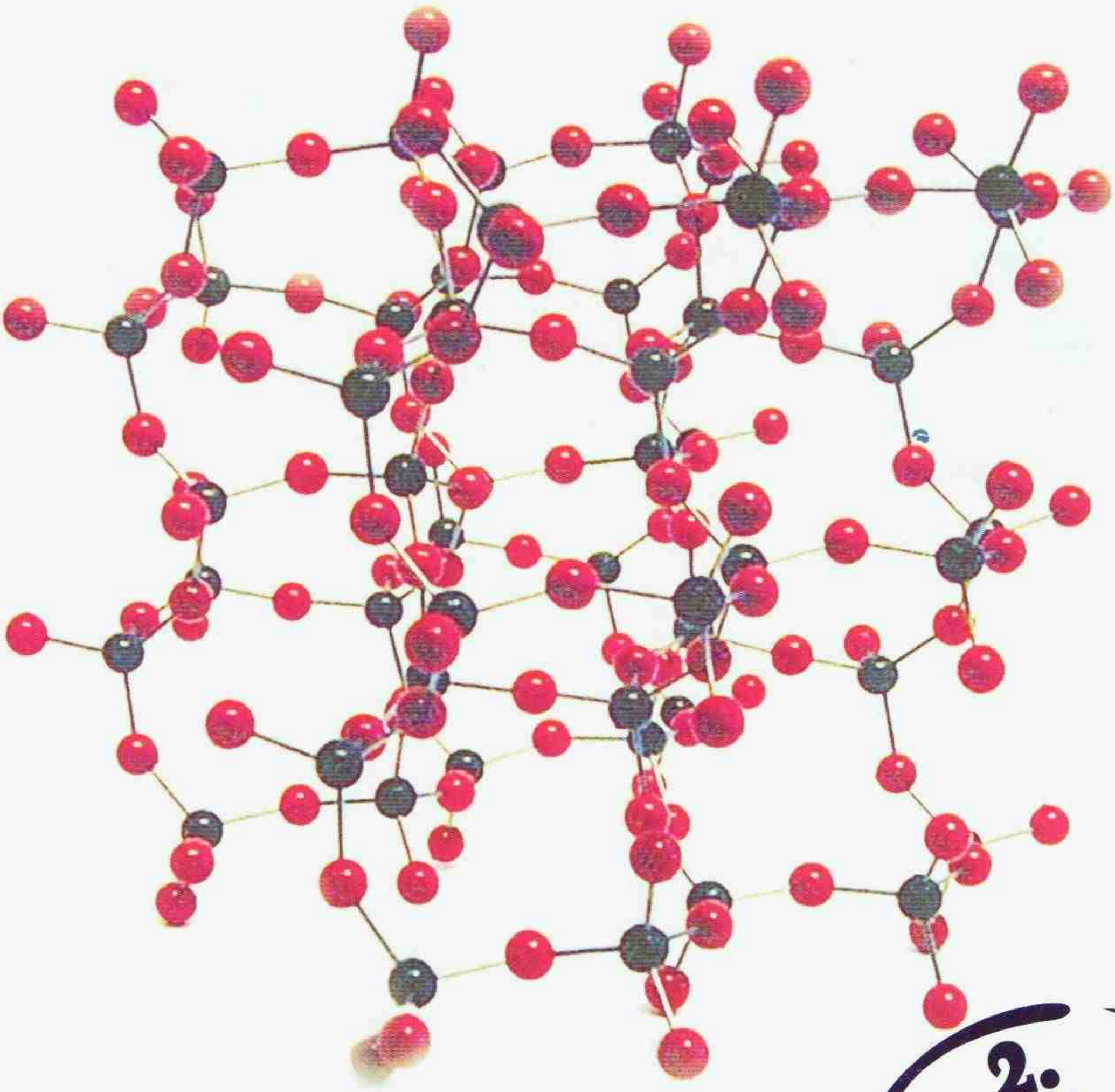
CLAUDE ALLÈGRE

Herkese Biraz Bilim

Çeviren: Ahmet H. Durukal



2. baskı

YKY
Yapı Kredi Yayınları

Claude Allègre 31 Mart 1937'de Paris'te doğdu. Çocukluk arkadaşı olan Lionel Jospin'in hükümetinde, 1997-2000 yılları arasında, Milli Eğitim Bakanlığı ve Teknoloji ve Araştırma Bakanlığı görevlerini üstlendi.
1986'da Crafoord Ödülü'nü ve 1994'te CNRS'in (Bilimsel Araştırma Ulusal Merkezi) Altın Madalya'sını kazandı. Fransız Bilimler Akademisi, ABD Ulusal Akademisi (National Academy) ve İngiliz Kraliyet Bilimler Akademisi (Royal Society) üyesidir. Paris VII-Denis Diderot Üniversitesi, Institut Universitaire de France'ta profesördür.

Ahmet H. Durukal 1965 yılında Ankara'da doğdu. Liseyi Ankara Fen Lisesi'nde tamamladıktan sonra, sırasıyla İsviçre'de Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanneda Matematik ve Bilgisayar mühendisliği, OTDÜ'de Endüstri mühendisliği alanında eğitim gördü. Yüksek lisansını ise OTDÜ ve University of Oklahoma'da tamamladı. Ahmet Durukal 1998 yılından beri Bilkent Üniversitesi'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

Claude Allègre'in
YKY'deki kitapları:

Herkese Biraz Bilim *(2007)*
Herkese Biraz Daha Bilim *(2009)*

CLAUDE ALLÈGRE

Herkese Biraz Bilim

Çeviren:
Ahmet H. Durukal

Yapı Kredi Yayınları

Yapı Kredi Yayınları - 2969
Doğan Kardeş - 189

Herkese Biraz Bilim / Claude Allègre
Özgün Adı: Un peu de science pour tout le monde
Çeviren: Ahmet H. Durukal

Kitap editörü: Barış Tut
Düzelti: İncilay Yılmazyurt

Tasarım: Nahide Dikel
Grafik uygulama: Gülçin Erol

Baskı: Altan Basım Ltd.
Yüzyıl Mah. Matbaacılar Sit. 222/A Bağcılar-İstanbul
Tel: 0212 629 03 74 Faks: 0212 629 03 76
info@altanbasim.com

Çeviriye temel alınan baskı: Fayard, 2004
(Bu kitap Haziran 2007 tarihinde 17 x 22 cm boyutlarında,
ISBN 978-975-08-1260-6 numarasıyla yayımlanmıştır.)
1. baskı: İstanbul, Eylül 2009
2. baskı: İstanbul, Şubat 2011
ISBN 978-975-08-1662-8

© Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi A.Ş., 2006
Sertifika No: 12334
© "UN PEU DE SCIENCE POUR TOUT LE MONDE" de Claude ALLEGRE
World copyright © LIBRAIRIE ARTHEME FAYARD 2003
Bütün yayın hakları saklıdır.
Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında
yayıncının yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık Ticaret ve Sanayi A.Ş.
Yapı Kredi Kültür Merkezi
İstiklal Caddesi No. 161 Beyoğlu 34433 İstanbul
Telefon: (0 212) 252 47 00 (pbx) Faks: (0 212) 293 07 23
http://www.ykykultur.com.tr
e-posta: ykykultur@ykykultur.com.tr
İnternet satış adresi: http://alisveris.yapikredi.com.tr

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm: Dünyanın anahtarı atomlar • 13
Ege Denizi kıyıları, M.Ö. 400 • 14
Aristoteles atomları öldürdü! • 16
Tanrıtanımaz atom! • 18
Daha şimdiden Amerika • 21
Moleküllere karşı atomlar: maç berabere! • 23
Kimyasal kod • 25
Atom savına tepkiler • 28
Olgucu açıdan zararlı • 29
Kimyacının alet çantası • 31
Güçlü ve zayıf bağlar • 32
Kristaller • 35
Madde ve maddenin çeşitliliği • 37

2. Bölüm: Ağır cisimlerin düşüşü • 39
Petank topları ve tenis topu • 39
Galilei ve cisimlerin düşüşü • 40
Ağır cisimlerin müziği • 43
Hiçbir şey yoktan var olmaz! • 45
Top gülleleri • 47
Newton, nefretlik bir zekâ • 50
Mekanik • 52
Uzaktan etkili güç • 59

Newton'ın ardından • 60
Uydular ve gezegen sondaları • 62

3. Bölüm: Işık • 70
Işık ışınlarının doğası • 71
Dalga mı, parçacık mı? • 73
Newton ve renkler • 76
Beyaz + beyaz = beyaz mı, siyah mı? • 78
Utangaç bir genç adam • 83
Kutuplaşma • 84
Güneşin siyah çizgileri • 85
Işığın hızı • 89
Renkler • 91

