıcık daha fazladır: Her iki bin örnekten, ortalama 1003 tanesi pozitron verirken, 997'si elektron verir. Nihayet elimizde, uzaylıyla konuşacak bir veri var.

Önce şu *K*'yı tespit edelim. Adını söylemenin kimseye faydası yok, uzaylı nasıl olsa başka bir şey diyordur ona, ama hepimizin uzlaşabileceğimiz bir özelliğiyle tanıyabiliriz *K*'yı: kütlesi. Ağırlığı proton ve antiprotonun ağırlığının yarısından birazcık fazladır ve bununla karıştırılabilecek başka bir parçacık yoktur. Uzaylıya, elindeki en basit atomun merkezindeki "çekirdekte" bulunan en büyük kütleli parçacığın, yani hidrojen atomundaki protonun (veya antihidrojen atomundaki antiprotonun) kütlesinin yarısından biraz daha fazla kütlesi olan bir parçacıkla ilgilendiğimizi söyleyebilirsiniz. Bu *K*'yı belirtir.

Hiç elektrik yükü olmayan K^0'a ek olarak, pozitif ve

[5] Anti-uzaylılar ne kadar dost canlısı görünürse görünsün, bir madde parçasının kendi anti-atmosferinde imha olması karşısında anti-uzaylının gösterebileceği tepki bunu riskli bir girişim kılar.

negatif yüklü *K*-artı ve *K*-eksi de var. Dolayısıyla, uzaylının da bizim de elektrik bakımından nötr olan versiyon hakkında konuştuğumuzdan emin olmamız lazım. "Yük" dediğimiz şeyin atomu bir arada tutan özellik olduğunu ve bizim ilgilendiğimiz *K*'nın hiç yükü olmayan *K* olduğunu söylemeliyiz. Uzaylı bu K^0'ın iki şekli olduğunu bilecektir: bir kısa ömürlü, bir de nispeten uzun ömürlü olan. Biz bunların ikincisine odaklanacağız.

Şimdi işin can alıcı noktasına geldik. Bizim maddeden dünyamızda uzun ömürlü *K* bozunup bir piona ve bir elektron ya da pozitrona dönüştüğünde, pozitron modunda olması daha olasıdır. O halde uzaylıya soralım: "Bozunmalarda daha çok ortaya çıkan hafif parçacık, sizin atomlarınızdakinin aynısı mı yoksa tersi mi?" Eğer uzaylı aynısı olduğunu söylerse bu bahsettiği bir pozitrondur: uzaylı antimaddeden yapılmıştır, ona bakmalı ama dokunmamalıyız. Eğer uzaylı bu parçacığın atomdakinin tersi olduğunu söylerse bahsettiği şey elektrondur, hepimiz maddeyizdir ve gezegene güvenle inebiliriz.

8

NASIL OLUYOR DA BİR ŞEYLER VAR OLUYOR?

KAYIP ANTİMADDENİN ESRARI

En büyük gizemlerden birinin can alıcı noktasında duruyor antimadde: Neden evrende bundan biraz daha yok? Bu konuda yerleşik bilgi, on dört milyar yıl önce Büyük Patlama'nın enerji dolu ateş topunun maddeyle antimaddeyi mükemmel bir düzen içinde dağıtmış olduğu. Işıyan enerjinin parçacık ve antiparçacığa dönüşmesi tek yönlü bir yolculuk değil; eğer bundan sonra o zıtlar temas ederse birbirlerini imha ederler, daha önce onların içine hapsolan enerji de gama ışını olarak serbest kalır. Evrenin bebeklik çağının fokur fokur kaynayan, tıkış tıkış kazanında bu türden çarpışmalara çokça rastlanıp, yeni oluşan malzemeler de pek uzun yaşamıyor olsa gerek. Eğer ilk anda madde ve antimadde Büyük Patlama'dan eşit olarak ortaya çıkmış olsaydı, bir an sonra birbirlerini imha ederlerdi.

Bu durum meseleye yeni bir boyut katıyor. Muamma, antimaddenin neden ortadan kaybolduğundan çok, maddenin nasıl olup da sağ kaldığıdır. Cevap belki de aralarında bir fark olduğundan, birbirlerinin mükemmel ayna akisleri olmamalarındandır.

Acayip ve alt çeşnilerin esrarlı dünyasında ince farklılıklar olduğunu biliyoruz, ama temel elektronlar, protonlar ve nötronlar antiparçacık zıtlarıyla tamı tamına denk görünüyorlar. Eğer aralarında bir fark varsa bile bu bizim

ölçme kabiliyetlerimizin ötesinde bir fark. Onlara dair her şey aynı Dirac'ın öngördüğü gibi görünüyor: normal madde parçacıklarıyla bunların antiparçacıkları birbirinin mükemmel denk-karşıtları.

Antihidrojen atomları bugüne dek görülen en teferruatlı "anti"-madde topakları olsa da, kuram ve deney bütün atomik elementlerin "anti" biçimde var olabileceğini söylüyor. Periyodik cetvel, proton ve nötronların bulunduğu çekirdeği elektronların çevrelediği atomik elementleri sıralarken, antiproton ve antinötronlarm oluşturduğu antiçekirdeğin çevresinde pozitronların döndüğü anti-elementler de anti-periyodik cetvelde görülecek. Madde atomlarının kararlılığını açıklayan kuantum mekaniği kuralları, antimadde atomları için de kararlılığın aynı şekilde olacağını bildiriyor. Elektrik yüklerinin işaretleri tersine çevrilmiş olsa da, zıtların birbirini çektiğini ve aynı yüklerin birbirini ittiğini söyleyen kurallar aynı kalıyor.

Aminoasitleri, DNA'yı, hayatı meydana getiren karmaşık etkileşimler, anti-elementlerin de aynı şekilde anti-DNA'daki her şeyi, hatta anti-hayatı yapmasına elveriyor. Antimaddenin kimyası maddeninkiyle aynı: antigezegenler ve antimaddenin bütün biçimleri, aşina olduğumuz evreni dolduran daha tanıdık madde kadar gerçekleştirilebilir şeyler. Evrenin uzak köşelerinde, durumdan habersiz astronotları bekleyen antimadde antigezegenlerinin çevrelediği antiyıldızlardan oluşan antigalaksiler var mı? Bir yerlerde antimaddenin bol miktarda bulunmadığından emin olabilir miyiz?

Dünya, evrenin geneli gibi değil.[1] Elementlerin az veya çok bulunması bakımından biz genelden farklıyız, aynı şey

[1] Mesela hidrojen Dünya'da ender görülmekle beraber evrende en yaygın bulunan elementtir. Güneşimiz gibi yıldızlar çoğunlukla hidrojendir, daha ağır elementlerin tohumlarını yavaş yavaş pişirirler, ama çapı milyonlarca ışık yılı uzunluğunda olan evrenden rasgele bir hacme baksanız, karbon, azot ve oksijen, demir, gümüş ve altın gibi atomik elementler yok denecek kadar azdır.

antimadde bakımından da doğru olabilir. Yani buralarda antimaddenin bulunmadığını kabul etmek başka bir şey, bunun her yerde geçerli olduğunu ve maddi evrenin tamamının antimaddeyi dışarıda bırakacak şekilde maddeden oluştuğunu varsaymak başka. Uzayın enginliğinde titrek bir ışık olarak gördüğümüz uzak bir yıldızın neden oluştuğunu nasıl bilebiliriz? Dünyadan gördüğümüz şey yıldızların ışığından ibaret ve anti-elementlerin tayfının elementlerin tayfından farklı olduğunu farz etmek için hiçbir nedenimiz olmadığına göre, geceleyin gökyüzüne bakarak yıldızları antiyıldızlardan ayırmamız mümkün değil.

Astronotlar Ay'a ayak bastılar, robot uydular Mars'a indiler ve imha olmadılar, dolayısıyla oralarda antimadde olmadığını biliyoruz. Bütün Güneş Sistemi, Güneş'in yaydığı atomaltı parçacık yağmurunda yıkanıyor. Eğer Güneş bir antiyıldız ve güneş rüzgârı da antiparçacıklardan oluşuyor olsaydı, bu antiparçacıkların gezegenlerin maddesine temas edip imha olmasından çıkan gama ışınlarını tespit edebilirdik. Ama öyle gama ışınları görmüyoruz.

Bu bize, kuyrukluyıldızların antimaddeden oluştuğuna inanan bazı heveslilerin saçmaladığını da gösteriyor.[2] Anti-kuyrukluyıldızların güneş rüzgârından geçerken muazzam miktarda gama ışını yaymaları gerekirdi, zira her bir gramın imhası, Hiroşima'ya atılan atom bombasının iki katı kadar enerjiyi serbest bırakacaktı.[3] Giotto uydusu, Halley Kuyrukluyıldızı'nın içinden görüntüler göndermişti. Eğer anti-kuyrukluyıldızlar veya antimeteorlar varsa bile, Güneş Sistemi'ndeki maddenin milyarda birinden azını oluşturuyorlar.[4]

Yıldızlar patladığı zaman kırıntıları uzaya saçılıyor ve eğer bizim gezegenin manyetik kolları onları yakalayacak olursa, atmosferimizin üstüne kozmik ışın olarak çarpıyorlar. Pozitron kozmik ışınlarda keşfedildiğinden ve an-

[2] Mesela bkz. <http://www.matter-antimatter.com>

[3] Bkz. Ek 1: Antimaddenin Maliyeti.

[4] D. Fargiana ve M. Khloper, *Astroparticle Physics*, 2003, cilt 19, s. 441

tiprotonlar da orada görüldüğünden bu antiparçacıkların çok uzaklarda patlayan antiyıldızların kalıntıları olduklarını düşünmek cazip gelebilir. Aksine, bu pozitronlar ve antiprotonlar, sıradan maddeden meydana gelen yüksek enerjili kozmik ışının üst atmosferdeki gaza çarpmasıyla serbest kalan enerjinin oluşturduğu artıklardır. Eğer bir antiyıldız patlayıp evrene antielementler saçmış olsaydı bunların da orada olması gerekirdi; ama şimdiye dek Dünya'nın atmosferindeki kozmik ışınlarda hiç antielement veya antiçekirdek bulunmadı. Atmosferin üzerindeki ışınlarda antimaddenin aranması işini AMS uydusu ve güney kutbunun üstünden uzayın kıyısına doğru yükselen bir balon yapıyor.[5] Lakin, tek tek pozitronların ve antiprotonların bol bol bulunmasının aksine, başka hiç antimadde bulunmadı, antihelyum kadar basit bir şey bile.

Söz konusu antielementler yolda yok olmuş olabilirler mi? Bu mümkün olmakla beraber buna dair hiçbir kanıt yok. Eğer öyle olsaydı, yıldızlararası ortamda pozitronların elektronlar tarafından imhasından gelen belirgin gama ışını parlamaları olması gerekirdi, böylece antiprotonların imha oluşu kendini ele verirdi. Kabul etmek gerekir ki yıldızlararası uzay neredeyse vakum gibidir ama tamamen boş olduğu hiçbir şekilde söylenemez, dolayısıyla eğer antimadde birkaç ışık yılı yol alacak olursa, er ya da geç, illa ki bir şeye çarpar ve kendini gösterirdi. Ayrıca, göklerin her yanında milyonlarca galaksi var, bunlardan bazıları yakın temas içindeler ve kütleçekiminin gelgite bağlı kuvvetleri bu galaksilerin yıldızlarını çekiştirdikçe galaksiler de birbirine doğru yayılıyor. Eğer birbirine değen bu galaksilerden herhangi biri antiyıldızlardan oluşsaydı sınırlarında belirgin gama ışını patlamaları olurdu ama yine, böyle bir şey hiç görülmedi.

Antimaddeye dair bütün işaretler, kozmik ışınlarla

[5] AMS (Anti Matter Spectrometer / Antimadde Spektometresi). Ayrıca bkz. "The Hunt for Antihelium", *Britannica* online, *Science News*, 21 Mayıs 2007.

atmosfer arasındaki çarpışmalar gibi, sıradan maddenin dahil olduğu çarpışmaların sonucunda, antimaddenin geçici olarak ortaya çıkışının işaretleri gibi görünüyor. Otuz yıl boyunca, Samanyolu galaksimizin merkezinden gelen gama ışınları bize, orada pozitron bulutları olduğunun işaretini verdi. 2008'de, bir uydu üzerinde bulunan gama ışını teleskopu "Integral"le, o pozitronların X-ışını çiftyıldızlarının muhitinde olduğu keşfedildi. Çiftyıldızlar, nötron yıldızları veya karadelikler tarafından canlı canlı yenilip yutulan sıradan yıldızlardır. Ölen yıldızın gazlı malzemesi, yamyama doğru spiral çizer, fazlasıyla ısınır ve elektron-pozitron çiftleri oluşur.[6] 2002'de, bize daha yakın yerde, Güneş'te gerçekleşen büyük bir püskürtü yüksek enerjili parçacıklar üretti, Güneş'in atmosferindeki daha yavaş parçacıklarla çarpışan bu parçacıklar da ortaya pozitronlar çıkardı. Üretilen pozitron miktarının yarım kiloya kadar çıkmış olabileceği hesaplanıyor; eğer bu pozitronların oluşur oluşmaz yok olmasından çıkan enerji toplanabilseydi, bütün İngiltere'nin iki günlük elektrik ihtiyacını karşılamaya yeterdi.[7]

Bütün bu kanıtlar bize, yukarıdakiler gibi üretilen geçici antiparçacıklar istisna olmak kaydıyla, birkaç yüz ışık yılı ötemize kadar çevremizdeki her şeyin maddeden oluştuğunu söylüyor. Bu muazzam bir hacim, orası kesin, ama görünen evrenin ancak çok küçük bir kısmı ediyor. Belki de antimaddenin egemenliğinde olan, henüz keşfedilmemiş çok alan var uzayda. Madde ve antimadde, birbirinden bağımsız, büyük bölgelere ayrılmış olabilirler mi acaba?

Bugün gördüğümüz haliyle evren, sıcak Büyük Patlama'da gerçekleşen ilk oluşumunun soğumuş artığıdır, ve bir şey soğuduğu zaman doğası değişebilir: su donar kar tanesi olur, metal mıknatıslanır. Buna benzer şekilde, birbirinden ayrı madde ve antimadde bölgeleri de

[6] G. Weidenspanter ve diğerleri, *Nature*, 2008, cilt 451, s. 159.
[7] Bkz. 9. Bölüm ve *Energy Consumption in the UK*, a.g.y.

evren soğurken ortaya çıkmış olabilir. Büyük Patlama'nın hemen ardından, bebek evren, maddenin ve antimaddenin sürekli olarak oluştuğu ve imha olduğu, ışıyan bir enerji köpürmesi olsa gerekir. Evren, imha olan madde ve antimaddenin yerine yenilerini üretemeyecek kadar yaşlandı ve soğudu. İhtimalin doğal kanunları gereği bazı bölgelerde maddenin, başka bazı bölgelerde de antimaddenin birazcık daha fazla olmuş olması lazım. Evren daha da soğudukça, maddenin egemen olduğu bölgelerde temel parçacıkların birbirine yapışmasıyla yıldızlar ve elementler ortaya çıkmış olacak, antimaddenin bölgesinde ise antiyıldızlar meydana gelecektir.