4. Bölüm: Sihirli üçgenler • 94
Gezegenler ve yıldızlar • 96
Sihirli üçgen, yani gökbilimcinin temel aracı • 97
Gezegenlerin hareketi: Ptolemaios'a karşı Kopernik • 102
Aristarkhos • 104
Kopernik • 105
Tycho Brahe • 106
Galilei • 113
Kozmik hayvanat bahçesi • 115
Yıldızların sınıflaması • 117
Galaksiler • 121
Zamanı geriye çeviren makine • 123
Genişleyen bir Evren • 124

5. Bölüm: Enerjinin gizi, ilk serüven • 128
İş • 129
Galilei'ye dönüş • 131
Buhar makinesi • 133
Piston • 134

Termodinamik • 136
Maddenin iç enerjisinden kimyaya • 137
Enerjinin ölçüsü nedir? • 139

6. Bölüm: Elektrik perisi • 141
Michael Faraday • 143
Elektron • 145
Manyetizma • 147
Kuvvet alanı • 150
Elektromanyetizma • 154
Elektromanyetizma kuramı • 157
Radyo • 158
Işık ve enerji • 160
Elektromanyetizma ve endüstri devriminin
temelleri • 163
Amerikan kapitalizminin gelişmesinin temelleri • 166
Amerika'nın büyüklüğü • 170

7. Bölüm: Şans atomlarla moleküllerden yana • 172
Olasılıklar hesabı • 173
Çan eğrisi • 177
Zenginden daha çok fakir var • 178
Atom kimyasının ve fiziğin imdadına olasılıklar hesabı
yetişiyor! • 180
Gazların kinetiği kuramı • 182
Atomlar istatistiğinin aydınlattıkları • 183
Mutlak sıfır • 186
Şu gizemli entropi • 187
İstatistiksel kimya • 190
Siyah nesnenin ışıması ve kuantum fiziğinin doğuşu • 191
Einstein ve fotoelektrik etki • 193
Ölçeklerin değişmesi • 197

8. Bölüm: Atom devrimi • 200
"Çağdaş" atomun yapısı • 201
Katot ışınlarının savaşı • 203
Verimli rastlantılar çağlayanı • 206
Jardin des Plantes'ın bir sundurması altında... • 208
Fransız-İngiliz rekabeti • 209
Atom çekirdeğinin keşfi • 213
"Tuğla yığınından ev olmaz" • 214
Zamanın süzgeci • 216
Işık atomu aydınlatıyor • 217
Enerji basamakları • 225
Kimyaya dönüş • 226
Atomlar ve moleküller • 227
Kuantum mekaniğine doğru • 228
Enerji düzeyleri • 229
Lazer • 231

9. Bölüm: Her şey görelidir • 234
Yine Galilei • 235
Einstein, mutlak deha • 238
Temeldeki akıl yürütme • 239
Zaman görelidir • 240
Son söz deneyin • 242
Manyetizmanın örtüsü kalktı! • 243
Langevin'in gezgini • 245
Kütle ve enerji • 247

10. Bölüm: Yaşamın sırları • 249
DNA • 249
Cambridge, 1951-1953 • 253
Evrim • 256
Lamarck ve Cuvier • 257
Charles Darwin (1809-1882) • 260

Genetik • 261
Mutasyon • 265
Hücre: biyolojik "atom" • 268
Kimyanın zaferi • 270
Molekül fabrikası ve canlının küçük evreni olarak hücre • 272
Bakteriden file • 277

11. Bölüm: Vatanımız yerküre • 281
Yerkürenin biçimi • 283
Yerkürenin hareketleri • 289
Milankovic döngüleri • 292
İklim • 292
Yerkürenin kütlesi • 294
Yerkürenin görünmezi • 295
Yerkürenin yaşı • 297
Yerkürenin dinamiği • 301
Yerküre sistemi • 306
Gaia • 307
İnsan, jeolojik etmen • 308

Sonsöz • 310
Ekler• 311

Giriş

Bu kitap bir ödev olarak yazıldı, ama sınıfta yapılanlardan biri gibi değil, büyük Bilimler Cumhuriyetinin bir vatandaşının görevi olarak. Gerçekten de bilimler asla bugünkü kadar gelişmemişti; teknolojinin aracılığıyla yaşamımızı biçimlendiriyor ve düzenliyorlar, ekonomiyi hiç olmadığı kadar canlandırıyor, içinde yaşadığımız dünyayı daha iyi anlamamıza –hatta değiştirmemize– olanak tanıyorlar; buna karşın, halk kitlelerince açıkça ve basbayağı yeriliyorlar ya da en azından, gün geçtikçe unutulup bir kenara atılıyorlar.

Ussallığın biçimlendirdiği bir dünyada usdışılık işte böyle, yıldızbilimcilerin, iskambil falcılarının ve her türlü mezhebin eşi görülmemiş yükselişinin gösterdiği gibi, gücü eline geçirmek üzere.

Bu sapmanın başlıca nedeni, bilim adamlarının zorunlu ve hep çetin olan bir uzmanlaşma uğruna kendi köşelerine çekilmesi ve bilimi gittikçe genel kültürden soyutlanmaya bırakmasıdır. Oysa ne türden olursa olsun, insan bilgisi için kültürün dışında bir gelecek yoktur ve bugünün dünyasında bilime uzak duran bir kültür var olamaz.

Bu kitabın amacı bilimin büyük kazanımlarını, bunların en zor olanlarını bile herkese erişilir kılmaktır. Teknik bir ya-

pıt ya da bir ders kitabı değil, 21. yüzyılın sıradan insanına yönelik bir genel kültür kitabı bu.

Burada en çok fiziği ve daha az olarak kimya, biyoloji, astronomi ve yerbilimlerini işlememin nedeni, bilimsel girişimi başlangıçta fiziğin beslemesidir. Matematik bilimin ayrıcalıklı dili, fizikse ana maddesidir.

Temel buluşların ve bilimsel düşüncenin ilerlemesinin özünü iyi anlatabilmek amacıyla, matematik diline alerjisi olanları yıldırmamak için, bu dile her türlü başvurudan kaçındım. Aksine, bilimin büyük serüveninin tarihsel, insansal, yaşayan yönüne öncelik verdim, çünkü bilim insandan kopuk bir bilgi değil; hızlanmaları, duraklamaları, aydınlık ve karanlık dönemleriyle insanın büyük bir serüveninin ürünü; ama bunu yaparken de bilimin özniteliğinden ve kesinliğinden –yeri geldiğinde güçlüğünden, belirsizliklerinden, yanılgılarından, sapmalarından– ödün vermedim.

Bu işte en büyük amacım, bilimi herkese, bilim yapmayanlara bile sevdirmeyi başarmaktır. Biz bilim adamlarının bilim yaparken aldığımız olağanüstü zihinsel hazzı kimileriyle paylaşmayı bile umabiliyorum. Bunu az da olsa başarırsam bu benim için çok büyük bir ödül olacaktır.

Kitabı büyük bir sağduyu, eleştirel bakış ve özenle gözden geçiren, düzeltmeler yapan, pek çok değişiklik öneren Vincent Courtillot'ya, bazı bölümleri okuyarak beni onurlandıran ve bana biraz "alışılmadık" gelen alanlarda yararlı önerilerde bulunan Édouard Brézin, Nicole Le Douarin ve Jean-Louis Le Mouël'e, ve ayrıca, metni daktilo ederken iyi anlaşılmayan yerleri belirten Nathalie Goussery'ye ve her zamanki özeni ve yeteneğiyle resimlemeyi yapan Joël Dyon'a teşekkür ederim.

1

Dünyanın anahtarı atomlar

Atomik, atomize, atomizör, atom enerjisi, atom saati, atom bombası; atomlara boğulmuşuz.

"Atom" isminden türeyen sıfat kiminde dehşeti (atom bombası), kiminde ferahlamayı (atomizör), kiminde de ilerlemeyi (atom enerjisi ya da atom saati) belirtiyor.

Atomu sarmalayan çevrenin içinde yüzüyoruz. Zaten fizikçiler, kimyacılar, biyologlar, astronomlar ve jeologlar bile bize, büyük olsun küçük olsun, doğal olsun yapay olsun tüm olayların nedenlerini atomda aramamız gerektiğini söyler: Su, Ateş, Hava, Toprak, Soğuk, Sıcak, her şey atomlar düzeyinde açıklanır. Atom, dünyanın anahtarıdır.

Demek ki atom gerçekten de çağdaşlığın sembolü, dünyanın "çağdaş" açıklamasının çıkış noktasıdır. Ama atom kavramı iki bin yıldan eskidir...

Madde moleküllerden ve kristallerden oluşur, kristaller-se benzer ya da farklı atomlardan oluşmuş topluluklardır. Bu ilksel yapılar ne denli küçük olurlarsa olsunlar –herhangi bir maddenin bir gramını oluşturmak için milyar kez milyar kez milyar atom ya da molekül gerekir– maddenin tüm özelliklerini taşırlar. Maddeler. Renk, koku, sertlik, esneklik, ağırlık, hacim... duyulur dünyamızı oluşturan her şeyin kökeni, ki-

mileyin sonsuz küçük adı verilen mikro-mikro-mikroskobik düzeyde bulunur.

19. yüzyıl sonu ve 20. yüzyıl başından beri bu kesin olarak biliniyor. Ama günümüzde pek bildik olanı insanlığın kabul etmesi için iki bin üç yıl geçmesi gerektiğini de biliyor muyuz?

Kuşku ve karanlıkta geçmiş iki bin üç yıl!

Ege Denizi kıyıları, M.Ö. 400

Atina'da Sokrates'in yaşadığı sırada, Ege Denizi kıyılarında da Demokritos yaşıyordu; bilimciler kendi reklamlarını filozoflar kadar iyi yapsalardı, o da diğeri kadar ünlü olacak bir adamdı.

Gerçekten de Demokritos, *maddenin sürekli devinimdeki atomlardan ve boşluktan* oluştuğunu Milat'tan dört yüzyıl önce keşfetmişti.

Onun akıl yürütmesi, suyla şarabın karışmasının gözlemine –bugünkü deyişle deneyine– dayanıyordu.

O devirde şarap, hamur halinde depolanır ve taşınırdı. İçmek için, hamur suda eritiliyordu. Saydam su ağır ağır kırmızılaşıyordu. Şarap, suda eridiğine göre, hamurdan kopup birbirinden ayrılan ve bu pembe-kırmızı rengi verecek biçimde suyun her tarafına nüfuz eden küçük temel parçacıklardan oluşuyor olmalı, diye düşündü Demokritos.

Öyleyse, şarap parçacıklarının kendisine sızmasını ve bunların hareketlerini kabul ettiğine göre, suyun kendisi de parçacıklardan ve boşluklardan oluşuyor olmalıydı.

Peki, su ve şarabı birbirine karışmaya iten güç ya da devindirici neydi?

Demokritos bu temel soruyu yanıtlarken, atomların –küçük madde parçacıklarını böyle adlandırıyordu– sürekli çal-

kantıda olduğunu ve karışıma bu çalkantının, bu rastlantısal salınmanın yol açtığını ileri sürdü. Çünkü ona göre bu çalkantı rastlantısal olarak işliyordu.

Ona göre bu *atomlar* maddenin temel yapıtaşlarıdır ve *yok edilemezler*. Bunlar her şeyin *en küçük* yapıtaşlarıdır.

Demokritos, atomların çeşitli biçim ve renklerde olduğunu öne sürdü. Kimilerinin çengelleri vardır, dolayısıyla tutunabilirler, kimileri yuvarlak, kimileri uzun, kimileriyse ipliksidir. Her bir atom ayrı bir maddeye karşılık gelir; bunların atomları birbirinden farklı olduğundan kendileri de farklı özellikler taşırlar.

Bu atomlar sürekli bir çalkalanma hareketi içindedir ve dolayısıyla uzayın boşluklarında yer değiştirirler. Bu hareketler gelişigüzel ve düzensizdir. Bu gezgin atomlar kimileyin şans eseri başka atomlara rastlar ve onlara çarparlar. Bu atom çarpışmaları bazen bu atomları, özellikle kancalı ve ipliksi olanlarını bir araya gelmeye, toplanmaya, kendi aralarında bağlanmaya, birleşmeye götürür – maddenin sıvı ya da katı olmasını sağlayan da bu bağlantıların az ya da çok gevşek olmasıdır.

Demokritos'un tüm önsezileri ya da hemen tümü doğrulandı. Atomlar için doğrulandı kuşkusuz. Ama dahası, maddenin bir kısmının boşluktan oluştuğu da doğrulandı.

Evet, doğru, hacim bakımından, madde bir boşluğa karşılık gelir. Bu durumda atom nedir, bir düşünün. Atomun tüm kütlesini taşıyan bir çekirdek ve çevresinde dönerek uzayı, yani boşluğu "dolduran" elektronlar. Düşünün ki karbon atomunun çekirdeği bir metre çapında bir top olsaydı, çevresinde dönen altı elektron yarıçapı yüz kilometre (Paris-Orléans arası) olan bir küre içinde yer değiştiriyor olacaktı.

Madde, yani ben, siz, yerküre, Evren, aslında her şey boşlukla doludur, maddenin temelini hareket oluşturur; boşluğu dolduran, harekettir...

Başlangıçta, Eylem vardı... yani hareket.

Sıradan madde boşluktan oluştuğundan, olağandışı koşullarda sıkışarak örneğin beyaz cüceler, nötronlu yıldızlar ya da kara delikler gibi yoğunluklarını bildiğimiz maddelerin milyarlarca katı olan tuhaf kozmik nesneleri oluşturabilir. Bunlar gerçekten de var! Yine bu nedenle düşünebiliriz ki çok, çok eskiden, günlerden bir gün Evrenin tüm maddesi, uzayın tüm maddesi, küçücük bir iğne ucu büyüklüğünde bir hacmin içine sıkışmıştı ve Big Bang (Büyük Patlama) denen şu olağanüstü olayla ansızın dağılarak adım adım, bugün Evreni oluşturan maddeyi doğurdu.

Bir de, maddenin bu çeşitli biçim ve nitelikteki hareketlerine kapılıp sürekli çalkalanan atomların kendilerine özgü hareketleri vardır. Atomların bu çalkantısının modern bilimdeki adı, ısıdır. Ateşiniz varsa, bu atomlarınızın her zamankinden daha çok çalkalanmasındandır!

Kısacası, iki bin yılı aşkın bir süre önce Demokritos her şeyi anlamıştı, en azından sezinlemişti.

İki bin yılı aşkın unutuş ve yanılgı.

Aristoteles atomları öldürdü!

Maddenin ne olduğunu açıklayan bu model başta büyük bir ilgi gördü. Bir başka Yunan filozofu olan Epikuros onu benimsedi. Platon, büyük Platon da benimsedi onu ama her şeyi gemetrinin yönlendirdiğine inandığından (Akademinin kapısına "Geometri bilmeyen bu kapıdan girmesin" yazdırmamış mıydı?), her biri belirli bir geometrik biçime sahip (üçgensel yüzlerin birleşiminden oluşan!) beş tür atom olduğuna karar verdi. Başka deyişle, Platon atomlara inanıyordu ama onları bir sistemin merkezine oturtmuş değildi.

Platon'dan sonra Aristoteles geldi.

Aristoteles'in Antik Çağ'ın en büyük filozofu olduğu söylenir. Mantığın yaratıcısı, gözlemle soyutlamayı bir arada kullanan bilimsel metodun, ayrıca doğa bilimlerinin yaratıcısı odur. Metafiziği o icat etmiştir. Kısacası, saygın biridir ve Antik Çağ'da da öyle sayılmıştır.

Aristoteles, Platon'un öğrencisiydi, ki o da Sokrates'in öğrencisiydi; aynı zamanda Büyük İskender'in hocasıdır – sıkı bir özgeçmiş.

Ne var ki bu kitap boyunca göreceğimiz gibi, Aristoteles bilimde hemen her alanda yanıldı ve önemli zararlara yol açtı. Oysa bilimsel konulara yaklaşım yöntemi doğru olanıydı.

Yöntemler söz konusu olduğunda keskin zekâlıydı, ama bunları doğru uygulamakta beceriksiz çıktı. Arthur Koestler *Les Somnambules*'de [*Uyurgezerler*] (1960) şöyle yazar: "Aristoteles'in Fiziği gerçekte bir sözde-bilimdir, iki bin yıl boyunca ondan tek bir buluş, tek bir icat, tek bir yeni düşünce çıkmamıştır." Sert bir yargı, ama ne yazık ki doğru.

Aristoteles atomlara karşı çıkar ve hocası Platon'un dediklerinin tersini savunur (zaten bunu oldukça sistematik biçimde yapıyordu).

Nedir savları?

İki türlüdür.

İlk olarak, maddeyle maddenin aldığı biçim arasındaki ayrımı reddeder. Rastlantısal hareketlerle canlanmış ve birbiriyle karşılaşan, çarpışan ve kiminde birleşen küçük parçacıkların herhangi bir biçim oluşturabileceği düşüncesine kesin olarak karşı çıkar. Rastlantısal olan, ancak biçimsizi oluşturabilir. Böylesine kusursuz geometrik biçimli kristaller nasıl olur da rastlantı sonucu oluşur? Nasıl olur da biçimsizden kendiliğinden biçim doğar? Bu ona saçma görünüyordu[1].

1 Zaten bu sorunun gereğince ele alınması ancak günümüzde, doğrusal olmayan fizikte olanak kazandı.

İkinci karşı çıkışlar dizisi: Aristoteles, maddenin aralıksız olduğunu ve dolayısıyla boşluğa yer olmadığını düşünür. Boşluğun varlığı üzerindeki bu soru, 20. yüzyılın başına ve hatta belki de günümüze değin akılları karıştıracaktır.