Böyle bir ihtimal mevcut olmakla beraber, pek çok evren modeli bu ihtimali dışlar. Uzayın her beş metrekaresinde, ortalama bir proton, sıfır antiproton ve on milyon radyasyon kuantumu vardır. Erken evrene dair, kuramdan, gözlemlerden ve LEP'te yapılan deneylerin sonuçlarından bildiğimiz her şey, Büyük Patlama'nın sıcağında bu sayıların on milyon radyasyon kuantumu, on milyar antiproton ve on milyar artı bir tane de proton şeklinde olması gerektiğini söylüyor. Buradan çıkarılan, evrenin ortaya çıkışının ardından gerçekleşen ilk şeylerden birinin bir Büyük İmha olduğu ve böylece bugünkü madde-egemen dünyanın, geride kalan on milyarda bir tane protondan oluştuğudur. Bugün ortalıkta olan şeylerin hepsi, daha da kocaman bir oluşumun kalıntısıdır.

Eğer öyleyse, bundan da daha önce, antiprotonlarla protonlar arasındaki dengeyi protonlar lehine milyarlarda bir oranında bozacak bir şey olmuş olması gerekir. Normal madde ile antimadde arasında bir şeyin fark etmiş olması gerekir. Bunun ne olabileceğini keşfetmek ve maddeyle antimadde arasındaki dengesizliğin ilk olarak nasıl ortaya çıktığını anlamak için önce, bugün bildiğimiz haliyle maddenin Büyük Patlama'dan nasıl meydana geldiğini anlamamız gerekir.

BÜYÜK PATLAMAYI BAŞA SARMAK

Dünya'daki madde evrenin geneli için tipik olmamakla kalmaz, evrendeki madde, geçen çok çok uzun süre boyunca evrilmiştir de. Dünya'da madde atomlardan yapılmıştır: atom çekirdeğinin elektrik kuvvetiyle soğukta dımdızlak yakalanmış elektronlar. Sıcaklık arttıkça atomlar birbirlerine giderek artan şiddetle çarparlar ve elektronları yerinden oynar. Yaklaşık on bin derecenin üzerine çıktığında, atomlar artık tek parça halinde kalamaz. Elektronları serbest kalıp, "plazma" denen, elektrik yüklü parçacıklardan oluşan bir gazın içinde özgürce dolaşırlar. Sıcaklığın bir milyon dereceyi aştığı Güneş'in merkezinde de durum böyledir; oradaki hidrojen darmadağın olup birbirinden bağımsız elektron ve protonlar haline geçer. Bunlar Güneş'in sahiden de devasa bir nükleer füzyon makinası olarak, kimyasal fırının ilk aşamasında yol almakta olduğunu doğrular.

Deneyler, daha da yüksek sıcaklarda maddenin daha başka yeni biçimler de alabildiğini gösteriyor. Bilebildiğimiz kadarıyla elektronlar bütün sıcaklıklarda aynı kalıyorlar ama protonlar ve nötronlar için aynı şey geçerli değil. Dünyanın soğuk şartları altında, hatta Güneş'in sıcak merkezinde bile protonlar ve nötronlar, gluonların bir arada tuttuğu kuark grupları halinde duruyor. Çok daha yüksek sıcaklıklarda, günümüzde mevcut olan en güçlü hızlandırıcılarda, çalışılabilecek olanın üst sınırlarında nükleer maddeler adeta eriyip gidiyorlar: Atomların on bin derecenin üzerinde elektrik plazmaya dönüşmesi gibi, protonlarla nötronlar da bir milyon derece civarındaki sıcaklıklarda "kuark-gluon plazması"na dönüşüyorlar.

Bugün evrenin hiçbir yeri o kadar sıcak değil, yüksek enerjili hızlandırıcılarda parçacıklar arasındaki çarpışmalarda ulaşılan gelip geçici sıcaklıklar hariç. Elli yıl önce BeVatron'da bile, Güneş'tekinden çok daha yüksek sıcaklıklar elde edilebiliyordu; bugünse Büyük Patlama'nın hemen ardından geçerli olan koşulları canlandırabiliyo-

ruz. Antiproton ve pozitron biçimindeki antimaddenin mükemmel bir araç olduğu alan işte bu alan. Protonlar maddeden oluşan hedeflere, mesela başka protonlara çarptığında, enerjilerinin büyük bölümü malzemenin dağılmasına harcanırken çok az bir kısmı yeni parçaların yapımına kalıyor. Fakat antiparçacıkları ışık hızına yaklaşacak kadar hızlandırın, sonra bunları can düşmanları maddeden oluşan kendileri kadar hızlı bir demetle kafa kafaya çarpıştırın, işte size tam imha: her birinin $E = mc^2$'sinde kilitli bulunan enerjinin tamamı serbest kalır.

6. Bölüm'de tanıştığımız LEP'te yapılan deneyler, Büyük Patlama'nın elektronları ve pozitronları, kuarkları ve antikuarkları ve bir dünya fotonla gluonu ortaya çıkardığını doğruladı. Bugün Güneş'in olduğu sıcaklıktan bile milyarlarca derece daha sıcak olan o çok eski gündoğumunda böyleydi durum. Evren yaşlanıp soğudukça bu temel parçacıklar bir araya gelip, giderek daha karmaşıklaşan yapılar inşa ettiler. Kuark üçlüleri birbirine yapışıp proton ve nötron dediğimiz kalıcı yapıları oluşturdu ve bunların meydana getirdiği plazma topları, yani yıldızlar, elementlerin tohumlarını pişirmeye başladı. Sıcaklık daha da düşüp, bugün oda sıcaklığı dediğimiz derecelere doğru inerken bu çekirdek tohumları yanlarından geçen elektronları tutabildiler, böylece atomlar, kimya, biyoloji ve hayat oluştu.

Büyük Patlama'dan itibaren geçen on dört milyar yıl içinde, tanıdığımız maddenin nasıl oluştuğunu ve evrildiğini iyi anlayabiliyoruz. Bu bilgilerin çoğunu, bizi zamanda geriye götürüp maddenin nasıl oluştuğunu gösteren araçlar olarak antiprotonları ve pozitronları kullanarak edinmiş olmamız ironik. Antiprotonlar ve pozitronlar evrende bolca bulunmuş olsaydı eğer, onlar da aynı kolaylıkla antiyıldızları oluşturmuş olacaklardı kütleçekimiyle, ve antiyıldızların kozmik mutfakları da bu malzemeyi anti-elementleri oluşturacak şekilde pişirmiş olacaktı. Buradaki mesaj, maddeyle antimaddenin birbirine denk çiftler halinde oluştuğu, ama sadece maddenin sağ kalmayı

başarabildiğidir. Evrenin ilk anlarında bir yerde, LEP'teki deneylerde çalışılan saniyenin milyarda birlik diliminden daha erken bir noktada, maddeyle antimadde arasında bir dengesizlik oluşmuş olmalı.

NÖTRİNOLAR

7. Bölüm'de, üç nesilli bir evrende maddeyle antimadde arasındaki asimetrinin doğal olduğunu görmüştük. Önce acayip, sonra da alt parçacıklar için ilk olarak gözlemlendiğinde sansasyon yaratmıştı bu; ama daha çok veri biriktikçe, kuarklar ve antikuarklarla ilgili bu durumların bugünkü evrende maddenin niceliksel toptan egemenliğini açıklamaya yetmediği açıklık kazandı. Yakın zamanda ilgi leptonlara döndü: Elektrona benzer parçacıklar ve onların nötr kardeşi olan nötrinolar. Kuarkların üç nesli için iyi olan, leptonların üç nesli için de iyidir, ve burada da, en azından kuramsal olarak, madde ile antimadde arasında bir asimetri ortaya çıkabilir. Antimaddenin kaybolma nedenini bulma araştırmasının bugün odaklandığı nokta tam da budur: Nötrino, en büyük şüpheli olarak görülüyor.

Nötrinolar evrende en yaygın bulunan parçacıklardandır, ama aynı zamanda en gelip geçici olanlar arasında da onlar vardır. Bildiğimiz bütün şeyler içinde, hiç ol(ma)maya en yakın olanlar onlardır. Hiç elektrik yükü olmayan, azıcık kütleli, sisin içinden geçen kurşun misali dünyanın içinden geçip gidebilen nötrinolar, o kadar hayalet gibiler ki, keşfedileli yarım asır olmasına rağmen onlar hakkındaki bilgilerimiz diğer parçacıklardan hâlâ daha az. Yine de son yıllarda, evrenin kayıp antimaddesinin esrar perdesini onların aralayabileceğine dair tahminler giderek artıyor.

Nötrinolar madde mi yoksa antimadde mi? Hiç elektrik yükleri yok, tıpkı foton ve Z^0 gibi; ama ne madde ne de antimadde olan o bozonların (s. 76) aksine nötrino fermi-

yon; yani Dirac denklemine uyuyor ve maddeyle antimadde arasında ayrım gözetiyor. O halde nötr bir nötrinoyu nötr bir antinötrinodan ne ayırıyor?

Kuarklar ve antikuarklardan oluşan iç yapılarıyla birbirinden ayırt edilen nötron ve antinötrondan farklı olarak, nötrinonun bir iç yapısı yok; nötrino neredeyse ışık hızıyla uzayı kat eden, handiyse imkânı olmayan, spinli bir hiçlikten ibaret. Nötrinonun hemen hemen tek yaptığı spin yapmak olsa da, bu faaliyeti madde mi antimadde mi gizemini çözmeye yetiyor.[8] Elli yıl boyunca bunun, madde olan nötrinoları terslerinden, antinötrinolardan ayırt ettiği zannedildi. Fakat son birkaç yıl içinde ortaya atılan kafa karıştırıcı bir fikre göre, fotonlar (ve diğer bozonlar) *ne* madde *ne de* antimadde iken, nötrinoların *ikisi birden* olan daha ağır versiyonları olabilir! Eğer ki Büyük Patlama'nın kazanında böyle garip şeyler oluşmuşsa, bunların soyundan gelenler, bugün madde ve antimadde dediklerimiz arasında eşitsiz olarak paylaşılmış olacaktır.

Peki nedir bu nötrinonun hikâyesi?

Radyoaktivitenin bazı biçimleri onları üretiyor. Çekirdekte bir proton nötrona dönüşürken, enerjideki değişiklik bir pozitron ve bir nötrino olarak maddeleşiyor. Elektrik yükü ve fermionların net sayısı ("net" demek, madde fermionlar eksi antimadde fermionlar demek) tüm süreçte korunuyor. Pozitron, elektrik yükünün hesabını tutuyor: başta bir tane pozitif vardı bunu da proton taşıyordu, sonda yine bir tane var; bu hesapta, antimadde olan pozitron, madde olan nötrinoyla dengelendiği için net fermion sayısı korunmuş oluyor. Bunun tersinde, bir nötron bozunup ardında bir proton bırakırken de, bir elektronla bir antinötrino ortaya çıkıyor.

Eğer bundan sonra bir nötrino ya da antinötrino mad-

[8] Kuantum kuramı, nötrinonun anlık olarak bir elektron ve bir W^-'ye, benzer şekilde antinötrinonun da bir pozitron ve bir W^+'ya dönüşebildiğini söylüyor. Bu durum onları ayırt etmenin akıllıca bir yolu olabilir ama bu bizim uygulamalı gözlem yapma kabiliyetimizin ötesine geçiyor.

deyle çarpışacak olursa, sürecin tersini üreterek kendi kendilerini ele veriyorlar. Nötrino nötronu bir protonla bir elektrona dönüştürüyor; antinötrino ise protonu bir nötronla bir pozitrona dönüştürüyor.

Nötrinolar spin yapabilir, tıpkı elektronlar gibi. Hikâyemizin daha başlarında görmüş olduğumuz üzere, elektronların elektrik yükü var ve spinleri sayesinde küçük birer mıknatıs oluyorlar; uçarken yönelimleri iki tarafa da olabiliyor, ister kuzey kutbu ister güney kutbu uçuş yönünde ileriye doğru dönük olabiliyor. Bunları iki yöne de dönebilen bir tirbüşon gibi, hem sağlaklara hem solaklara uyan bir vida gibi düşünebiliriz. Fizik jargonu da spinden aynen böyle söz eder: Elektronun solak veya sağlak olarak, saat yönünün tersine ya da saat yönüne spin yaptığını söyleriz. Nötrinoların elektrik yükü yok, dolayısıyla mıknatıslıkları da yok, ama solak veya sağlak spin yapma imkânları yine de geçerli.

Elli yıldır yapılan en iyi deneylerde nötrino sadece solak spin yaparken görüldü, tersine antinötrino da sağlak spin yapıyordu. Tıpkı saatin akrep ve yelkovanının aynadan bakıldığında tersine, yani saat yönünün tersine döner görünmesi gibi, solak nötrino da sağlak gibi görünecektir. Nötrinoya aynadan bakmak onu antinötrino gibi gösterebilir mi? Bu muammayı aşmanın ilk adımı şunu sormaktır: Bunun nötrino mu yoksa antinötrino mu olduğunu, spini dışında nereden anlayabiliriz? Nötrinoyu "parçacık", antinötrinoyu da "antiparçacık" olarak belirlemek için, onu bir elektronun ya da bir pozitronun yanında üreten süreci izlemek gibi başka bir gösterge olmadığı takdirde, imkânsızdır bu.

Bu noktada "antiparçacık" derken ne kastettiğimiz üstüne biraz düşünmeye değer. Negatif yüklü elektronlar ve pozitif protonlar içeren normal maddeye dair bir algımız var. Elektronun pozitif versiyonuna pozitron deniyor, protonun negatif yüklü versiyonuna da negaton denseydi bunlar iki yeni parçacıktan ibaret gibi kalacaklardı; onlara "anti-elektron" ve "antiproton" deyip, ikiz eşlerini imha

etme kabiliyetlerine odaklandığımız zaman başlıyor hayal gücümüz hareketlenmeye. Mesele nötrinolar olduğunda kendi maddi dünyamızda aşina olmadığımız parçacıkları ele alıyoruz. Bir görünüp bir kaybolan hayaletler gibi geçip gidiveriyorlar, kendilerine dair pek bir şey söylemiyorlar ve maddenin içinde hapsolmaları da kesinlikle söz konusu değil. Nötrino ve antinötrinoyu madde ve antimadde parçaları gibi düşünmek ve eskiden âdet olduğu üzere hangisinin hangisi olduğunu elektron ve pozitronla ilgilerine göre tanımlamak yerine, sadece bir nötrino var diyebiliriz: bunun solak spini elektronları, sağlak spiniyse pozitronları tercih ediyor.