Aristoteles sonunda Akragaslı (Agrigento, Güney Sicilya'da küçük bir Roma şehri) Empedokles'in kuramını benimser; madde dört elementten oluşmuştur: Ateş, Hava, Toprak, Su.

Bu dört element, dört temel özelliği oluşturmak üzere birleşirler: sıcak ve soğuk, kuru ve ıslak.

Böylece bir denklemler dizisinin yardımıyla fiziksel dünyanın işleyişini anlatır:

Sıcak + Kuru	=	Ateş
Sıcak + Islak	=	Hava
Soğuk + Islak	=	Su

Ama aynı anda,

Ateş + Toprak	=	Kuru
Su + Hava	=	Islak
Hava + Sıcak	=	Ateş
Su + Toprak	=	Soğuk

Bu sistem tutarlı, kesin ve sade gibi görünüyor, atomlara gerek yok! Evet, tutarlı. Ama ne var ki tümüyle yanlış.

Tanrıtanımaz atom!

Aristoteles konuşunca, atom kavramı toprağa gömüldü. Evet, kimileyin birileri atomun anısını canlandırıyordu. Boş bir çaba! İzin verilen tek kuram, dört element kuramıydı!

Ama atom kuramının yüzyıllar boyu unutuluşunu kesinleştiren, bu kuramı aforoz ve ateşle arınma cezaları koya-

rak tartışmasız reddeden Katolik, Apostolik* Roma Kilisesi'nin tutumu oldu.

Kilise atomlarla neden ilgileniyordu? Kuşkusuz, bunlar Demokritos'un yapıtıyla ilgiliydiler ve o kendisini maddeci olarak tanıttığından, kilisenin onun yapıtını reddetmesi mantıklıydı. Ama bu reddedişin temel nedeni daha derinlerdeydi.

Bu neden, bilim dilinde madde dönüşümü olarak adlandırılan ökaristi konusuna ilişkindi, bugün de olduğu gibi.

Tam olarak nedir bu? Luka İncili'ne bir göz atalım.

"Yemek sırasında İsa ekmek aldı, şükran duasını yapıp ekmeği böldü ve onlara verdi. 'Alın! Bu benim bedenimdir'" dedi.

Ardından bir kupa alıp şükrettikten sonra onu onlara verdi ve hepsi ondan içtiler. Onlara şöyle dedi: "Bu benim kanımdır, sizin uğrunuza dökülen antlaşma kanıdır."

Katolik Kilisesi'ne göre, bir inanan kilisede ayine katıldığında İsa'nın vücudunu ve *kanını* fiziksel olarak, gerçek olarak, *bir etkinlikle* içine kattığına inanır. Katolik Hıristiyanın bir tür aşkın yamyam olduğu söylenebilir...

(Protestan Kilisesi ise bu inanıştan kopmuştur ve İncil'in bu bölümünü simgesel olarak yorumlar, ama Katolik Kilisesi için bu, 1553'teki Trent Konsili'nden bu yana hâlâ geçerli bir dogmadır.)

Atom kuramı bu "olgu"yla tümden çelişir görünüyordu. Rastlantı sonucu bir araya gelen, bölünmez, sonsuz, yok edilemez, dönüştürülemez atomlardan oluşan bu parçacıklar nasıl olur da madde dönüşümüne uğrayabilirler, dönüştürülemez olduklarına göre de, nasıl olur da zaman ve uzam içinde başkalaşım geçirebilirler?

Biçimle "nitelik" arasında bağlantı olduğunu ileri süren Aristoteles kuramının savunucularına göre, biçim düşüncesini kalıcılaştırıp "niteliğin" mucize sonucu değiştiğini kabul

* Papalığa bağlı. (Ed. n.)

etmek "yeterliydi", çünkü bu durumda atomların dönüştürülemeyeceği asla söylenmemişti!

Dogmanın uğruna duyularımız aldatılıyordu!

Atom kuramıysa tözle özü birbirinden koparmayı kesinlikle reddediyordu.

Okur, kuşkusuz, bu uyuşmazlığın tümüyle anlamsız olduğunu ve bir mucizenin varlığına inanıyorsak bunun her koşul altında oluşabilmesi gerektiğini düşünecektir.

CNRS'te* araştırma direktörlüğü yapmış Cizvit rahibi Mayaud gibi modern Hıristiyanlar bugün şuna inanırlar: "Bu, inanca ait bir gizdir, fizikle hiçbir ilgisi yoktur."

Buna karşın, Aquino'lu Tommaso'dan bu yana Ortaçağ'ın ve Rönesans'ın bilgin Hıristiyanları, Bilimle Dini birbirine bağlama amacını güttüler.

"Doğa yasalarını çözmek Tanrı'ya yaklaşmaktır" diyordu Aquino'lı Tommaso. Aslında içinden, Tanrı'nın varlığını bilimsel olarak kanıtlama umudu besliyordu. Ama atomlar Katolik inancıyla, en azından dogmayla bağdaşmıyordu.

Bu tutum ürkütücü sonuçlar doğuracaktı. Giordano Bruno atom düşüncesini ve Evrenin sonsuzluğunu savunur. 1600 yılında Roma'da canlı canlı yakılır.

Galilei atomlardan söz eder; bu onun 1633'te ömür boyu hapse mahkûm edilmesinde rol oynar.

Bu durumda herkes tedbirli davranmaya başlar.

Birkaç istisna görülür yine de.

Bugün neredeyse unutulmuş, dönemin önde gelen kafalarından biri olan Digne piskoposu Pierre Gassendi (1592-1655), atomlar ve boşluk düşüncesini sıkı sıkıya savunur. Korkusuzca, bu kavramları İncil'le uzlaştırmaya çalışır ve düşünümü sırasında atomlarla moleküller arasındaki farkı herkesten önce keşfeder (bu konuya döneceğiz).

* CNRS: Centre National de Recherche Scientifique (Bilimsel Araştırma Ulusal Merkezi). (ç.n.)

Ama Gassendi kendi döneminde yalnız kaldı, cezaya çarptırılmadıysa da, bir düşünce adamı için daha kötüsü, bilinmezlikten gelindi.

Ünlü atom karşıtları arasında Descartes'ı (Pascal'in deyişiyle "yararsız ve kararsız", ama Fransa'nın kahramanı!), yüzyılın en büyük dâhilerinden Leibniz'i (Newton'ın olduğu gibi, Descartes'ın da güçlü düşmanı) sayabiliriz.

Atom taraftarları arasında Gassendi,\Bruno ve Galilei'nin dışında, Newton'u (kuşkusuz!), Robert Boyle'u, John Locke'u, Diderot'yu saymak gerekir.

Bilimlerin veya Felsefenin tarihi üzerinde çalışmak isteyenlere tüm bu tutumlar ilginç gelir, ama hiçbir yeni olgu, sonuç verici hiçbir deney, hiçbir kanıtlama getirmemişlerdir, salt görüşlerdir bunlar. Oysa bilim görüşler üzerine değil, kanıtlar üzerine kurulur, bunların en son ve en kesin olanıysa hep deneydir.

Daha şimdiden Amerika

Eski Rejim'in sonuna dek uzanan dönemde en önemli ilerlemeyi Benjamwin Franklin sağladı.

Benjamin Franklin, yeni cumhuriyetin, Amerika Birleşik Devletleri'nin Fransa büyükelçisiydi. Onun bir bilgin olduğunu ve paratoneri icat ettiğini hepimiz okulda öğrendik. Fransa'da Parisli kadınlarla çalkantılı aşklar yaşadığını da daha yakın zamanda, sinema sayesinde öğrendik.

Daha az bilinense, onun Londra yakınlarındaki bir gölde çok ustaca ve önemli bir deney yaptığıdır.

Suyun üzerine dökülen yağın yüzeye yayıldığını görünce, bir kaşık zeytinyağı alıp göle döktü.

Yağ büyük bir leke yaptı ve bu leke yayıldı. Büyük bir elips şeklini aldı. Benjamin bunun yüzeyini özenle ölçtü: yak-

laşık 100 m². Bu dâhiyane deneyden yaralanmayı düşündü mü? *Yüzeyin yükseklikle çarpımının hacme eşit* olduğunu anımsaması yeterli olabilirdi, yani yağ lekesinin yüzölçümünün kalınlığıyla çarpımının bir kaşığın hacmini, yaklaşık bir santimetre küpü vereceğini, demek ki bu tabakanın kalınlığının hesaplanabilir olduğunu anımsamalıydı. Bunu yapsaydı 10^{-6} santimetre, yani 100 angström sonucunu elde ederdi.

Bu hesabı yaptı mı bilmem ama moleküllerin çok küçük olduğunu öne sürdü.

Yaklaşık bir yüzyıl sonra, Lord Rayleigh bu deneyi tekrarladı, hesabı da yaptı ve moleküllerin boyutunun ilk tahminlerinden birini (50 Å) gerçekleştirerek bunu yayımladı.[2]

Demokritos'un karışım deneylerinden sonra bu, belirleyici deney oldu.

Eğer Demokritos bunu düşünebilmiş olsaydı (kuşkusuz Yunanlılar zeytinyağı kullanıyorlardı), insanlığın o iki bin yılı çok daha aptalca görünecekti!

Çünkü Demokritos'un karışım deneyi ve Benjamin Franklin'inki elimizde olunca artık atomların varlığını doğrulamak, boyutlarını ve sayılarını hesaplamak olanaklı. Sayılarını, evet; bu atomların (moleküllerin) aşağı yukarı 10^{-8} santimetre boyutunda olduğu düşünülürse, hacimleri yaklaşık 10^{-24} santimetreküp olur, çünkü bir santimetreküpte 10^{24} tanesi bulunur. Bu da o çok büyük sayının yaklaşık değeridir[3] (daha sonra buna onun daha kesin bir değerini bulan İtalyan bilimci Amadeus Avogadro'nun adı verildi).[4]

2 Eğer bu deneyi bugünkü yağlarla yinelemek isterseniz bazı zorluklarla karşılaşırsınız (ben kendim de denedim). Gerçekten de, yağlar işlenmiş olduklarından zor yayılıyorlar (ve aynı nedenle daha fazlasını tüketiyoruz). Ayrıca kireçli su yayılmayı engelliyor. Ama sabırlıysanız kireçsiz su ve ham kolza yağıyla deneyin, başarı şansınız artacak.

3 Gerçekte daha azdır, çünkü yağ molekülleri küresel değil zincirler biçimindedir ve her biri daha fazla hacim kaplar.

4 Avogadro sayısı 6.023×10^{23}'tür.

Atomla molekül arasında gidip gelmeyi sürdürüyoruz! Bunların arasındaki ayrım ne zaman ve nasıl oldu?

Moleküllere karşı atomlar: maç berabere!

Önce atomlardan söz ettik, sonra moleküllere geçtik. Bu iki kavram arasında nasıl bir bağ var?

Bugün bile çok kişi atomlarla molekülleri birbirine karıştırıyor ve onları aydınlatmak için pek bir şey yapılmıyor. Tasalanmasınlar, en büyük, en akıllı, en ünlü, hepimizin saydığı, adına heykeller diktiğimiz kimyacılar 18. yüzyıl sonuna doğru elli yıl boyunca atomlarla moleküllerin ayrımını tartıştılar. Onlar da bu ayrımı pek yapamıyorlardı. Madde, kimine göre moleküllerden oluşmuştu, kimine göre de atomlardan... Ve her biri kendi görüşünü savunuyordu. Kim haklıydı? Bugün olsa "İkisi de, Komutanım" deriz. Her biri bir bakıma haklıydı, bir bakıma da biraz yanılıyordu.

18. ve özellikle 19. yüzyıl boyunca gerçekleştirilen sonuç verici ilerlemelere bakalım yine.

İlk olarak, Fransız Devrimi'nin harcadığı şu vergi kesenekçisi (aristokrat bir vergi toplayıcısı olduğundan) Antoine Lavoisier var, ama öncesinde katmanbilim jeolojisini ve kimyayı kurmaya zaman bulmuş (pek de bir şey yapmamış!).

Burada bizi ilgilendiren alan olan kimya üzerine Lavoisier iki temel gözlem yaptı.

İlki, iyi bilinen şu deyişle özetlenebilir: "Hiçbir şey yoktan var edilmez, hiçbir şey yok olmaz, her şey dönüşür." Burada Demokritos'un başkalarıyla bir araya gelen, birleşen, ama her şeye karşı koyan, yok edilemez atoma değin tezlerini destekleyici bir kanıt değil ama bir sav ortaya çıkıyor.

İkincisi, daha basit bileşiklere ayrıştırılamayacak maddelerin var olduğudur. En son saflık derecesinde damıtılabilirler ama değişikliğe uğratılamazlar. Lavoisier, bu maddeleri *kimyasal elementler* olarak adlandırır.

Atomlar bölünmezdir ve sonsuzdur, diyordu Demokritos. Farklı türleri vardır ve maddelerin çeşitliliğini belirleyen de bu farklardır. Lavoisier'nin iki gözlemi buradan çıkar. Birincisi, atomların sonsuzluğudur; ikincisi, bu kategorilerin, birçok türleri de olsa, belirli sayıda olduğudur.

Lavoisier'nin ölümünden sonra işi ele alıp *kimyayı icat etmeyi* sürdüren kimyacılar Proust ve özellikle Dalton oldu. Bir yanda maddeleri karıştırıp diğer yanda sonuçları gözlediler, ölçtüler, tarttılar, kokladılar, damıttılar, karıştırdılar, gözlemlediler, kısacası bir kimyacı ne yapmayı öğreniyorsa hepsini yaptılar.

Sonunda aşağıdaki sonuca vardılar.

Elementler yeni bir madde oluşturmak üzere birleştikten sonra bu maddeyi ayrıştırıp bileşenlerini ölçecek olursak, bu bileşenlerin hep aynı oranlarda olduğunu ve bu oranların basit olduğunu görürüz: 1'e 2, 1'e 3, 2'ye 3 gibi.

Oksijen içerisinde yanan Karbon, 8 gram Oksijen'e karşılık 3 gram Karbon oranıyla Karbonik Gaz açığa çıkarır. 3 gram Karbonu 4 gram Oksijen ile birleştirip Karbonmonoksit (daha basit, zehirli bir madde!) de üretilebilir.

Buna karşılık, 3 gram Karbonun 4,3 ya da 6,2 gram Oksijen'le birleşeceği basit yapılar yoktur. *Elementlerin bileşimlerinde oranlar tam olarak bellidir* ve tam sayılarla belirlenmiştir.

Karmaşık maddelerinse ayrı türlerden birçok atomun birleşiminden doğduğu, bu maddelerin oranlar yasasına uygun olarak, kesintili biçimde değişen, kesin belirli oranlarda birleşmiş atomlardan oluştuğu düşüncesi (işliyor da!) ortaya çıktı. Çünkü oranlar değiştiğinde iş yürümüyor. Başka deyişle, madde oluşmuyor. Onu üretmiyoruz!

Birbirinden farklı 2, 3, ya da 4 atomun tam olarak belirlenmiş, yeni özelliklere sahip, yeni bir madde oluşturmak üzere yaptığı bu birleşimlere bugün *molekül* adını veriyoruz.

H_2O (su), bir Oksijen atomunun iki Hidrojen atomuyla birleştiği bir moleküldür. CH_4 (metan), bir Karbon atomunun dört Hidrojen atomuyla birleştiği bir moleküldür. HCl (hidroklorik asit), bir Klor atomunun bir Hidrojen atomuna bağlanmasıyla oluşan bir moleküldür, vb.

Ama Dalton, büyük Dalton (1766-1844), kimyacıların prensi, bu düşünceyi geri çevirir. Ona göre her şey atomdur. Basit atomlar ve karmaşık atomlar vardır. Molekülün adını bile duymak istemez (oysa kavram ve ad Gassendi'den beri ortalıkta dolaşmaktadır). Dalton, 1808'de yeni kimyanın temel yapıtını, *A New System of Chemical Philosophy*'yi [Yeni bir Kimya Felsefesi Sistemi] (dönemin kutsal kitabı sayılır) kaleme aldığında "molekül" sözcüğünü kullanmaz bile.

Buna karşılık, bir süre sonra, Fransız Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) ve İtalyan Amedeus Avogadro (1776-1850) (birbirinin çağdaşı ancak bu kadar olunur!) gazlar üzerine çalışırlar, ama atomları bilmezden gelerek molekül düşüncesini geliştirirler. Onlara göre, madde moleküllerden oluşur. Basit moleküllerden ve karmaşık moleküllerden.

Basit atomlar, basit moleküller, karmaşık atomlar, karmaşık moleküller. Bu kavga bugün çoktan aşılmış görünüyor.

Kimyasal kod

Tartışma 1860'ta Karlsruhe'de toplanan 1. Dünya Kimya Kongresi sırasında çözüme ulaşacaktı (öncülerin hepsi ölmüştü!). Orada, *atomların* var olduğuna ve bu atomların *moleküller* oluşturmak üzere birleştiğine karar verildi (zamanı gelmişti

artık! Kongrelerin "siyah-beyaz" önergeleri kiminde yararlı oluyor!). Okulda öğrendiğimiz kimyasal simgeleme de o sırada geliştirildi.[5]

Her bir atoma bir simge verilmiştir: H (Hidrojen), He (Helyum), Li (Lityum), C (Karbon). Örneğin şöyle yazabiliriz:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$

Karbon + Oksijen'den Karbonik Gaz elde edilir.