Yarım yüzyıl boyunca, nötrinoların hiç kütlesi olmadığı ve uzayda ışık hızıyla, tirbuşon gibi dönerek dolaştıkları düşünüldü. Fakat son beş yılda anladık ki bu doğru değilmiş. Klasik radyoaktiviteyle ya da Güneş'in kalbinde cereyan eden füzyon olaylarında yayılan nötrinoların küçücük bir kütlesi var. Öyle küçük bir kütle ki bu, ne kadar olduğunu henüz hiç kimse ölçemedi, ama elimizde atomaltı boyutunda bir terazimiz olsa, bir elektronu dengelemek *en az* on bin nötrino isterdi.

Yok denecek kadar az miktardaki bu şeyin varlığı, muazzam bir anlam taşıyor. Einstein'ın görelilik kuramı, ışık hızında yol alan bir fermionun ya solak ya sağlak olarak kaldığını söyler; bu fermion bir sağlak bir solak olamaz. Kütlesi olan parçacıklar, ki şimdi nötrinonun da bunlar arasında olduğunu biliyoruz, sola da sağa da spin yapabilirler ve diğer parçacıklarla etkileşimleri sonucu bunların birinden ötekine de geçebilirler. Dolayısıyla nötrinoların sola da sağa da spin yapması mümkündür. Aynı şey antinötrinolar için de geçerlidir.

Bu hayaletsi varlıkların "solaklar madde, sağlaklar antimaddedir" kuralına uyup uymadığı, nötrinoyla antiparçacığının aslında birbirinden ayrı şeyler olmaması bakımından, nötrinonun hem madde hem antimadde, "ikisi de" mi olduğu konuları, cevabı bilinmeyen sorulardır. Bu ihtimale, İtalyan kuramcı Ettore Majorana, mad-

de ve antimaddeyi huzurumuza çağıran Dirac denklemi çıktıktan hemen sonra işaret etmişti. Doğanın "Majorana Nötrinoları"nı kullanıyor olması ihtimali bugün parçacık fiziğinin en heyecan verici konularından biri. Bunun bir nedeni, meselenin madde-egemen dünyamızın kökenini açıklamakta kilit rolü oynayabilecek olması.

Eğer nötrinoların kütlesi olmasaydı yine esrarlı olurlardı ama parçacıkların ve kuvvetlerin genel tanımına, Standart Model'e uyuyor olacaklardı hiç olmazsa. Birtakım radikal fikirlerin doğuşuna, nötrinoların neden bu kadar küçücük, elektron ve pozitrona kıyasla sıfıra bunca yakın, ama yine de hiç yoktan fazla olan bir kütlesi olduğunu anlama çabası neden oldu. Umut vaat eden kuramsal bir çizgi, bilinen hafif nötrinolara ek olarak, henüz keşfedilmemiş çok kütleli Majorana nötrinoları olduğunu savunuyor. Henüz hipotezden ibaret olan bu şeylerin adı da "majoron."

Bu doğruysa, majoronlar bugün bizim için ulaşılmaz olsa da, onlar da diğer her şeyle beraber Büyük Patlama'nın sıcağında oluşmuş olmalı. Günümüzdeki evren için bunun hayret verici sonuçları olabilir.

Eğer majoronlar tükenip gittiyse, şimdiki evren onların soyunu taşıyor. Majoron kuramına göre, büyük ve nötr bir fermion olan majoron "Higgs bozonu" biçiminde enerji yayarak, nötrinoya veya antinötrinoya dönüşebiliyordu. Bunu, nötrinonun üç çeşnisinden herhangi biri veya bunların eşi olan antinötrino çeşnileri için yapabilirdi ve nötrinolarla antinötrinolara eşit olarak bozunması için hiçbir neden yok. Bu da, majoronların Büyük İmha kıyametini aşıp, bugün burada hiçbir şey değil de bir şeyler olmasına sebep vermelerinin bir yoluna işaret ediyor. Bakalım nasıl.

KIYAMET Mİ? TAM DA DEĞİL

Büyük Patlama'nın hemen ardından, evren çok sıcakken, majoronlar belki de ısıl denge halindeydiler –kazandan or-

taya çıkıp sürekli olarak bozunuyorlardı. Ama evren hızla soğuyordu, ve sıcaklık azaldıkça yeni majoronlar yapmaya yetecek kadar enerji kalmadı ve ölüp gidenlerin yerine artık yenileri gelmez oldu. Majoronlar bir daha ortaya çıkmamak üzere kayboldular; onlardan geriye, soylarından gelenler kaldı sadece. Ölü majoronların fosil kalıntısı olarak dengesiz bir nötrino ve antinötrino nüfusu işte bu noktada oluşmuş olabilir.

Kritik olan ilk adım buydu ve nötrinoları oluşturdu, tamam, ama genel olarak maddeyi nasıl büyütür bu? Cevap, soğumakta olan evrende zaman birazcık daha ilerleyip, enerjiden kuarklar ve antikuarklar, elektronlar ve pozitronlar ortaya çıkınca geliyor. Daha önce bahsettiğimiz süreçle nötrinolar ve antinötrinoların elektronlar ve pozitronlarla çarpışması sonucu başka kuarklar ve antikuarklar da oluşuyor. Çok kısa süre sonra bunların daha fazlasını yapamayacak kadar soğuyacak evren, ve her şey Büyük İmha'ya hazır olacak. Şimdi burada bir an durup, majoronların katkısının ne olduğunu anlayalım. Bunların ölümü, nötrinolarla antinötrinolar arasında bir dengesizlik doğurdu; bunun ardından meydana gelen hengâme sırasında, çeşitli parçacıklara ve antiparçacıklara nötrino ve antinötrinoların çarpmasıyla oluştu antikuarklara karşı kuarkların fazlalığı.

Büyük İmha şimdi ne kadar antimadde varsa hepsini ve onları dengeleyen madde parçalarını yok ediyor. Majoronların soyundan gelenler, ortadan kaybolan her on milyar kuark ve antikuarktan geriye bir avuç fazla kuarkın kaldığı, dengesiz bir evren yarattı. İşte bu "kalan sağlar" maddenin egemen olduğu bir evren oluşturmak üzere soğudu, burada protonlar kararlı oldu (en azından, on dört milyar yıllık zaman ölçeğinde) ve bildiğimiz haliyle madde var oldu.

Anlattıklarım, madde ve antimadde arasındaki asimetrinin nasıl olup da olduğunun şu an elimizdeki en iyi kuramıdır. Deneyciler CERN'in Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda yapılan yeni deneylerin verilerinde majoronların kanıtları-

nı arayacaklar, kozmik ışınlardaki araştırmalar da yolda. Fakat onlar başarıya ulaşana kadar, heyecan verici ama kanıtlanmamış olarak kalacak bu kuram. Açık olan şu ki, maddeyle antimadde arasındaki asimetri, evren deneylerin şu anda ulaşabileceği noktadan daha genç ve daha sıcakken ortaya çıktı. Dolayısıyla o koşulları yeniden üreterek laboratuvarda maddeyi antimaddeye dönüştürmek mümkün olmayacak. Antimaddeyi bir enerji ve iktidar kaynağı olarak kullanmak başka bir çözüm istiyor.

9
ANLAŞILAN

ANTİMADDE KURGULARI VE UÇUK KAÇIK BİLGİLER

Milyarlarca yıl önce enerji madde ve antimadde halinde dondu. Bu dünyada, çok, çok uzun zaman boyunca maddenin içine hapis kaldı, ta ki insanlar onun minnacık bir kısmını kimyasallardan ve uranyum atomlarının çekirdeklerinden çıkarmayı öğrenene kadar. Maddenin bazı biçimlerinden enerjiyi çıkarmak, diğer çeşitlerine göre daha kolaydır; tek gereken etkili bir kıvılcımdır. Antimadde bu bakımdan idealdir, çünkü ona sırf dokunmak, herhangi bir şeyin içindeki enerjinin tamamını açığa çıkarmaya yeter. Mesele şu ki antimadde evrenden silinip gideli çok oluyor, en azından buralarda yok; dolayısıyla onun aşırı patlayıcı özelliklerinden faydalanmak için önce onu kendimiz yapmamız gerekiyor.

Temel gerçeklerden biri, $E=mc^2$ yoluyla enerjiden antimadde oluştururken, normal madde ile antimaddenin her zaman birbirine eşit miktarda ortaya çıkması. Eğer bu iki miktarı yeniden bir araya getirip imha ederseniz, baştaki enerjiyi yeniden kazanabilirsiniz, miktarlarda bir eksilme olmasın yeter. Uygulamada harcanan muazzam bir miktar var, ama süreci çok verimli hale getirebilseydik bile, koyduğumuzdan fazlasını asla alamazdık. Mevzu, bu sınırlılıkları aşacak yollar bulmak için daha çok araştırma yapmak ya da daha ileri teknoloji üretmek değil: Doğanın doğası böyle. Günün birinde bir yerlerden bol miktarda

antimadde bulabilirsek, yani dünyadaki petrol rezervleri gibi bir kaynağı olursa bunun, ancak o zaman antimadde pratik bir enerji kaynağı olabilir.

Antimaddenin bir yerlerde hâlâ var olabileceğinin yegâne ipucu, Tunguzka olayının 1908'de bir antimadde topağının dünyaya çarpması sonucu gerçekleştiğine inanmamızdır. O zaman önce, bu önemli olay hakkında gerçekten ne biliyoruz ona bakalım.

Dünya ve diğer gezegenler Güneş'in etrafında birbirinden uzak mesafelerde bulunan neredeyse daire şeklindeki yörüngelerinde yol alırken, başka kayalarla, ölmüş kuyrukluyıldızlardan kalma parçalarla ve yörüngeleri bizimkiyle kesişen asteroidlerle kovalamaca oynarlar. Kuyrukluyıldızlar Güneş Sistemi'nin muhtemelen en eski üyeleridir. Çakıllardan ve buzdan, derin donmuş amonyak ve metandan oluşan bu üyelerin birçoğu, zamanlarının çoğunu bizim onlardan habersiz olduğumuz yerlerde, Plüton'un ötelerinde, uzayın derinliklerinde geçiriyorlar. İçlerinden biri Güneş'e doğru kıvrılmaya başladığında, Güneş'in sıcaklığı buzu buharlaştırıyor. Bunun sonucunda fışkıran gazlar ve tozlar Güneş'in ışığını yansıtarak teleskoplarımıza, hatta bazen çıplak gözlerimize bile görünen parlak bir baş uzatıyorlar ki buna da kuyrukluyıldız saçı deniyor. Kuyrukluyıldızın merkezi yaklaşık bir buçuk kilometre çapında bir ya da iki kaya parçasından oluşurken saçının uzunluğu çoğu zaman dünyanın çapından büyük oluyor, bir uçtan bir uca yüz elli bin kilometreyi bulabiliyor. Güneş rüzgârı, yani Güneş'in yaydığı yüksek hızlı parçacıklar, kuyrukluyıldız saçından ince toz parçaları taşıyor, böylece kuyrukluyıldızın uzun kuyruğu oluşuyor; bu da Bayeux işlemesinde[1] ve tarih boyunca

[1] 1066'da Normandiyalılar tarafından ele geçirilen İngiltere'nin tarihinin, o dönemde, onların gözünden, kumaşa işlenen resimlerle anlatıldığı tarihi eser. Burada, Halley Kuyrukluyıldızı'nın 1066'daki geçişi de resmedilmiş; kuyrukluyıldız, Dünya'dan görülmesinin ardından yenilen Harold'un felaketinin işareti ve Normandiya Dükü'nün oğlu William'ın

yapılmış resimlerde kaydedilmiş olan tipik kuyrukluyıldız biçimini ortaya çıkarıyor.

Kuyrukluyıldızların parçaları, hepsi değilse de büyük bölümü Mars'la Jüpiter arasındaki bir kuşakta yer alan, taşlardan oluşan halkalar meydana getiriyor. Kimileri Güneş'in çevresinde upuzun izler bırakıyor ve Dünya yıllık turu sırasında bunlardan birinin içinden geçerken, kalıntılar atmosferimizde yanıyor; biz de bunu göktaşı yağmuru olarak görüyoruz: 12 Kasım'da izlenen Leonidler[2] ve Ağustos ortasının Perseidleri[3] bunun örneklerinden. Bazen daha büyük parçalar, meteor taşı olarak yere ulaşıyor. Kuyrukluyıldızın en büyük parçaları, diğerleri dağılıp gittikten veya çarpışmalarda yanıp bittikten çok sonra bile yollarına devam edebiliyorlar. Asteroidlerin bazılarını bu gibi yok olup gitmiş kuyrukluyıldız başları meydana getiriyor. Bunlardan birkaçının yörüngeleri bizimkiyle kesişiyor ve çapı bir buçuk kilometreyi bulan kayalar içeriyorlar.

Yaklaşık olarak yüz milyon yılda bir, gerçek bir canavarla karşılaşıyoruz. Altmış beş milyon yıl önce dinozorların ölümüne, Manhattan büyüklüğünde[4] bir asteroidle Dünya'nın çarpışmasının neden olduğu düşünülüyor bugün. Saniyede kırk kilometre hızla Dünya'ya yaklaşan bu asteroid, atmosferi parçaladı, patladı ve bugün Yucatan Yarımadası'nın kuzey ucu olan yere yıldırım gibi düştü. Bıraktığı iz, Chicxulub krateridir.

Bu uç bir örnekti ama benzersiz değil. Boyu bir kilometreyi aşan etki kraterleri Dünya yüzeyinde çil gibi duruyor. Arizona'daki, genişliği bir buçuk kilometreyi aşan, çevresi de dört buçuk kilometre kadar olan meşhur krater,

İngiltere Kralı olacağının habercisi olarak yorumlanmıştır —*çev. notu.*

[2] Aslan (*Leo*) burcundan gelir gibi göründükleri için Leonid adı verilmiş olan göktaşı yağmurları, Türkçede "aslan yağmurları" da deniyor —*çev. notu.*

[3] Perseus takımyıldızı bölgesinde gözlendiği için Perseidler denen göktaşı yağmurları —*çev. notu.*

[4] New York'un Manhattan adasının yüz ölçümü 59 km²'dir —*çev. notu.*

otuz bin yıl önce Dünya'yla petrol tankeri büyüklüğündeki bir kaya parçasının çarpışmasının izi. Dünya'ya tarihi boyunca kayaların isabet ettiğine dair bunca kanıt varken ve bu kanıtlar Dünya'nın her yerindeyken, Tunguzka olayında bu kadar önemli ne vardı da bize bir antimadde kayasının çarptığı fikri ortaya atıldı?