Atom teorisine inanan kimyacılar (iyi ki çok sayıdalar) buradan hareketle işleri ilerleteceklerdir.

İlk olarak, kimi elementlerin ancak bir tek başka atoma bağlanabildikleri görülür. Demokritos'un diyeceği gibi, yalnızca birer "kolları", birer "kancaları" vardır. Bunun tipik bir örneği Hidrojen'dir.

Atomların bu bağlanma kapasitesine *birleşme değeri* adı verilir.

Kimileri, Oksijen gibi, iki atoma bağlanabilirler; iki kolları, iki kancaları vardır. (H_2O: İki Hidrojen, bir Oksijen).

Kimileriyse üç atomla eşleşebilirler, Azot'un (N)[6] Amonyak'ı (NH_3) oluşturması gibi (bir Azot atomuyla üç Hidrojen atomu Amonyak'ı oluşturur).

5 Böyle anlatılınca Dalton/Gay-Lussac/Avogadro tartışması içeriğe ilişkin görünüyor. Aslında sorun bundan daha derindi. Uzun sözden kaçınalım ve bir örnek verelim. Suyun sentezini yazmak için Dalton, $H + O \rightarrow HO$ yazıyordu (bu yanlış!). Gay-Lussac ise: $2H + O \rightarrow H_2O$ yazıyordu (bu daha doğru). Avogadro ise $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ yazıyordu. İki Hidrojen molekülünü bir Oksijen molekülüyle tepkiye sokuyordu. Bugün kabul edilen model de budur. Ama bizim durumumuzda düşünmek için şunları da belirtmek gerekir:
$H + H \rightarrow H_2$; ya da daha çok boşluk $O + O \rightarrow O_2$ İki Hidrojen atomu bir Hidrojen molekülü verir. İki Oksijen atomu bir Oksijen molekülü verir. Görüldüğü gibi, moleküller aynı tipte ya da farklı tipte atomların birleşmesiyle oluşabilirler.

6 Azot'a N sembolü Azot içeren ve Antik Çağ'dan beri bilinen yanıcı madde Nitre'den dolayı verilmiştir.

Daha başkalarıysa, örneğin Karbon, dört tanesiyle birleşir; CH_4, yani Metan, bir Karbon atomuyla dört Hidrojen atomundan oluşur.

(Sanki okula geri döndük! Biraz daha sabır!)

İyi bir kavramsal donanım edinmeye başlıyoruz: atomlar, moleküller ve yapının hem kendi bileşimini, hem de bu bağlantıların nasıl dönüştüklerini –daha sonra kimyasal reaksiyon adı verilecek olanı– belirtmeye olanak veren bir simgeleme sistemi. Örneğin şunu yazabiliyoruz:

Metan üretimi:

C	+	$2H_2$	→	CH_4
Bir Karbon atomu		İki Hidrojen molekülü		Bir metan molekülü

Bu noktadan sonra temel bir gerçeği kavrıyoruz. *Moleküller* atomların birleşmesiyle bir kez oluştuktan sonra, *molekülü oluşturan atomlarınkilerle hiçbir ilgisi olmayan özellikler* kazanırlar (tepkiyebilirlik, koku, renk, vb). Bütün, kısımların toplamına eşit değildir. İnsan vücudu bir baş + bir gövde + kol ve bacaklar değildir, bir bütündür. Barbara şarkısında "Sizde sevdiğim, sizsiniz" diyordu. İşte atom boyutunda da aynı şeyi buluyoruz.

Molekül özgün bir bütündür; atomların bir karışımı değil, yeni bir yaratıdır. Bir moleküle bağlanmış atom kendi özelliklerini yitirir. Artık "tanınmaz" olur, kuşkusuz kimyasal bakımdan.

Molekül gerçek bir özgünlüğe sahiptir, bir kimlik de diyebiliriz buna. Zaten, bir molekülün formülündeki bir tek atomun değişmesi o molekülün özelliklerini kökten değiştirmeye yeter. Dev bir molekül bile olsa!

Öyleyse atomlarla molekülleri birbirinden ayırmak gerçekten de gerekli. Atomların dünyasıyla moleküllerin dünyası birbirinden ayrıdır, ikincisi birinciden türemiş olsa da!

Her kimyasal elementin her atomuna birer sembol verilmesiyle (Karbon için C, Hidrojen için H, Oksijen için O, Azot için N, vb) ve her atomun başka kaç atoma bağlanabileceğinin, yani kimyasal birleşme değerinin bilinmesiyle, kimya kendi simge dilini oluşturma olanağını bulacaktı. Kimyasal reaksiyonlar yazarak kâğıt üzerinde moleküller yaratabilecektik.

Böylece kimya bir bilim haline geldi. Atomların bilimi değil, moleküllerin bilimi. Kimya, bir kuramsal düşünüm aracına sahiptir ve laboratuvar, kuramı gerçekle yüzleştirmeye ve gerekirse kuramı düzeltmeye olanak tanır.

Sonsuz, eşsiz bir serüvenin başlangıcıdır bu: maddenin yaratılması, moleküllerin icadı (moleküllerin "sentezi" diyeceğiz). Kimyacı, yeni dünyalar yaratan kişidir. Kimya olmadan teknoloji olmaz. Başlangıç noktası da kimyasal kodlamadır. Moleküller oluşturmak üzere kesin kurallara göre birleşen atomlar! Her gün kullandığımız metaller, yaşamımızı böylesine kolaylaştıran çeşitli plastikler, sıvı deterjanlar veya ilaçlar, bunların hepsi kimya!

Atomlar ve moleküller üzerine kurulu bu kimya, bu kuramsal donanımı bir kez sağlandıktan sonra yeni bileşikler, yeni endüstriyel ürünler yaratacaktı. Büyük Britanya'nın –ve özellikle 19. yüzyılda ve 20. yüzyıl başında Almanya'nın– endüstriyel hamlesinin kökünde bu vardır. Fransa ise o sırada Pasteur'e ve başka birkaçına rağmen, gecikmiş "felsefe" tartışmalarına takılıp kalmıştı.

Atom savına tepkiler

Kimya denen harika bilim 19. yüzyılın bu ikinci yarısında dev adımlarla ilerlerken, atom bilgisindeki her yeni ilerlemenin bir alkış tufanıyla karşılandığını sanmayalım. Sonuçta bilim

uzun ve sakin bir nehir değil ve en büyük beyinleri bile inandırmak o kadar kolay olmuyor! Yeni düşünceler öyle tedirgin edici ki...

Felsefeciler iki cepheye bölündüler: bir yanda atomcular, diğer yanda atom karşıtları.

Atomu "destekleyenler" sayıca azdı: Nietzsche, Marx ve Engels, Bergson. Aksine, atoma "karşı çıkanlar" ise epeyce kalabalıktı; Hegel, Schopenhauer (kesinlikle karşı), Kant (şaşırtıcı!) ve kuşkusuz, Auguste Comte (yakında ona yine değineceğiz) gibi. Daha da şaşırtıcısı, aralarında kimyacılar ve fizikçilerin de bulunmasıydı.

Almanya'da muhalefetin başını çekenler, Ernst Mach (ses duvarını bulan) ve Ostwald'dı (oysa daha sonra değineceğimiz, atomlara inanmış ve etkin bir savunuculuk yapmış Boltzmann'ın bir dönem arkadaşı oldu). Eleştiriler o derece keskindi ki Max Planck bile, kuantik parçacık kuramının öncülerinden biri olmasına karşın, atom kuramı karşısında uzun süre çekinceli kaldığını anılarında itiraf etti. Ingiltere'de ise Dalton'un ve sonra Faraday ve Maxwell'in çalışmaları sayesinde atom kuramı kendisini çok çabuk kabul ettirdi.

Fransa'da muhalefet seçkin bilim adamlarının işi oldu: Henri Sainte-Claire Deville, Claude-Louis Berthollet ("gaz kabarcıklı bir molekül ya da bir atom gören var mı?" diyordu) ve özellikle de hepsinin en büyüğü, en güçlüsü, en ateşlisi, en zararlısı: Marcellin Berthelot.

Olgucu açıdan zararlı

Auguste Comte ve Ernest Renan'ın olgucu hareketiyle Marcellin Berthelot çevresinde toplanan atom karşıtı büyük kimyacılar arasında kurulan bağ Fransa için bir dram oldu. Bunlar usçuydu, laikti, cumhuriyetçiydi ve olgucuydu.

Atomlara karşı bayrak açıp etrafında toplandılar. Şanssızlık şuradaydı ki bu insanlar güçlüydüler. Collège de France'ta profesör olan Marcellin Berthelot, aynı zamanda Bilimler Akademisi'nin ömür boyu sekreteriydi ve orada on yıl hüküm sürdü. Akademide atom sözcüğünün yasaklandığı on yıl!

Daha önce de Kamu Eğitimi Bakanıydı ve bu yetkisiyle öğretim programlarında atomdan söz edilmesini yasaklamıştı.

Bu "hizip" oldukça büyük zararlar verdi. "Düşünürler" Auguste Comte ve Ernest Renan ile "bilim adamları" Berthelot ve Sainte-Claire Deville topu birbirlerine atıyorlardı. Renan'ın daha sonra yazacağı gibi, dogması ve rahipleriyle bir "Bilim Dini" kurmayı düşündüklerinden, görüşleri daha da çok dinleyici buldu. Konu bilimse, başvuru noktası onlardı. Yıkılmaz bir laik cumhuriyetçilik bunu pekiştiriyordu, özellikle de genç Yüksek Öğretmen Okullu [École Normale Supérieure] Jean Jaurès'nin de katıldığı "yanlış bilim"e karşı düzenlenen "cumhuriyetçi yemekleri"nin sayısı böylece arttı.

Bu bilimsel dost sofralarında gerçekten alabildiğine verip veriştiriliyordu. Kınananların yalnızca atomlar olduğu sanılmasın. Biyolojide mikroskopun, astronomide teleskopun (çünkü araç görüşü değiştirir, doğal değildir) kullanımı ve olasılık hesapları da (çünkü doğa ancak belirlenimci olabilirdi) yasaklanıyordu.

Ne var ki bu adamlar ne aptal, ne de cahildiler. Berthelot büyük bir kimyacıydı, Sainte-Claire Deville de öyle. Önemli buluşlar yaptılar. Renan büyük bir yazardı. Auguste Comte'a sevgim daha az: yaptığı kötülüklere öyle bir bilimler sınıflaması ekledi ki bunun akıllara verdiği zarar bugün hâlâ yıkımlar yapıyor.

Bu atom karşıtı kanı Fransa'da hayli uzun ömürlü oldu. Sorbonne'da 1950'lerin ortalarında, kimsenin onları görmediği bahanesiyle derslerinde atomlardan söz etmeyi reddeden (Berthollet gibi) bir kimya profesörü bile tanıdım.

Bakan olduğum dönemde Sorbonne Meydanı'ndan Auguste Comte'un heykelini kaldırıp, yerine Victor Hugo'nun ve Louis Pasteur'ünkileri koymayı başaramadığıma gerçekten üzülüyorum. Onu çevirebilmiş olmakla yetindik: artık Sorbonne'a neredeyse sırtını dönüyor.

Kimyacının alet çantası

"Paris'teki tıkanıklıklar"a karşın gelişmeye devam eden Kimyaya dönelim.

Söylediğimiz gibi, kimyacı, bir dünyalar yapımcısıdır. Lego oynayan bir çocuk gibi çalışır. Elinde elementler (atomlar) vardır ve bu atomların türlerine göre belirli sayıda kolları, belirli bir boyutu vb. olduğunu göz önünde tutarak bunları bir araya getirir. Gerçekten de kimi atomlar ya da atom grupları iridir, kimileriyse küçüktür: böylece uzayı az ya da çok "kaplarlar".

Bu noktada, buraya kadar değindiğimiz temel kimya simgeleri aşamasını geçip, uzayda molekül toplulukları oluşturacağımız üç boyutlu bir oyuna geçmek olanaklı.

Bir araya toplanmanın kuralları, öncelikle, çeşitli atomların türdeşlerine bağlanma kapasitelerine, yani kimyasal birleşme değerlerine bağlıdır.

Böylece, dört kolu olan Karbon atomu yalnız birer kola sahip dört Hidrojen atomuyla birleşerek, dörtyüzlü bir CH_4 molekülü oluşturabilecektir.

Ama aynı elementin birçok atomunu birleştirmeye kalkarsak işler karmaşıklaşır.

İki Karbon atomuyla, C_2H_6 elde ederiz.

Şuradan buradan, gittikçe daha çok sayıda atomu bir araya toplayarak birbirinden karmaşık moleküller oluşturacağız.

Artık ondan sonra kimyacının dili, CO_2, H_2O, CH_4 gibi basit simgesel anlatımdan biçimsel anlatıma geçecek... ve bunun da mantıksal bir açıklaması var.

Güçlü ve zayıf bağlar

Kimya aşk gibidir – zaten kimilerine göre aşk, kimyadır.[7] Atomlar arasında güçlü ve zayıf bağlar, kopmalar ve itmeler vardır. Durumların çeşitliliğinin kökeninde yatan da bağların bu çeşitliliğidir.

Bir molekülün içerisindeki bağlar güçlüdür, ama kimileri diğerlerinden daha güçlüdür. Öyle ki kimyasal reaksiyon önce bir bağın kopması, sonra da bunun daha güçlü bir bağı doğurmasıyla oluşur. Sıradan bir molekülün içerisinde genellikle tüm bağlar güçlüdür. Peki molekülleri ne tür bağlar bir arada tutar?

Eğer 16 gram Metan'da (CH_4) 6.023×10^{23} molekül varsa, bunları birbirlerine bağlayan nedir?

Yanıt: zayıf bağlar. Bütünün bağlamlılığını sağlayacak kadar güçlü ama cismin biçim değiştirmesine ve akmasına izin verecek kadar zayıf. Güçlü bağlar, zayıf bağlar. Aşkta olduğu gibi, kuşkusuz burada da tüm ara nağmeler var ve kimyanın inceliklerinin gizi de burada yatıyor. Çünkü kimya gerçekten de oldukça incelikli bir bilimdir...

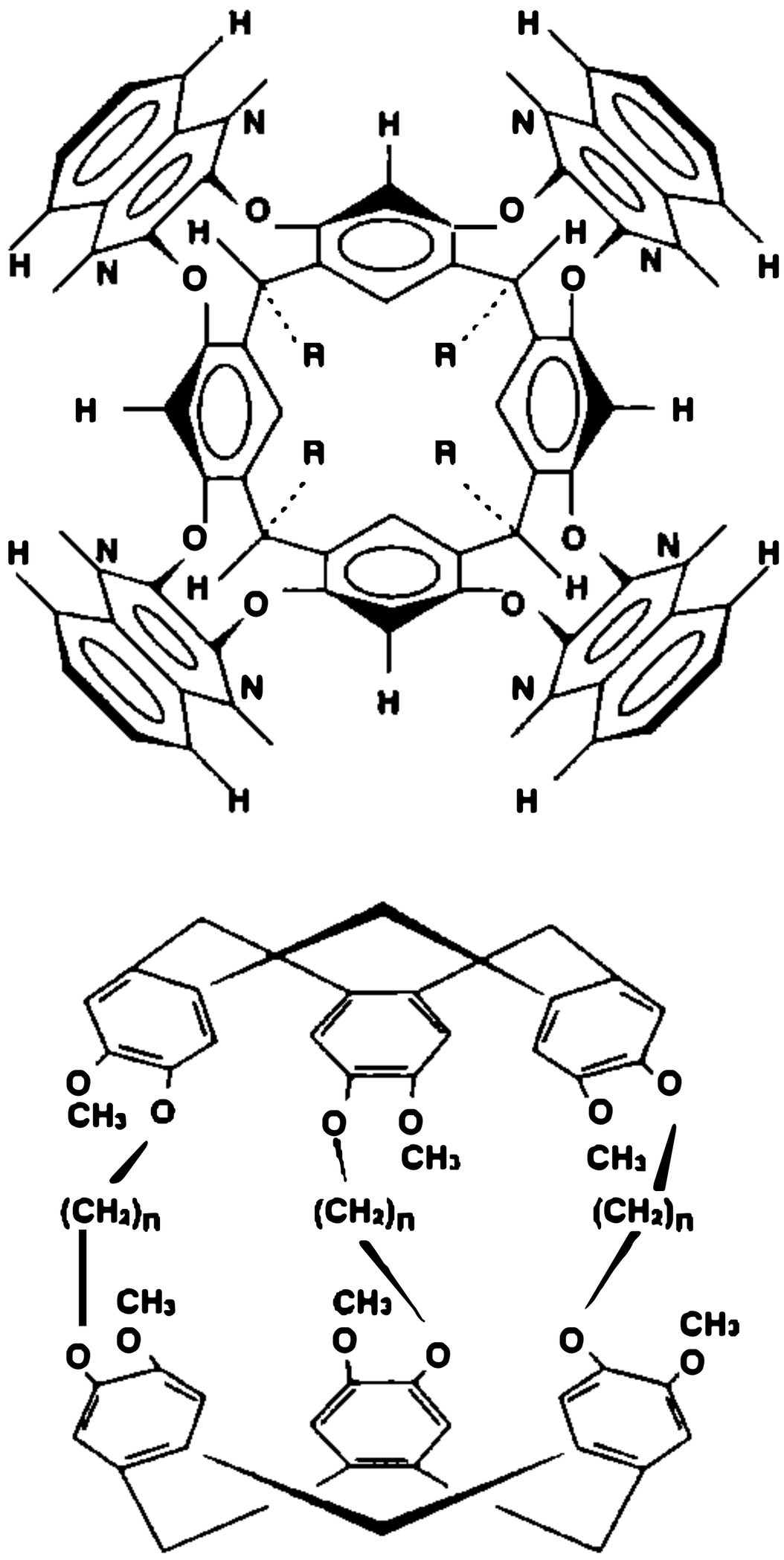
Kimya, büyük incelik ve beceri gerektiren bir yaratıcılık bilimidir.