Sürprizlerin en barizi şu: görgü tanıkları olmasa, dünyanın her tarafında sismik hareket kayıtları ve atmosferde bir bozulma olduğuna dair kayıtlar olmasa, bir başka deyişle bu olay çok uzun zaman önce yaşanmış olsa, bir şeyin gerçekten olduğunu gösterecek hiçbir kalıcı iz olmayacaktı. Krater yoktu; uzaydan gelmiş göktaşı malzemesi yoktu; işgal kuvveti her ne idiyse sırra kadem basmıştı. Bu nedenle Tunguzka bir esrar halesiyle çevrili ve bütün bulgular, antimadde Dünya'ya çarpıp tamamen imha olsa olmasını bekleyeceğiniz şeylerle tutarlı. 122. sayfada gördüğümüz gibi, kuyrukluyıldızlardaki antimadde, Güneş Sistemi'ndeki şeylerin çok çok milyarda birini oluşturuyor olabilir, dolayısıyla Tunguzka olayının bir anti-kaya parçasından kaynaklanma ihtimali düşük. Fakat "bir kerelik de olsa bu ihtimal gerçekleşmiş olamaz mı?" diyenler için, daha ikna edici ispatlar sunabiliriz. Adli tıp, suç mahallindeki failin kim olduğunu nasıl gösterebiliyorsa, yüz yıl önce Tunguzka'da ne olduğuna dair pek çok şeyi de ortaya çıkarabilir.

Tunguzka'ya gerçekten de antimadde çarpmış olma ihtimali, bir medya uydurmasıymış gibi hemen yok sayılmadı. Bilim insanları bu hipotezin artılarını ve eksilerini dikkatle değerlendirdiler ve bu değerlendirmelerinde CERN gibi laboratuvarlarda yapılan antimadde deneylerinde yıllardır kazanılan tecrübeye yaslandılar.[5]

Söz konusu deneyler, antiprotonlar maddeyi imha ettiğinde ortaya çıkan ürünler arasında gama ışınları ve pionlar bulunduğunu göstermişti. Birincil sonuç budur

[5] Adli bilim incelemesi Cowan, Atluri ve Libby, *Nature*, 29 Mayıs 1965, s. 861.

ama ikincil ve önemli bir keşif de, bunlar çevrelerindeki malzemeye çarptığında çok sayıda nötronun çıkmasıdır. Yani eğer antimadde atmosferde imha olmuş olsaydı, çevredeki ormanlara bir nötron dalgası kuvvetle çarpacak, bunlar da ağaçlarda çok miktarda radyoaktif karbon-14 üretecekti. Ağaçlardaki halkaların incelenmesi her sene ne kadar karbon-14 üretildiğini gösterir. 1908 için Tunguzka bölgesinde olağandışı hiçbir şey görülmüyor, bu da patlamanın kaynağının antimadde olmasının aleyhinde.

En uygun görünen sonuç, o etkinin bir kuyrukluyıldız parçasından kaynaklandığı. Kuyrukluyıldızın tozdan izi Güneş'ten uzağa doğru olur, dolayısıyla sabahın o saatinde bu iz kuzey batı yönünde olmalıdır, ki bu da, çarpmayı takip eden haftada Rusya ve Batı Avrupa'da geceleyin gökyüzünün olağandışı şekilde parlak olup, doğuda Amerika Birleşik Devletleri'nde ise hiç gece olmamasını açıklıyor.

Olayı izleyen çiftçilerin aşırı sıcak hissetmesine ve çatal-bıçak takımlarının erimesine neden olan radyasyon parlaması da bir kuyrukluyıldızın patlamasıyla uyumlu. İlk tahminler, salınan enerjinin nükleer bir patlamaya benzer olduğunu gösteriyordu, ama havada gerçekleşen çok büyük kimyasal patlamalar, cisimlere çarptıklarında onları ısıtan ve Tunguzka'da görülen etkileri meydana getiren kuvvetli şok dalgaları üretebilir. Kuyrukluyıldızın içinde bulunan kimyasallar bir kere serbest kaldılar mı havayla reaksiyona girerler ve bunlar da enerji üretir. Bunun net sonucu, müthiş miktarda ısı, bir ışık parlaması ve çiftçilerin anlattığı diğer etkilerdir. Hasar, ağaçları deviren, yangınlar çıkaran ve hayvanları öldüren patlamadan kaynaklanıyordu. Kuyrukluyıldız patlamasının, atmosferdeki enerjisini yüzeyde kalıcı hiçbir iz bırakınamacasına kullanması gerekir. Işıklar, tozlar, sismik şoklar, bunların hepsi bir kuyrukluyıldızın atmosfere çarptığında, dünyanın yüzeyinden çok uzaktayken patlayarak eriyip gitmiş olduğu senaryosuyla tutuyor.

Geçmişte de benzer olaylar olmuş olması kesin sa-

yılır, bunlara tanık olan kimse kalmadığı için kanıtlarını bulmamız pek muhtemel değil. Buna rağmen bildiklerimiz, düşerken atmosfere zarar veren ve yere çarptıkları sırada halen daha, kalıcı bir iz bırakacak kadar kütlesi olan taşlar, yani gerçek felaketlerdir. Tunguzka olayı, yarattığı bütün heyecana rağmen, dünya tarihine bakıldığında küçük sayılır. Kuyrukluyıldızlar bir yerlerde dolanıyorlar ve ara sıra onlarla çarpışıyoruz. Çarpıştığımız zaman ortaya çıkan sonuç, Tunguzka'da olanlara epey benziyor. Geçmişte oldu bu, ve gelecekte yine olacak. Tunguzka olayı sahiden de etkileyiciydi, fakat bu etkinin yüz yıl önce bir yaz gününde, hatta başka herhangi bir zamanda bir antimadde kütlesinin bize çarpmasından kaynaklandığını düşünmek için hiçbir sebep yok.

ANTİMADDENİN GÜCÜ

Bitkilerimin büyümesini seyrederken karbon ve oksijen atomlarının havadan çekilip yapraklara aktarıldığını görmüyorum; kahvaltıda yediğim tahıl gevreği esrarlı bir şekilde bana dönüşüyor, sizin yedikleriniz de size dönüşüyor, zira moleküller yeniden yerleşiyorlar; burada atomların borusu ötüyor ve biz, hantal büyük varlıklar olarak ancak kocaman son ürünleri görüyoruz. Atomlar işlerini yaparken enerji açığa çıkıyor. Birkaç saat önce yediğiniz yemek size dönüşüyor, biraz da dışkıya, ama aynı zamanda yaşamanız için ve vücudunuzu sıcak tutmak için enerjiye de dönüşüyor. Vücut sıcaklığı kimyasal reaksiyonların bir sonucu, Einstein'ın $E = mc^2$'si işliyor. Yediğiniz yemeğin kütlesinin (m) küçük bir kısmı, şekil değiştirerek enerjiye (E'ye) dönüşüyor, bu işlemdeki alışveriş hızı, ışık hızının karesi (c^2). Oranlarla konuşacak olursak, size eklenen yemekten, yemeğin ardından dışkıladığınız miktarı çıkaracak olsanız aradaki fark o kadar küçüktür ki (milyarda bir, veya bir kilogramda bir mikrogram kadar), bunu hassas bir şekilde ölçmek için ter zerrelerini ve her

bir hareketimizle dokunduğumuz her yere taşınan karışık DNA'yı hesaplamanız gerekir. Umutsuz bir çaba olur bu.

Kütlenin milyarda birinin enerjiye dönüşmesi, kimyanın, biyolojinin ve hayatın temeli. Barutun ve kimyasal patlayıcıların gücünün kaynağı da bu. Söz konusu işlemlere, atomların dış kısmında kalan elektronlar dahil oluyorlar. Fakat atom çekirdeğinden, bundan çok ama çok daha büyük miktarda enerjiye ulaşmak mümkün. Atom atom, çekirdekten açığa çıkan enerji miktarı, aynı çekirdeğin elektronlarından çıkandan on milyon kata kadar daha fazla.

Yani kimyasal reaksiyonlar maddenin içinde kapalı kalan enerjinin ancak milyarda birini dönüştürebilirken, nükleer reaksiyonlar yüzde 1'e kadarını açığa çıkarabiliyor. Eğer daha büyük oranda maddeyi açığa çıkarabiliyor olsaydık, hedeflerimiz de buna paralel olarak büyürdü. İlke olarak, maddenin içinde gizli olan mc^2'nin tamamını enerji olarak açığa çıkarabiliriz. Antimaddenin bize vaadi budur.

Kimyasalların gücü, her bir tekil atomdan ancak çok küçücük bir miktar enerji açığa çıksa da, maddenin her gramında 10^{24} taneye varan sayıda atom olmasından ve bunların her birinin çıkan enerjiye katkıda bulunabilmesinden kaynaklanıyor. Benzer şekilde nükleer süreçlerde de, toprak kazılarak çıkarılıp işlenebilen bol miktarda uranyum cevheri kullanılıyor; doğa çağlar önce enerjiyi kilitlemiş, biz de şimdi trilyonlarca ve trilyonlarca atomdan bunun yüzde birini açığa çıkarabiliyoruz. Antimadde içinse böyle bir ihtimal yok; bilebildiğimiz kadarıyla antimaddenin tamamı on dört milyon yıl önce imha olmuş. Eğer antimaddeyi kullanmak istiyorsanız önce her bir antiparçacığı üretmeniz gerekiyor, bu da son derece verimsiz bir işlem. Bu doğanın temel sınırlarından biridir: bütün üretim süreçlerinde toplam enerji korunmakla beraber, kullanılabilen enerji miktarı, sürtünmeden ve genel atıklardan dolayı azalır. Böylece, bu kayıplardan dolayı kullanılan enerjinin ancak çok çok küçük bir miktarı sonuçta

antimadde parçacıklarına dönüşür; bu yüzden de antimaddeyi üretmek için harcanan enerji, onu imha ederek kazanılacak olan enerjiden çok daha fazladır.

BOL BOL ANTİMADDE

Farz edin ki birkaç gram antimadde istiyoruz. Amacımız ister Dan Brown'ın kitabı *Melekler ve Şeytanlar*'da[6] olduğu gibi Vatikan'ı bombalamak, ister *Uzay Yolu*'na veya bir güç kaynağına yakıt sağlamak olsun, bunun için gereken antimaddenin sadece nasıl üretileceği ve depolanacağı değil, maliyetinin nasıl karşılanacağı sorusu da cevaplanmaya muhtaçtır. Yanıcı özel kimyasallara, anti-TNT veya benzene gerek yok; enerjiyi açığa çıkaran şey imhanın kendisi olduğu için, mümkün olan en basit antimadde parçacığını üretmek yeter. Her seferinde bir antiparçacık ve antiatom olmalı. O halde soru, bunları depolamak için en iyi düzenleme şeklinin ne olduğudur. Bilim kurgunun fantezileri yerine doğanın gerçeklerinin devreye girip hayalleri yıktığı yer işte burası. Bir gram antiproton yapmak için yaklaşık olarak trilyon kere trilyon tane antiproton lazım; pozitronların bir gram etmesi için trilyon kere trilyonun da iki bin misli lazım. Rakamlar muazzam. Bunun ne demek olduğuna dair bir fikir olması için şu bilgiyi verelim: 1955'te antiprotonun bulunmasından itibaren, CERN'deki LEAR'de ve Fermilab'daki benzer teknolojilerde kullanılan toplam miktar, bir gram etmedi henüz. Buralarda üretilen bütün o antimaddeleri bir araya toplayabilecek olsak ve bunu maddeyle imha etsek, ortaya çıkacak enerji ancak tek bir ampulü, birkaç dakikalığına yakmaya yeterdi. Buna karşılık, o kadar antimaddeyi yapmak için harcanan enerjiyle New York'taki Times Meydanı'nı ya da Londra'daki Piccadilly Circus'u aydınlatabilirdik.

[6] Dan Brown, *Angels and Demons*, Corgi, 2001 [*Melekler ve Şeytanlar*, Altın Kitaplar, 2004]

Bugünün randıman alma seviyesiyle bir gram antimadde yapmak yüz bin asır sürer. O tesisler belirli deneylerde kullanılmak için antiparçacık demetleri oluşturmak üzere tasarlanmıştı tabii ki, büyük miktarlarda antimaddeyi depolamak için değil. Yine de, çok miktarda antimadde üretmek için özel bir makine tasarlayacak olsaydık bile, on milyonlarca yıl öncesinden, üretimi haftalar içinde tamamlayacak bir imalat hattına giden yol çok uzun. Üstelik hepsini yaptığınızda bile bunları depolama meselesi yine önünüzde olacak.

Öncelikle, güçlü bir vakuma, ayrıca elektrik ve manyetik alanlardan oluşan bir saklama kabına ihtiyacınız var. Küçük bir iyi haberimiz var: bunu nasıl yapacağımızı biliyoruz ve antiparçacıkları Penning kapanları içinde haftalarca sakladığımız oldu. Gelgelelim, şişede ne kadar antiparçacık tutabileceğinizin bir sınırı var çünkü bir sürü yüklü parçacık küçük bir hacimde toplandığında sorunlar çıkmaya başlıyor. Aynı işarette elektrik yüküne sahip parçacıkların birbirini itmesi, doğanın kaçınılmaz gerçeklerinden biri; dolayısıyla elinizdeki parçacık sayısı arttıkça bunları manyetik şişenin içine tıkıştırmak zorlaşıyor. Şimdiye kadar başarıyla depolanan en yüksek antiproton sayısı, yaklaşık bir milyon tane; siz heyecana kapılmadan hemen söyleyelim, bir gram yapmak için gereken sayıdan milyar kere milyar defa küçük bu sayı. Babamın, nihai yok ediciyi nasıl saklarsın sorusunun cevabı, antiparçacıkları sızdıran bir şişe değildir.

Bu problemden kaçınmanın bir yolu pozitron ve antiprotonlardan oluşan bir karışımı, antihidrojen atomları şeklinde bulundurmaktır. Pozitif pozitronlarla negatif antiprotonların elektrik yükü birbirini götürür, dolayısıyla elektrik yükünün fazla olması gibi bir endişeye mahal yoktur. Kendimiz de milyarlarca atomdan oluşuyoruz, fakat bunların arasındaki pozitif ve negatif yükler dengeli olduğundan toplamda içimizde cereyan eden elektrik faaliyetinden haberimiz olmuyor. Aynı şey antimadde için de geçerli olabilir. Fakat işin inceliğini görüyor musunuz? Bu

hapishaneyi meydana getiren manyetik ipler ve elektrikten duvarlar sadece elektrikle yüklü mahkûmları içeride tutabiliyor. Mahkûmlar teker teker yükleri birbirini götürecek şekilde çiftler oluşturduğunda hapishane duvarlarının gücü kaybolup gidiyor; herhangi bir şeyi elektromanyetik bir şişede tutabilmek için şişeyle o şeyler arasında bir kuvvetin kalması lazım. Antihidrojen atomları elektrik ve manyetik alanlar için nötr, böylece serbest kalıp dolaşmaya çıkıyorlar, şişeden kaçınca maddeyle karşılaşıp, vadeleri gelmeden imha oluyorlar.

İç elektrik yüklerin etkilerinin yine de hissedildiği toplu madde örnekleri de var. En tanıdık olanı, elektrik yüklerin hareketinin manyetik etkiler yarattığı manyetizma; toplamda negatif ve pozitif yükler birbirini sıfırlasa da, elektronların net hareketi, bir ordunun yürüyüşe geçmesi gibi olabilir, teker teker küçücük parçacıklarının kendi mıknatıslık etkileri bir araya toplanabilir. Aynı şey antimadde için de olacaktır; nasıl ki bizim madde dünyamızda demir manyetikse, antimadde dünyasında da antidemir manyetik olabilir. Fakat aynı yüke sahip çok sayıda parçacık nasıl şişedeki elektrik kuvvetlerle yarışıyorsa, manyetik topluluk da manyetik alanlarla etkileşecektir. Bir miktar antihidrojen atomunu, hacim içinde hızla değişen manyetik alanlara kıstırmak mümkün olabilir; böylece pozitronla antiprotonun farklı manyetik etkileri atomu tutacaktır, ama bu henüz birkaç anti-atom için dahi başarılabilmiş değil.

Bir başka ihtimal de pozitronyum üretmek: bir pozitron, bir de elektron. Bu ihtimal son yıllarda ABD ordusunun da ilgisini çekti.[7] Buradaki sorunlar, bu atomun da antihidrojen gibi elektrik bakımdan nötr olmasından ibaret değil, bir de bileşenlerinin karşılıklı olarak birbirini yok etmesi var. Bir pozitronyum atomunun ömrü saniyenin binde birinden daha kısa, yani Mars seyahatinin ener-

[7] Mesela bkz. <http://www.niac.usra.edu/files/library/meetings/fellows/Mar_04/Kenneth_Edwards.pdf>

ji deposunda kullanılmaya çok uzak. Yine de ABD hava kuvvetleri, ilgili araştırmalara paraları boca edecek kadar umutlu bu konuda. Ne peşindeler acaba? Sıra geldi, antimaddenin gerçeklerine ve hayallerine dair aydınlanmaya.

FANTEZİ PEŞİNDE: ANTİMADDE BOMBASI

1. Bölüm'de ABD hava kuvvetlerinin antimadde silahları geliştirdiğine dair haberleri görmüştük. Şimdi antimadde gerçeğini daha iyi tanıdığımızdan, enerjiyi depolamak için antimaddeyi kullanamayışımızla aynı sebepten dolayı, antimadde bombası yapma imkânı da olmadığını anlayabiliyoruz: Yeterince antimaddeyi, yeterince yüksek yoğunlukta biriktiremeyiz. Enerjiyi antimaddeye dönüştürme sürecinin verimsizliği sağ olsun, antimaddenin askerî kullanımına dair endişe duymamıza gerek yok. Bir örnek olarak, 1 gram antimaddeniz olduğunu varsayın.[8] Eldeki teknoloji ile, yılda bir nanogram (gramın milyarda biri) kadar antimadde üretmeniz mümkün[9], maliyeti de onlarca milyon dolar. Açık ki bir gram antimadde üretmeniz yüz milyonlarca yıl sürer ve karşılığı aşağı yukarı bin trilyon ABD doları olur. Bu ABD ordusu için bile fazla iddialı bir hedef.

Malzemeyi yapmanın bedeli ve problemleri bir yana, onu depolamanın ek zorlukları da var. Dediğimiz gibi, "aynı yükler birbirini iter", böylece bir gram saf antiproton veya pozitronun elektrik yükünü bir yerde kapalı tutmak için o kadar güçlü bir kuvvet alanı kurmanız gerekir ki, bu alanı bozmanız gerekecek olursa, yüklü parçacıklar dağılırken ortaya çıkacak patlamanın kuvveti, bunların imhasının getireceğinden çok daha büyük olacaktır. Derdiniz bomba yapmaksa, antimaddeyi boşverip onu bir yerde tutmak için üretmeniz gereken teknolojinin ar-

[8] İmhası, küçük bir atom bombasınınkine denk enerji açığa çıkaracak olan miktardır bu; bkz. Ek 1.

[9] Bkz. Ek 1: Antimaddenin Maliyeti.

dındaki gücü kullanmanız bence daha yerinde olur, hem antimadde yapmanın zahmetine, maliyetine ve bunun başlıbaşına imkânsızlığına da girmemiş olursunuz.

ABD hava kuvvetlerinin antimadde silahlarına dair araştırmaları hakkında Kenneth Edwards'un 2004'te yaptığı heyecan verici konuşmayı ne yapacağız o zaman?[10]

Edwards'un konuşmasının ardından gazeteciler Eglin Hava Üssü ile temas kurdular, üstekiler başlangıçta çok olumlu karşılık verdi. Temmuz 2004'te Eglin Mühimmat Komutanlığı'ndan Rex Swenson "bu teknolojiden herkesin büyük heyecan duyduğu"nu doğruladı. Swenson Edwards'la yapılacak röportajları ayarlamaya hazırdı ama bir ay içinde Hava Kuvvetleri ve Pentagon'daki daha üst düzey görevliler tarafından iptal edildi bu girişimler. *San Francisco Chronicle*'ın haberine göre Edwards röportaj vermekten defalarca vazgeçti; her seferinde de bu konuda amirlerinden kesin talimat aldığını bildirdi. Resmî çizgiyi ele veren alıntı, "kamuya açık bir röportaj vermemiz gereken noktada değiliz." Komplo teorisyenlerinin dünyasında bu, ordunun yeni numaraya dair haberlerin yayılmasını engellemeye çalıştığının "kanıtı." Gerçekteyse açıklama çok daha basit: Antimadde silahı filan yok; proje bir hayalden ibaretti.

ABD Hava Kuvvetleri antimadde silahları geliştirmiyordu, Edwards'un 2004'teki konuşması bir yana. Fakat Pennsylvania State University'de (Pensilvanya Eyalet Üniversitesi) antiprotonlar üzerine küçük bir araştırma projesine fon vermişlerdi, gizleyip saklamaksızın. Söz konusu projeyi iyi biliyordum zira bundan birkaç sene önce CERN'de, LEAR'deki antiprotonlarla ilgili deney projelerini değerlendiren bir komitedeydim. Oradaki bilim insanlarından biri Penn State'in[11] fizik bölümünün eski başkanı olan Gerald Smith'ti, Edwards'un sunumunda onun adı-

[10] Bkz. 1. Bölüm ve <http://www.niac.usra.edu/files/library/meetings/fellows/Mar_04/Kenneth_Edwards.pdf>

[11] Pensilvanya Üniversitesi'nin kısa adı —*çev. notu.*

nın geçtiğini fark ettim. Dr. Smith Penn State'ten emekli olmuş, 2001'de New Mexico, Santa Fe'de Positronics Araştırma şirketini kurmuştu. İsimden belli olduğu üzere vurgu antiprotonlardan pozitronlara kaymıştı, onlar daha erişilebilirdi. Konunun, reklamı yapılan uygulamaları arasında enerji depolama, kimyasal ve biyolojik ajanların imhası, nükleer tıp ve itici güç yer alıyordu.

2004'te muhabirlerin soruları üzerine Smith, ekibinin araştırmaları için ABD Hava Kuvvetleri'nin üç milyon dolardan fazla destek verdiğini doğruladı. Ancak çok miktarda antimaddenin üretildiğine ya da depolandığına dair hiçbir şey gösterilmemişti, hatta ciddi bir iddia dahi yoktu; enerji için gerekenin son derece önemsiz bir kesimini oluşturacak kadar küçük meblağlar için bile söz konusu değildi bu.

Antimadde konusunun önde gelen uzmanlarından biri olan, CERN'de çalışan Rolf Landua durumun ironik oluşunu şu ifadeyle anlattı: "Bilim insanları atom bombasının gerçek bir ihtimal olduğunu, bu bomba gerçekten yapılıp patlatılmadan yıllar önce anlamışlardı; o zaman kamuoyu bu işe çok şaşırdı, hayretten hayrete düştü. Antimadde bombası ise, onun hakkında daha çok şey bilmek isteyen kamuoyu tarafından hayal edildi; fakat biz çoktandır biliyoruz ki bu hiçbir şekilde pratik bir araç değil."

ANTİMADDE: TAM GAZ İLERİ

Antimaddenin üretimi ve depolanmasına dair çetrefilli sorunlar olması, bununla uzay araçlarına yakıt sağlamak üzerine araştırma yapanların hevesini kırmadı. Fikir şu: imha, gama ışınları üretiyor, ışınlar yakıt üreteçlerine gönderilip orada muazzam sıcaklıklara yükseltiliyor, sonra da roketin alt kısmında kuvvetle dışarı veriliyor. Ya da aynı ışınlar yakındaki bir yüzeyden silikon karbür buharlaştırıyor ve buradan çıkan gaz da itici gücü oluşturan eksoz oluyor. Bunun kimyasal yakıtlara karşı avantajı,

ağırlıktan kazanma potansiyeli. Satürn'e gönderilen Cassini-Huygens uydusunun ağırlığının yarısından fazlasını yakıtı ve oksitleme tankları oluşturuyordu, fırlatma aygıtı ise uydunun kendisinden tam yüz seksen kat daha ağırdı. Antimadde lehine propaganda yapılırken, Mars'a insanlı bir uzay aracı göndermek için gereken üç tonluk kimyasal itici güç yerine, bir gramın yüzde birinden az, yani bir pirinç tanesi büyüklüğünde antimadde kullanılabileceği söyleniyor.

Ama bu gibi umutları olanlar, o antimaddeyi kapalı tutmak için zorunlu olan teknolojinin ağırlığı hakkında o kadar konuşmuyorlar. Büyük miktarda antiproton veya pozitron demek büyük yoğunlukta elektrik yükü demek, ki bunun da bir yerde kapalı tutulması gerekiyor. Mars seyahati için gerekli olacak meblağın milyonda birini depolamak için bile, tonlarca elektrik kuvvetle yakıt tankının duvarlarını itmek gerekiyor. Bu gibi problemler bir yana, NASA'nın uzay yolculuğu için, ABD Hava Kuvvetleri'ninse insansız küçük bir savaşçı hava aracı için taşıdığı umut buydu.

1990'larda Penn State'ten Gerald Smith ekibi LEAR'daki antiprotonlara odaklanmıştı. 1997'de hedefleri değişmiş, roketlere itici güç oluşturmak için antimadde üretmek, onu tutmak ve taşımak üzerine çalışıyorlardı. Yayımladıkları bir makalede[12] yeterli miktarda antimadde ile bunları yapabilmeye yönelik bir geliştirme programının ana hatlarını çizdiler. Planda, ekibin tasarladığı, bir milyar taneye kadar antiprotonu on güne kadar taşıyabilen bir kapan da vardı; "10^{14} antiprotonu 120 güne kadar, yani Mars'a gidip gelinecek süre boyunca taşıyabilecek (...) bir kapanın prototipi" diye sunuyorlardı bunu. "Bu amaca ulaşmakta kendinden emin" olduklarını da belirttiler. Stratejileri, söz konusu seviyeye varıncaya kadar

[12] "Productionand trapping of antimatter for space propulsion applications"; M. Holzscheiter ve diğerleri; Penn State Raporu; <http://www.engr.psu.edu/antimatter/ documents.html>.

ölçek büyütmekti ki işin zorluğunun hakkı verilmeden de olsa, "basit olmayacağı" kabul ediliyordu; ardından da yakıtı nakletmek için böyle bin tane kapan kullanılacaktı.

Bu, yeni bir teknoloji yönünde test edilmiş kanıtlanmış bir yoldan ziyade, böyle çetrefil bir işin nasıl ele alınacağına dair bir işletme planlamasına benziyordu. On sene sonra buna benzer hiçbir şey elde edilmiş olmadığı gibi, CERN'de yapılan herhangi bir işin bu amaçlara yöneldiği de yoktu. Bugüne dek bir kapanda depolanabilmiş maksimum antiproton sayısı bir milyon, günümüzde yapılan araştırmaların hedefiyse hassas sonuçlar elde edilebilmek amacıyla küçük sayıları elde tutabilmek.

Pozitronlar antiprotonlardan daha hafifler ama onları yapmak daha kolay. 1950'lerde Alman roket mühendisi Eugen Sanger, itiş gücünü elektron-pozitron imhasıyla üretilecek gama ışınlarından alacak bir foton roketi tasarımı ortaya atmıştı. Fikri bilim kurgu alanında heyecan uyandırdıysa da gerçekte geliştirilmeye kalkılmadı hiç; bu kısmen, yeterli sayıda pozitron üretme ve saklama konusundaki sorunlardan kaynaklanıyordu. Gelgelelim, Almanya'da ve ABD, Massachusetts'te yaşayan üç fizikçi tarafından önerilen bir kuramdan ilham alan Dr. Smith şimdi pozitronlardan güç kaynağı yapma ihtimallerini araştırmakta.

Son yıllarda, antiprotonları işin içine katmadan pozitronların yükünü nötr hale getirmek amacıyla, Santa Fe'de kendi Positronics Araştırma Enstitüsü'nde onları pozitronyum atomlarının içinde tutuyor. Pozitronyum normalde kendi kendini imha etmekten ancak bir mikrosaniyeliğine kaçabiliyor ama Ackermann, Shertzer ve Schmelcher'in öngörüsüne[13] göre, elektrik ve manyetik alanların belirli bir birleşimi pozitronyumu halter gibi uzatarak onun yaşam şansını büyük ölçüde artırabilir. Dr Smith'e göre bu fikirler, "[uzatılmış] pozitronyumun öm-

[13] J. Ackermann, J. Shertzer ve P. Schmelcher, *Physical Review Letters*, 1997, cilt 78, s. 199; ve *Physical Review*, 1998, cilt A58, s. 1129.

rünün [uygulamada] sonsuz"[14] olması anlamına gelebilir.

Bu bir kere gösterilip yayımlanana ve doğrulana kadar aşırı heyecanlanmak için çok erken. Fakat kuram açık; elektrik ve manyetik alanların pozitronyum atomunu gerçekten de uzatabileceğini öngörüyor. Elektrik alan, elektronla pozitronu birbirlerinden uzaklaştırma eğiliminde, manyetik alansa bunları yerlerinde tutmaya yardım ediyor. Bu şartlar altında elektronla pozitronun arasındaki mesafe, normalde bir atomda olduğundan binlerce kat fazla olabilir, çarpışıp birbirlerini imha etme ihtimalleri de çok azalmış olur.

Buraya kadar fena değil. Fakat bana öyle geliyor ki günün birinde bir veya birkaç pozitronyum atomunda bunun başarıldığının doğrulanması bile, trilyonlarca elektron ve pozitron gerektiren bir güç kaynağı geliştirmek bakımından pek bir şey ifade etmiyor. Çok sayıda atomun öğelerini bu şekilde birbirlerinden ayrı tutmak, pozitif ve negatif yük bulutlarını birbirinden ayrı tutmaya yetecek kadar kuvvetli elektrik ve manyetik alanlar istiyor. Bu zorluk bizi başladığımız yere geri getiriyor, ve yine, bütün girişimlerin önünü tıkayan aynı sorunla karşılaşıyoruz: Bir güç kaynağı için gereken çok miktarda yük nerede tutulacak? Bu mesele çözülene kadar, uzatılmış pozitronyumun bize sunduğu bir şey yok.

Bu arada ABD Hava Kuvvetleri'nin antimaddeyle çalışan hava aracı umutları, öğrencileri harekete geçirdi. Eglin Hava Üssü ile bağlantılı bir araştırma projesinde, böyle bir aracı tasarlamanın zorlukları şöyle özetleniyor:[15]

> Antimadde imha enerjisi için pozitron enerji dönüşümü kullanılacak, bu enerji araca itici güç ve saldırı gücü kazandıracaktır. Eglin Hava Üssü bu prototip için şu performans özelliklerine ihtiyaç duyar: Hava aracının kanat açıklığı 3 fiti [0,91 metre] geçemez. Hava aracının durma kabiliyeti olması gerekir, bu da uçuş sırasında havada

[14] Aktaran: Mark Anderson, *National Geographic News*, 4 Mayıs 2006.
[15] Bkz. <http://www.eng.fsu.edu/ME_senior_design/2004/team7>.

> durabilmeyi gerektirir. Savunma gereksinimlerinin karşılanması için, emniyetli bir mühimmat simülasyonu olarak hava aracından boya topları atılacaktır.

Bu birkaç cümlede, ABD Hava Kuvvetleri'nin güç ve silah olarak kullanılmak üzere antimaddeyi geliştirme ümitlerini açıkça görüyoruz.

Pentagon iktidarının merkezinden çok uzakta yer alan, fon sağlamaktan sorumlu bir görevlinin konuşması nasıl oldu da dünya medyasına antimadde silahlarının kapıda olduğu şeklinde haberler yaptırdı? Edwards'un konuşması ve basın açıklaması bu tür silahların radyoaktif artıklar bırakmayacağı tezini destekledi. Dan Brown'ın *Melekler ve Şeytanlar* romanı o esnada çok satanlar arasında toplumsal farkındalığa hitap ediyor ve "ne kirlilik ne de radyasyon" yaratan antimadde bombasından bahsediyordu. Brown'ın *kurgu* eserinin ardındaki genel varsayımlarla, bir sene içinde ABD Hava Kuvvetleri sözcüsünün ve medyanın gerçek diye şişirdiği şey arasında tekinsiz paralellikler var.

ANTİMADDE: GERÇEK SANILAN KURGU

Birçok insanın CERN'den haberi bile yoktu. Haberi olanların büyük bölümü de orayı *World Wide Web*'in doğum yeri olarak tanıyor, daha az sayıda kişi merkezin amacını, buranın Avrupa'nın parçacık fiziği deney merkezi olarak kurulduğunu biliyordu. Fakat Dan Brown'ın romanının çıkmasıyla CERN, antimaddenin üretildiği, Cenevre'deki laboratuvar olarak meşhur oldu. CERN hakkındaki bu iki ifade doğru; romanda yer alan, halkın antimaddeye dair bilgisini büyük ölçüde şekillendiren diğer şeyler ise doğru değil.

Brown'ın kitabı, "GERÇEK" başlığı atılmış bir önsözle başlıyor. Bunun içinde "Antimadde ne kirlilik yaratır ne de radyasyon (...) son derece kararsızdır [ve] ne olursa olsun herhangi bir şeyle temas ettiği anda alev alır

(...) antimaddenin tek bir gramı, yirmi kilotonluk atom bombasının enerjisini taşır" cümleleri yer alıyor. ABD Hava Kuvvetleri'nin bundan başka bilgiye ihtiyacı yoktu. CERN'e "kısa süre önce (...) ilk antimadde parçacıklarını" yaratmış olma payesi verildi; artık asıl soru şuydu: "bu son derece havai madde dünyayı kurtarmak için mi yoksa (...) gelmiş geçmiş en ölümcül silahı yapmak için mi kullanılacak?" Buraya kadar okuduğunuza göre cevabı biliyorsunuz.

O "gerçekler" en iyi ihtimalle yanıltıcı, hatta yanlıştı; ama Brown'ın romanının o kadar popüler olması pek çok insanın bunların doğru olduğuna inanmasına neden oldu. Gördüğümüz üzere, antiparçacıklar seksen yıldır yapılıyor, birkaç tane antihidrojen atomu son on sene içinde CERN'de yapıldı; bir yerde bulundurmayı bırakın, gözle görebileceğimiz kadar çok miktarda atomun bir arada bulunması anlamında antimadde ise hâlâ hayal dünyasına ait ve muhtemelen hep de orada kalacak. Buna rağmen son beş senede yaptığım konuşmaların hemen hemen hepsinde sorulan sorularda antimadde silahlarından duyulan kaygı görülüyor. Cin şişeden çıktı bir kere, yerine geri gönderilebilir mi bilemiyorum ama bu bölümün, o soruların, sorulmalarını artık gereksiz kılacak kadar tatmin edici olarak cevaplanmasına yaramasını diliyorum.

Melekler ve Şeytanlar'da antimaddenin deneysel üretiminin Yaratılış'a denk sayılması olay örgüsü bakımından o kadar önemlidir ki bilim insanı, Papa'ya "iyi haber"i verir, haber onlarca yıllık olsa da. Evrenimize ne yol açmış olursa olsun, kurgu dünyasında da gerçek dünyada da CERN'de maddenin oluşturulmasına yakın bir şey değildir bu. "Hiçbir şeyden bir şey... Yaratılış'ın bilimsel olarak mümkün olduğunun uygulamadaki kanıtı"[16] değildir. Olsa olsa, ilahiyatla dalga geçmek, biliminse dışına çıkmaktır.

Büyük Patlama, bütün enerjinin, bütün maddenin ve bilinen evrenin tamamının, uzay ve zamanla beraber

[16] Brown, 2001, Corgi baskısı, s. 105.

yaratılışıdır. Muazzam, benim kavrayışımın ötesinde bir şey bu[17]. O tekil olayı yeniden yaratamayız, ama evrenin şimdiki hali içinde, o andan sonra ne olduğunu inceleyebiliriz.

Maddeye ve antimaddeye dönüşmüş olan şey, enerji, çok büyük miktarda enerjidir. Enerji "hiçlik" değildir; ölçülebilir bir şeydir ve onu kullandığınızda elektrik idaresi sizden o enerjinin parasını ister. Antimaddeyi, madde eşiyle birlikte oluştururken, bunlar birbirini yok ettiği zaman ne kadar enerji açığa çıkacaksa o kadar enerjiyi onlara vermek zorundasınız. Maddeyi yoktan var edemezsiniz. Şimdi işlemi tersine çevirelim; antimadde maddeyle buluşsun ve tekrar ışıma enerjisine dönüşsün. Bu enerji "bir hiç" değildir asla, *Melekler ve Şeytanlar* da bunu kabul eder; zira kitapta Vatikan'ı yok edecek olan, bu enerjinin patlamasıdır. Antimaddenin gücünün gösterilmesi amacıyla romanın kahramanı CERN'deki bir laboratuvara davet edilir, boşaltılmış bir şişenin içinde antimadde gezinmektedir, bilim insanı antimaddeyi maddeyle temas ettirerek imha gücünü gösterir.

ABD Hava Kuvvetleri'nden bazılarının, bu kurgu eseri, içindeki pek çok çelişkiyi görmezden gelerek, ordunun antimaddeye dair uygulamalı rehberi kabul ettiği yer, bu kısım olsa gerek. Kitabın önsözü, "ne kirlilik ne de radyasyon üretir ve bir damlacığı New York'un bir günlük enerji ihtiyacını karşılamaya yeter" diyerek antimaddeyi ideal enerji kaynağı olarak tanıtıyor. Antimadde maddeden uzak kaldığı müddetçe radyasyon üretmeyebilir, ama o takdirde bomba üreticilerine de, enerji şirketlerine de verebileceği bir şey yoktur. Bu "havai" şeyi kullanmak için onu maddeyle imha etmeniz gerekir, o zaman da antimadde, içinde kıstırılmış enerjisini, gama ışınları gibi radyasyon olarak açığa çıkarır. Laboratuvardaki gösterimin anlatımında da bu radyasyonun varlığı kabul edilmiştir, zira kahramana örneğe çıplak gözle bakmaması ve "gözlerini

[17] *The Void*'de [Boşluk] (Oxford, 2007) bu konuyu ele almaya çalıştım.

koruması" salık verilir.[18] Gerçekte gama ışınları gözle görünebilen tayftan o kadar uzaktırlar ki görünmezler, ama hücrelere ciddi hasar verebildiklerinden, vücudun geri kalanını korumak daha iyi bir öğüt olacaktır.

"Yan ürün yok, radyasyon yok, kirlilik yok"[19] cümlesi, gama ışınlarına karşı dikkatli olunması uyarısından ancak birkaç paragraf sonra yazılmış olmasıyla, ironiktir. ABD Hava Kuvvetleri bundan öyle büyülenmişti ki silahlarda antimadde kullanmakla ilgilendiklerini övünerek duyururken "Nükleer Kalıntı Yok" diyorlardı. Medya, "pozitron bombası, ordunun Soğuk Savaş'tan bu yana hayal ettiği ileri adım, 'temiz' süperbomba olabilir"[20] diye, borazan çalarak yaydı haberi, *Melekler ve Şeytanlar*'da kullanılan kelimeler seçilmemişti ama 2000'de yazılan tuhaf bir kurgu, 2004'te gerçekmiş gibi sunuluyordu.

Medyada yer alan haberler pozitron silahlarından söz ediyor; peki *Melekler ve Şeytanlar*'daki bomba neden yapılmış? Gösterim cihazı pozitronlardan oluşuyor;[21] daha sonra bombanın kendisi antihidrojenden yapılmış gibi görünüyor.[22]

Antihidrojene duyulan ilginin ilham kaynağı, "antimaddeyi çok daha büyük miktarlarda oluşturmayı vaat eden ileri bir antimadde üretim tesisi" diye yeniden kurgulanan CERN'deki Antiproton Hız Kesicisi (AD) olsa da, AD aslında LEAR'dan daha az antiproton üretir. Antimadde biliminde önemli bir dönüm noktası ve antihidrojen üretiminde varılan en ileri nokta olan Antiproton Hız Kesicisi gerçekten de harika bir araçtır, ama endüstriyel miktarlarda antimadde üretmek için gereken şeylerin yanında devede kulak bile olamaz. Bu üretim mümkün olsaydı bile

[18] *A.g.e.*, s. 103.

[19] *A.g.e.*, s. 102.

[20] *San Francisco Chronicle*, 4 Ekim 2004. *Melekler ve Şeytanlar*'daki ifade aynen kullanılmamış.

[21] Brown, 2001, Corgi baskısı, s. 98.

[22] "Kimyasal işareti, saf hidrojeninkiydi", s. 156, Brown, 2001, Corgi baskısı.

antimadde teknolojisinin "gezegeni kurtaracağı"[23] düşüncesi yanıltıcıdır. Daha baştan antimaddeyi üretmek için enerjiyi harcamamız gerekmesi bir yana, daha önce söylediğimiz gibi, bu iş yapılırken bol miktarda enerji de boşa gider. Oluştuklarında neredeyse ışık hızına sahip olan antiparçacıkların terbiye edilmesi, bunun için yine bol miktarda enerji harcanması gerekir. Antiparçacıkların çoğu kaybedilir ve onları üretmek için harcanan onca enerji de böylece boşa gitmiş olur.

Gereken enerjiyi doğanın zaten yatırmış olduğu, böylece bizim için kullanıma hazır vaziyette olan büyük miktarda antimadde bulabilseydik, yakıt sorunumuz gerçekten de çözülebilirdi. Ama kendi yakıtımızı kendimiz yapmak zorunda olduğumuz müddetçe, akümülatörden daha iyisini yapamıyoruz, ki akümülatör de yapımına harcanandan daha azını üretebiliyor. Malesef antimadde, "gezegeni kurtaracak" panzehir değil. Neyse ki, "en ölümcül silah" da değil.

ANTİMADDE FABRİKASI[24]

Antimadde, enerji şirketlerinin ilgisini çekecek kadar büyük miktarda enerjiyi asla üretemeyecek gibi görünüyor, ama atomdan daha küçük alanlarda, antimaddenin imhası tıp, teknoloji ve temel bilimler için paha biçilmez değerde. Işık hızına yakın hızdaki iki demet kafa kafaya çarpışıp karşılıklı olarak imha olduğunda, toplam enerji çok küçük olsa da, atom çekirdeğinden küçük bir hacim için yoğunluğu muazzam oluyor.

Herhalde bütün kültürler, kendi kökenlerini, yokluktan nasıl olup da bir şeyin var olabildiğini merak etmişlerdir. Büyük Patlama'nın neden olduğunu hâlâ kimse

[23] *A.g.e.*, s. 106.

[24] Yazar burada yine, "fabrika" anlamındaki İngilizce *factory* kelimesini, "gerçek" anlamına gelen *fact*'i gösterecek şekilde *fact-ory* diye yazarak kelime oyunu yapıyor --*çev. notu.*

bilmiyor, ama bildiğimiz her şey onun enerjisinden doğdu. Bugün yaptığımız deneylerde evrenin ilk anlarını simüle edebilmemizi, evren saniyenin milyarda biri yaşına daha gelmeden önce nasıl olduğunu anlamaya başlamamızı sağlayan, önce antiprotonlar sonra da pozitronlarla, işte o antimadde demetleri oldu. İnsan zekâsının, atomların bir araya gelip düşünebilmesinin, bizi yapan evrene merakla bakıp, Büyük Patlama'daki kökenlerimizi bize gösterecek makineler yapabilmiş olmasının, müthiş bir başarısıdır bu. Bütün bunları mümkün kılan araç, antimaddedir. Gerçeklikte bunlar mümkün olurken, kurguya kimin ihtiyacı var ki?

Ek 1:
Antimaddenin Maliyeti

Bu kitabın birkaç yerinde, bir şeyi yapmak için şu veya bu miktarda antimaddeye ihtiyacınız olur gibi beyanlarda bulundum. Bunun nasıl hesaplandığı ilginizi çekebilir diye tüm hesapları buraya koymaya karar verdim, zira buraya kadar okuduğunuza göre biraz aritmetik yapmak hoşunuza gidebilir.

Öncelikle, antimadde Hiroşima'ya atılan atom bombası örneğiyle nasıl ölçülür? Gerçekten de bir gramı 20 kilotonluk [= 20 bin tonluk] bomba kadar eder mi? Aslında, daha da çok eder!

"TNT'nin bir kilotonu" 4 milyon milyon ($4{,}2 \times 10^{12}$) jul (4 "TeraJul") eder. Jul bir enerji ölçü birimidir, kütleyle ve hızın karesiyle orantılıdır; saniyede bir metre hızla ilerleyen bir kilogram kütlenin kinetik enerjisi bir juldür.

Bir gram, bir kilogramın binde biridir: 10^{-3} kg. Işık hızı 300.000 km/s yani 3×10^8 metre/saniyedir. $E = mc^2$ olduğuna göre, 1 gram $E = 10^{-3} \times 9 \times 10^{16}$ kgm^2/s^2 demektir bu da 9×10^{13} jul ya da 90 "TeraJul" eder. 4,2 TeraJul bir kiloton TNT'ye eşit olduğuna göre, 90 TeraJul, 21,4 kiloton TNT eder. 1 gram antimadde içine hapsedilmiş bulunan enerji işte bu kadardır. Maddenin 1 gramında da bir o kadar enerji olduğuna göre, *yarım* gram antimadde Hiroşima'ya atılan bombanın etkisini elde etmeye yeter. Ancak bu hesapta, enerjinin tamamını bir kere açığa çıkarabileceğimizi varsayıyoruz. Onu yapmak ve depolamak için girilen onca zahmet ve yapılan onca harcamanın ardından atom atoma imha süreci patlamak yerine fos da çıkabilir.

Antimaddenin diğer yönü, bir gramını, hatta gramın milyarda biri olan nanogramını yapmanın ne kadar sü-

receğidir.

1 gram antiproton, $6x10^{23}$ tane antiproton demektir, 1 gram pozitron ise 10^{26} tane pozitrondur. Antiprotonların en yoğun kaynağı, ABD'deki Fermilab'dadır. Fermilab'ın rekoru, Haziran 2007'de bir aydan uzun zamanda 10^{11} tane antiproton üretmiş olmaktır. Bir yıl boyunca her ay bu kadar antiproton üretebilseler, aşağı yukarı 10^{15} antiproton üretmiş olurlar, yani gramın milyarda 1,5'u, ya da 1,5 nanogram kadar. Bu antiprotonlardan bin tanesinin birini bile elde tutabilsek ve 1,5 nanogram maddeyle imha etsek, açığa çıkacak enerji 270 jul olacaktır; bu da zayıf bir ampulü 5 saniye açık tutmaya yeter.

CERN AD saniyede ortalama 40.000, yılda yaklaşık 10^{13} tane antiproton üretir. Bu, Fermilab'ın yaptığının sadece yüzde 1'idir. Fakat bu üretimin amacı farklıdır, CERN'de üretilenler daha soğuktur, antihidrojen atomları üretmek üzere pozitronlar yapmak ve onları kapanda tutmak amacına özel olarak yapılmışlardır. Üretim hızının sonunda yükseltilmesi, on, hatta yüz katına çıkması mümkün olabilir, ama o zaman bile dünyanın antiproton üretimi ancak 3 nanogram olacaktır. Tarih boyunca üretilmiş bütün antiprotonları bir araya toplasanız ampul birkaç dakika yanabilir; ki bu bile gerçekçi değildir, çünkü o antiprotonlar çoktan kaybolup gitti. Saklanabilen antiproton sayısı bununla karşılaştırıldığında çok küçük kalıyor.

Almanya'da Darmstadt'ta bir fizik tesisi önümüzdeki birkaç yıl içinde Fermilab ölçeğinde üretim yapabilir. Bunların hepsini de bir araya getirseniz dünyanın toplam antimadde üretimi, antiprotonu uzay yolculuklarına yakıt olarak düşünen iyimserlerini umut ettiği gücün çok çok gerisinde kalır.

Antihidrojene gelince, CERN'de pozitronlarla birlikte kapanda tutulan antiprotonlar saniyede birkaç yüz tane antihidrojen yapabilir. Bu hızla bir nanogram anithidrojen yapmak bin asır sürer. 1 gram yapmayı bırakın, çocukların oynadığı balonları dolduracak miktarda antihidrojen üretmek, evrenin tüm ömründen daha uzun zaman alır.

Ek 2:
"Dirac Kodu"

Dirac'ın elektronun enerjisi için yazmak istediği denklem, iki parçanın toplamı olacaktı: elektronun duran haldeki enerjisi mc^2 ve hareket etmesinin buna yaptığı katkı. İkincisini pc diye yazmak âdettir, p momentumu, c de ışık hızını gösterir. Bu kitabın konusu açısından önemli değil ama başka kitaplarla karşılaştırmak istersiniz diye ben de bu gösterimi kullanacağım. Einstein, bu üçü arasındaki ilişkinin Pisagor'un hipotenüs kanunundaki gibi olduğunu göstermişti:

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$$

Dirac'ın yapmak istediği, enerji E'yi basitçe bu denklemin karekökü olarak yazmak değil, onu bir (mc^2) niceliğiyle bir (pc) niceliğinin sade toplamı olarak yazmak, başka hiçbir şeyi araya katmamaktı. Bunun için ikisinin de göreli miktarını hesaplaması gerekiyordu.

İmkânsız görünen bu işe ne diye kalkıştığını anlamanın kolay yolu, kenarlarının birbirine oranı 3:4:5 olan tanıdık diküçgeni düşünmek; bu oranlar sırasıyla mc^2, pc ve E'yi temsil ediyor. Bunların kareleri 9 ve 16, toplamda 25 eder. Demek ki Dirac'ın yapmaya çalıştığı şey enerjiyi, yani "5" olanı, diğer ikisinin, bir "3" miktarı ile bir "4" miktarının toplamı olarak yazmak ve sonra bunların karelerini, Einstein'ın kurduğu hipotenüs ilişkisiyle karşılaştırmaktı: $25 = 9 + 16$.

Bilmediğimiz "4" ve "3" miktarlarına sırasıyla a ve b diyebiliriz. Dolayısıyla mesele,

$$5 = 4a + 3b\text{'yi} \qquad (1)$$

yazmak ve sonra iki tarafından karesini alıp,

$$25 = 16a^2 + 9b^2 + 12a \text{ x } b + 12b \text{ x } a \qquad (2)$$

ifadesini, Einstein'ın

$$25 = 16 + 9 \qquad (3)$$

biçimiyle eşitlemekti. Bunun çözümü $a^2 = 1$; $b^2 = 1$ ve $a \text{ x } b + b \text{ x } a = 0$'dır; bunu bu şekilde yazmak meselcyi hemen gözler önüne serer: Karesi 1 olup, birbiriyle çarpımı 0 çıkabilen hiçbir sayı yoktur! Seçtiğimiz 3, 4, 5 sayılarına ait bir özellik değildir bu; mc^2, pc ve E için hangi sayıları koyarsanız koyun böyledir durum. Genel olarak şu iki denklemi birbirine eşitlemeye çalışıyorsunuz:

$$E^2 = b^2(mc^2)^2 + a^2(pc)^2 + a \text{ x } b[(pc) \text{ x } (mc^2)] + b \text{ x } a[(mc^2) \text{ x } (pc)] \qquad (4)$$

ve

$$E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2 \qquad (5)$$

ve sonucun da her zaman $a \text{ x } b + b \text{ x } a = 0$ olması gerekiyor. Bu da, elektronun enerjisinin mc^2 ile kinetik enerji pc'nin sade bir toplamı olup, hem de E^2 için Einstein'ın kurduğu üçgen ilişkisini sağlaması mümkün değil, demek.

Ya da en azından, a ile b sıradan sayılarsa mümkün değil.

Bu bilmeceyi sayılarla çözemezsiniz ama matrislerle çözebilirsiniz. Matrislerin nasıl işlediğini öğrenmek istiyorsanız bir sonraki kısmı okuyun. Eğer asıl olarak bunun ne anlama geldiğiyle ilgileniyorsanız, o kısmı atlayabilirsiniz.

MATRİSLER DIRAC'IN ELİNDEKİ MESELEYİ NASIL ÇÖZER?

Matematiksel olarak tanımlanırken gerçek sayılardan daha fazlasını gerektiren pek çok olgu var. Bu gibi sayı genelliklerinden biri, "matris". Matrislerdeki sayılar, toplama ve çarpma için kendi kuralları olan sütunlar ve satırlar şeklinde düzenleniyor. Sıradan sayılar, sol üst köşeden

sağ alt köşeye giden köşegen boyunca aynı sayıyı taşıyorlar; mesela iki satır ve iki sütundan oluşan matrislerin dilinde, sıradan sayı 1, $\begin{pmatrix}1 & 0\\0 & 1\end{pmatrix}$ şeklini alıyor; $\begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}$ ve $\begin{pmatrix}1 & 0\\0 & -1\end{pmatrix}$ ise normal sayılar değiller.

Toplama ve çarpma kurallarını bir kere öğrendiğimiz zaman matrislerle de sıradan sayılarla olduğu gibi kolayca oynayabiliyoruz. Toplamada sürpriz yok:

$$\begin{pmatrix}a & b\\c & d\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}A & B\\C & D\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}a+A & b+B\\c+C & d+D\end{pmatrix}$$

Çarpma ise bu kadar bariz değil: kesişen satır ve sütunlardaki bütün öğelerin çarpımını gerektiriyor:

$$\begin{pmatrix}a & b\\c & d\end{pmatrix} \text{X} \begin{pmatrix}A & B\\C & D\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}aA+bC & aB+bD\\cA+dC & cB+dD\end{pmatrix}$$

Matrislerin nasıl çarpıldığına dair bu bilgiyle beraber, buyurun size Dirac'ın elindeki problemi çözecek iki matris örneği:

$$a = \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix} \qquad \text{ve} \qquad b = \begin{pmatrix}1 & 0\\0 & -1\end{pmatrix}$$

Yukarıdaki kuralları kullanarak a^2'nin de b^2'nin de 1 ettiğinin sağlamasını yapabilir ve a x b, ardından da b x a çarpımlarını bulabilirsiniz. Bulacağınız sonuç şu olacaktır:

$$a \times b = \begin{pmatrix}0 & -1\\1 & 0\end{pmatrix} \quad \text{ve} \quad b \times a = \begin{pmatrix}0 & 1\\-1 & 0\end{pmatrix}$$

Dolayısıyla eğer a ve b bu matrislerse, a x b + b x a = 0 olur ve Dirac'ın kuramı işler.

NEGATİF ENERJİ

Dirac'ın elindeki meselenin göründüğünden biraz daha karışık olduğu ortaya çıktı, zira hız gibi momentumlar,

hareketin üç boyuttan herhangi birindeki taşıdığı özelliklerdir. Kuzeye veya doğuya veya çapraz veya bunların herhangi bir kombinasyonunda yol alıyor olabilirsiniz; hızınızı tanımlamak için birbirinden bağımsız bu üç boyutun her birindeki hızınızın miktarını bilmemiz gerekir. Dirac'ın uğraştığı *pc* terimi aslında üçlüdür: üç boyutun her birindeki *pc* miktarı. Yani tek bir *a* niceliği değil aslında üç nicelik söz konusudur; üç boyutu *x, y, z* diye adlandırırsak, bulmamız gerekenler *a*(*x*), *a*(*y*) ve *a*(*z*)'dir ve bunların her biri bağımsız olarak kendi karelerinin birliğe (1) eşit olmasını, her çiftin çarpımının da yok (0) olmasını sağlamak zorundadır.

Dirac'ın neyi başardığını anlamak için önce elektronun hiç kütlesi olmadığını farz edelim, yani Dirac sadece *a*(*x*), *a*(*y*) ve *a*(*z*)'yi bulmak zorunda olsun. Bu problemin çözümü olan matrisler, az önce gördüklerimizdir:

$$a(x) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad a(y) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{ve} \quad a(z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$ [1]

Bunların hepsi mükemmel olacaktı eğer şu pürüz olmasaydı: elektronun kütlesi vardır ve yukarıdaki hesapta mc^2 terimi gözardı edilmiştir. Kolaylıkla yapılacak bir tahmin, mc^2'nin çarpıldığı *b*'nin de bir matris olması ki bu doğru, fakat burada bir incelik var: İki satırlı ve iki sütunlu matislerle *a*(*x, y, z*) üçlüsü için problemi çözdük ve bunu yaparken mümkün olan bağımsız matrislerin hepsini kullandık ("bağımsız" demek, diğerleri ya sıradan sayıdır ya da bu üçünün çarpımları veya toplamlarıdır, demek). Özel olarak bizim *a*(*z*)'miz, daha önce *b* dediğimiz şeyden başkası değildir, o halde şu anda *b*'nin rolünü ne oynayabilir? mc^2'nin çarpanı olan *b* niceliği ancak bir sayı

[1] Dikkatli okurlar, burada yazılan a(y)'nin karesi alındığında +1 değil -1 ettiğini fark etmişlerdir. Dirac'ın çözümü bunun *-i* ile çarpımını gerektirir, burada *i*, -1'in karekökü: *i*'nin karesi = -1, matrisin karesi = +1'dir.

olabilir, mesela 1, böylece en başta kurtulmaya çalıştığımız sorun gene gelir ayağımıza dolanır: istenmeyen (mc^2) x (cp) terimlerinden nasıl kurtulacağız; elimizde sadece Einstein'ın $(mc^2)^2 + (cp)^2$ kombinasyonu kalması için ne yapmak lazım? Bunun için b'nin bir matris olması gerekir ve "iki satır, iki sütun" matrislerinin imkânları tükenmiştir. Dirac, denklemin çözülebilmesi için her şeyi iki katına, "dört satır ve dört sütun"dan oluşan matrislere çıkarması gerektiğini fark etti.

Negatif enerji hikâyeye bu noktada dahil oluyor, onun üzerinden de antimaddeye giden temel adım atılıyor.

Lise seviyesindeki cebir bize yeter.

$$\frac{1}{2}\left[(a + b)^2 + (a - b)^2\right] = a^2 + b^2 \qquad (6)$$

denklemi a x b işleminin olduğu bir terim içermediğine göre,

$$\frac{1}{2}\left[(cp + mc^2)^2 + (cp - mc^2)^2\right] = (cp)^2 + (mc^2)^2 \qquad (7)$$

denklemi de (mc^2) x (cp) terimini içermeyecektir, daha da iyisi, bu denklem Einstein'ın $(mc^2)^2 + (cp)^2$ kombinasyonunu verir.

Dirac'ın yaptığı, $mc^2 = 0$'ı veren iki sütunlu matrisleri alıp bunları iki kere kullanmak oldu, biri $b = +1$, biri de $b = -1$ için.

İkiye iki matris olarak yazıldıklarında bu sayılar $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ ile $\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$'dir. Ardından bunları, artık basit bir sayı olmayan dörde dört matrislerde birleştirdi Dirac:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Böylece dört sütunlu matrislere gitmek zorunda kaldı fakat bunun da, pek enteresan olarak, simetrik bir biçimi vardı. $a(x)$, $a(y)$ ve $a(z)$, birbirine zıt iki köşede duracak,

alttaki yarı üstteki yarının ters işaretini taşıyacaktı (bunun, pozitif-negatif enerji durumlarını dikkate aldığı anlaşıldı) ve diğer yerlerde hiçbir şey olmayacaktı. Dördüncü γ matrisinde, *b* üst tarafta +1, alt tarafta -1 olur, yukarıda yazdığımız şey de budur. Bu deseni, şekle bakarak kavramak daha kolaydır. Eğer bunların nasıl uygulandığını da öğrenmek istiyorsanız, fizik dersi alın! Nihayet her şey yerli yerine oturmuştu.

DIRAC'IN GAMA MATRİSLERİNİN GÖSTERİMİ

$$\gamma(x) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad \gamma(y) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

i, -1'in karekökü'dür.

$$\gamma(z) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \qquad \gamma(4) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Kaynakça

Close, F. *Too Hot to Handle: The Race for Cold Fusion,* W. H. Allen, 1990.

———, *The Void,* Oxford, 2007.

Coveney, P. ve R. Highfield. *The Arrow of Time,* W. H. Allen, 1990.

Dirac, P. A. M. *The Principles of Quantum Mechanics,* Cambridge, 1998.

Energy Comsumption in the UK. bkz: <http://berr.gov.uk/files/file11250.pdf>

Farmelo, G. *The Strangest Man.* Faber and Faber, 2009 [*Paul Dirac,* çev. Zeynep Alpar, İş Bankası Kültür Yayınları, 2014].

Fraser, G. *Antimatter: The Ultimate Mirror,* Cambridge, 2000.

Vonnegut, Kurt *Cat's Cradle.* Holt, Rinehart & Winston, 1963 [*Kedi Beşiği,* çev. Sinan Fişek, Dost Kitabevi, 2002].

Wilson, D. *Rutherford; Simple Genius.* Hodder and Stoughton, 1983.

Dizin

AA Bkz. Antiproton Akümülatörü
ABD Hava Kuvvetleri 18, 19, 20, 21, 145, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 153
acayip parçacıklar 82
Ackermann, J. 148
AD Bkz. Antiproton Hız Kesicisi
ağır ışık 76
alfa 65, 73, 82
Anderson, Carl 29, 61, 62, 64, 66, 67, 68
antiatom 31, 141
antielektron 55, 56
antihidrojen 29, 78, 99, 100, 101, 117, 142, 143, 151, 153, 157
antikaon 115
antikuark 80, 84, 85, 105, 112, 116
antinötrino 128, 129, 131, 132
antinötron 79
antiparçacık 56, 77, 84, 100, 103, 104, 105, 119, 129, 141, 142
antiproton 29, 56, 77, 78, 79, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 106, 117, 120, 121, 122, 124, 126, 129, 137, 141, 142, 143, 144, 145, 147, 148, 153, 155, 157
Antiproton Akümülatörü 92, 93, 100
Antiproton Hız Kesicisi 100, 101, 153
ATHENA 100, 101
atom 19, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 47, 51, 53, 55, 58, 59, 64, 74, 75, 80, 81, 82, 83, 100, 101, 107, 108, 110, 121, 125, 140, 143, 144, 146, 151, 154, 156
atomaltı 30, 58, 81, 121, 130
atom bombası 55, 156
atom çekirdeği 75, 83
atomik elementler 51, 120
atom tayfı 33
ATRAP deneyi 101
azot 65, 69, 120

Becquerel, Henri 68
BeVatron cihazı 78, 79, 125
BeVatron Komisyonu 79
Bikini Mercan Resifi 18
bilimkurgu 18
biriktirme halkaları 89
Blackett, Patrick 64, 65, 66, 67
Bohr, Nils 33
Bose, Satyendranath 73
bozon 73, 74, 75, 76, 78, 112, 128
Budker, Gersh 90, 91, 97
Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı 89, 102
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı 106
Büyük İmha 12, 124, 131, 132
Büyük Patlama ix, 12, 17,

24, 25, 31, 40, 80, 93, 96, 103, 119, 123, 124, 125, 126, 128, 131, 151, 154, 155

Caltech (California Teknoloji Enstitüsü) 61
Cassini-Huygens uydusu 147
CERN (Avrupa Atom Araştırmaları Kurumu) ix, x, 21, 38, 87, 89, 91, 92, 96, 97, 98, 99, 100, 104, 114, 132, 137, 141, 145, 146, 148, 150, 151, 152, 153, 157
Chamberlain, Owen 79
Chicxulub krateri (Yucatan Yarımadası) 136
CP simetrisi 113
CPT teoremi 112
Cronin, Jim 113
Curie, Marie 68

Dehmelt, Hans 94, 95, 96, 97
Dirac Kodu 44, 48, 158
Dirac, Paul 29, 30, 35, 36, 43, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 64, 66, 67, 70, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 84, 95, 101, 116, 120, 128, 131, 158, 160, 161, 162, 165
DNA 25, 120, 140
döteron 70

Edwards, Kenneth 19, 145, 150
Eglin Hava Üssü (Florida, ABD) 19, 145, 149
Einstein, Albert 27, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 47, 49, 50, 67, 72, 81, 99, 130, 139, 158, 159, 162
elektromanyetik alan 74
elektromanyetik kuvvet 73, 74, 75, 76
elektron 19, 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 110, 111, 115, 117, 118, 119, 120, 122, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 140, 143, 148, 149, 158, 159, 161
evren 104, 123, 124, 131, 132, 133, 155
eylemsizlik kanunu 36

Fermi, Enrico 73
Fermilab (Illinois, ABD) 21, 141, 157
fermion 73, 76, 105, 128, 130, 131
Feynman, Richard 95, 107, 108, 111, 112
Fitch, Val 113
Forster, E. M. 45
foton 32, 34, 40, 46, 54, 70, 72, 74, 76, 107, 127, 128, 148

Gabrielse, Gerald 97, 98
galaksi 122
gama 13, 20, 22, 23, 44, 50, 53, 56, 58, 59, 61, 62, 67, 68, 69, 71, 85, 86,

119, 121, 122, 123, 137, 146, 148, 152, 153
Gayger sayacı 65
Giotto uydusu 121
Glaser, Donald 81
Glashow, Sheldon 91
gluon 75, 125
görelilik teorisi 27, 31, 36, 37, 38, 39, 40, 45, 47, 49, 81, 99, 130
graviton 74
güçlü (baskın) kuvvet 75, 86
gün ışığı 23, 71

Halley Kuyrukluyıldızı 121, 135
hareket kanunları 30, 109
helyum 23, 51, 70, 71, 73, 75, 97
hidrojen 17, 20, 22, 25, 26, 47, 55, 56, 71, 101, 117, 120, 125
Higgs bozonu 131
Hiroşima 17, 18, 24, 121, 156

İkinci Dünya Savaşı 88, 107
İlyiç, Vasili 14

Joliot-Curie, Frederic & Irene 68
jul (enerji birimi) 16, 39, 156, 157

kaon 78, 85, 112, 115
Kapitsa, Pyotr 55
karbon 17, 26, 69, 120, 138, 139
karbon-14 138
Kedi Beşiği (Kurt Vonnegut) 13
Klein, Oscar 47
kozmik ışınlar 58, 60, 61, 63, 65, 78, 121
kuantum 30, 31, 32, 33, 34, 36, 38, 41, 43, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 53, 74, 95, 111, 120, 128
kuantum alan kuramı 74
kuantum dalgaları 33
kuantum mekaniği 31, 46, 47, 48, 52, 53, 120
kuark 57, 75, 77, 80, 83, 84, 85, 86, 104, 105, 112, 113, 114, 115, 116, 125, 126, 127, 128, 132
Kulik, Leonid 15
kuyrukluyıldız 135, 136, 138
kütleçekimi 28, 73, 74, 98, 99, 101

Landua, Rolf ix, 146
Lawrence, Ernest 88
lazer 98
LEAR Low Energy Antiproton Ring / Düşük Enerjili Antiproton Halkası) 97, 100, 141, 145, 147, 153
LEP (Large Electron Positron Collider / Büyük Elektron-Pozitron Çarpıştırıcısı) 89, 90, 102, 103, 104, 106, 110, 111, 115, 124, 126, 127

Majorana, Ettore 130
Majorana nötrinoları 131
majoron 131, 132
manyetik alan 60, 66, 88, 89, 94
manyetizma (mıknatıslık) 77, 143
Mars 121, 136, 143, 147
matris 48, 49, 50, 159, 160, 161, 162
Melekler ve Şeytanlar (Dan

Brown) ix, 141, 150, 151, 152, 153
Mendeleev, Dmitri: Periyodik Tablo 51, 82
meteor 15, 136
mikrodalga arkaplanı 12
Millikan, Robert 29, 61, 62, 64, 67
muon 78, 105

Nagazaki 17
NASA 18, 19, 147
negatif enerji 47, 50, 51, 52, 53, 54, 77, 111, 163
Newton, Isaac 11, 30, 31, 36, 37, 38, 43, 109
Nobel Ödülü 30, 61, 68, 79, 88, 89, 92, 96, 113
nötrino 70, 127, 128, 129, 130, 132
nötron 23, 53, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 80, 82, 83, 91, 104, 123, 126, 128, 138
nötron yıldızları 123

Occhialini, Giuseppe 64, 65, 66, 67
Oppenheimer, Robert 55, 56

Penning, Frans 94, 95, 97, 142
Penning kapanı 94, 95, 97
Penn State 145, 146, 147
PET (Positron Emission Tomography / Pozitron Yayıcı Tomografi) 22, 70
Piccione, Oreste 79, 80
pion 73, 75, 85, 86, 117
Pisagor teoremi 39, 47, 158
Planck, Max 32
Positronics Araştırma Enstitüsü (Santa Fe) 146, 148
pozitron 12, 19, 22, 23, 24, 29, 40, 52, 54, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 84, 87, 89, 90, 91, 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 108, 110, 111, 117, 118, 121, 122, 123, 126, 128, 129, 130, 132, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 153, 157
pozitronyum ix, 71, 143, 148, 149
proton 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 51, 53, 55, 56, 58, 62, 64, 67, 68, 70, 71, 73, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 84, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 93, 98, 101, 104, 105, 106, 110, 117, 119, 120, 124, 125, 126, 128, 129, 132

radyasyon 12, 13, 20, 32, 58, 64, 72, 74, 91, 124, 138, 150, 152, 153
radyasyon parlaması 138
radyoaktivite 61, 68, 91
Rubbia, Carlo 91
Rutherford, Ernest 64, 82, 83, 165

Saddam Hüseyin 20
Salam, Abdus 91
Samanyolu 123
San Francisco Chronicle 18, 20, 145
Sanger, Eugen 148
Satürn 147
Schmelcher, P. 148

Schrödinger, Erwin 47, 49
Science News Letter 64, 67
Segre, Emilio 79
Semenov, Sergey 14
Shertzer, J. 148
siklotron 88
sis odası 59, 64, 65, 81
Skobeltsın, Dmitriy 59, 60, 61, 66
Smith, Gerald ix, 145, 146, 147, 148
soğuk füzyon 20
spin 36, 47, 49, 128, 129, 130
SPS (Süper Proton Sekrotronu) 91, 92
Standart Model 131
Stueckelberg, Ernest 107, 108, 112
Swenson, Rex 145

tau 105
teleskop 59
Thomson, J. J. 35, 82
Touschek, Bruno 87, 88, 89, 90
Tunguzka olayı 16, 135, 137

uranyum 68, 134, 140
uzay yolculuğu 101, 147

van der Meer, Simon 92, 93, 102
Voltaire 103

Weinberg, Steven 91
Westminster Kilisesi 43, 44, 50
Wideroe, Rolf 88, 89
Wiegand, Clyde 79
World Wide Web (Dünyayı Saran Ağ; internet) 104, 150

yıldız 25, 26
yin ve yang 12, 112
Ypsilantis, Tom 79

zayıf kuvvet 75, 76, 91
Zeeman, Peter 35, 49

Antimadde, maddenin tuhaf, altüst olmuş gölgesidir; bir şeyin tıpatıp aynı olan eşi, aynadaki aksi gibi sol, sağ olur, pozitif negatife döner. Döküm alındığında geride kalan kalıp gibi, madde ve antimadde gerçekliğin *yin ve yang*'ıdır. Herhangi bir cisim, antimadde ikiziyle karşılaşacak olsa, bunların birbirini tamamlayan özellikleri bir ölüm dansı içinde birbirini götürürdü. Bu kitap size bilim tarihinin en ilgi uyandırıcı konularından birisi olan antimaddenin hikâyesini anlatacak. Antimadde nedir, nasıl keşfedildi, onu nasıl üretebiliriz ve bize ne gibi imkânlar sunup ne tür tehditler oluşturur? Kitap, uzay maceralarının yakıtı ve silah olarak antimadde hakkındaki spekülatif iddialara ilişkin gerçekleri de ortaya koyuyor.

FRANK CLOSE (1945-), parçacık fizikçisi ve bilim yazarıdır. Oxford Üniversitesi'nde fizik profesörüdür. Ayrıca Oxford'daki Exeter Kolej'de öğretim üyesidir. Başlıca kitapları arasında şunlar sayılabilir: *Lucifer's Legacy: The Meaning of Asymmetry* (2000); *Particle Physics: A Very Short Introduction* (2004); *The Void* (2007); *Nötrino* (2009; Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, 2015); Nothing: *A Very Short Introduction* (2009); *The Infinity Puzzle* (2011).

ISBN 978-605-4787-56-1