Kimyacı, iki boyutlu bir dünya yaratan bir oymacı değildir. Üç boyutlu yapıtları rengârenk olan bir heykeltıraştır.

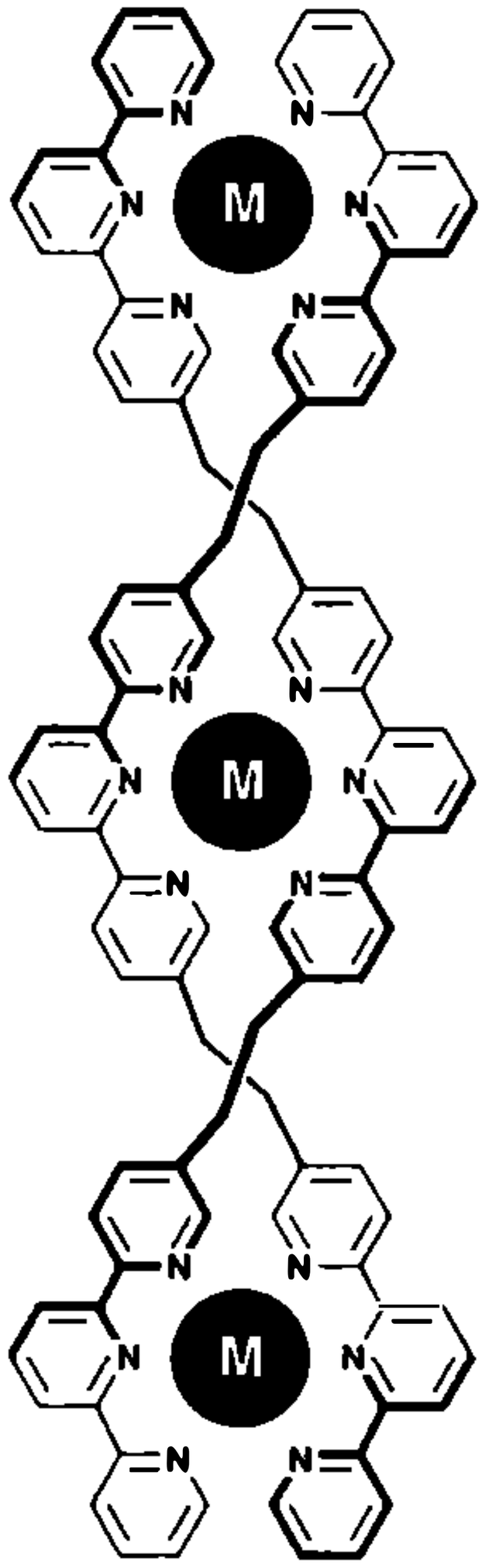
Sonsuz küçüğün heykeltıraşıdır o. Molekülleri birbirlerine bağlayan, onları çiftleşmeye zorlayan bir sonsuz küçük. Bir cins erotik heykeltıraş... molekül düzeyinde.

7 Bkz. Jean-Didier Vincent, *La Biologie des passions* [Tutkuların Biyolojisi], Paris, Odille Jacob, 1994.

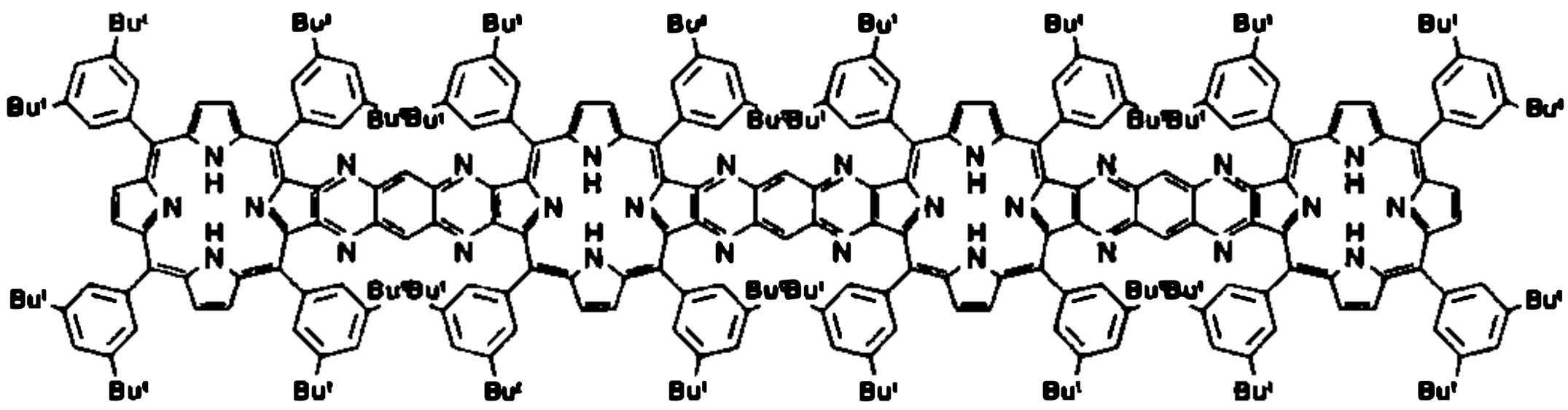
Kavitand/Kriptofan



Üçlü Sarmallar



Porfir



Şekil 1.1
Nobel ödüllü Fransız Jean-Marc Lehn'in keşfettiği ve kriptatlar olarak adlandırılan birtakım karmaşık moleküllerin yapısını gösteren şemalar. Uzlaşmayla, açılarda Karbon atomları gösterilmez. Sol üstte, N = Azot, O = Oksijen, R = bir kök. Sağda, M, bir kafesin merkezinde bir metaldir. Altta, karmaşık bir porfir, But (Bütadiyen).

Kimyasal birleşme değerlerine ilişkin başlangıç kurallarına, aynı ölçüde temel nitelikte bir başkasını eklemeliyiz: kimi atomlar ya da ilkel atom grupları gerek uzun zincirler biçiminde, gerekse üç boyutlu olarak birleşebilir, toplanabilirler. Molekül ya da atom topluluklarının bu "birleşici" olgusuna polimerizasyon denir.

Böylece Karbon atomları, dörtyüzlü CH_4 kafeslerinde tam deyişle devasa molekül zincirleri oluşturmak üzere birbirlerine bağlanabilirler. Yaşamın temelinde yatan da karbonun bu biçimde birleşebilme özelliğidir, çünkü daha sonra göreceğimiz gibi, canlı varlıkları oluşturan, bu büyük moleküllerdir.

Karbon'un komşusu bir atom olan Silisyum da dörtyüzlüler oluşturur, ama bu kez oksijenle: SiO_4. Bunun da kimyasal birleşme değeri dörttür, bu da benzerleriyle bağlanabilir, bu da polimerleşir. Yerküredeki maddelerin, madenlerin, taşların oluşumunun temelinde bu özellik yatar.

Yaşam ve yerküre; Karbon ve Silisyum, dört kolu olan ve molekül toplulukları oluşturabilen iki atom... Kimyanın mantığı tartışmasız olağanüstü.

Zayıf bağlar arasında biri var ki yaşamın kimyasında büyük önem kazandı; buna Hidrojen Köprüsü adı verilir.

Her biri ayrıca kendi moleküllerine bağlanmış bulunan iki Hidrojen atomu arasında karşılıklı bir çekim vardır.

Bu çekim zayıftır ve örneğin ısıyla kırılabilir ama genellikle maddenin, örneğin suyun, bağlamlılığı için genellikle yeterlidir. Suyun öyle kolayca akabilmesi bundandır, ama soğuğun etkisi altında kristalleştiğinde altıgen biçimli o harika kar kristallerini oluşturması da yine bundandır.

Yine daha sonra göreceğiz ki şu ünlü DNA gibi kimi biyolojik moleküllerin içinde Hidrojen Köprüleri temel bir rol oynar. Ama acele etmeyelim. Yine de *Hidrojen Köprüsü* sözcüğünü akılda tutalım.

Kristaller de birbirine benzer atomların üç yönde birleştiği dev moleküllerdir. Bunlar üç boyutlu polimerlerdir. Ama bu birleşme ek bir özellik uyarınca gerçekleşir: simetri. Bu atom toplulukları birer kafes oluştururlar, başka deyişle üç boyutlu boyanmış bir kâğıt ya da bir tür örgü.

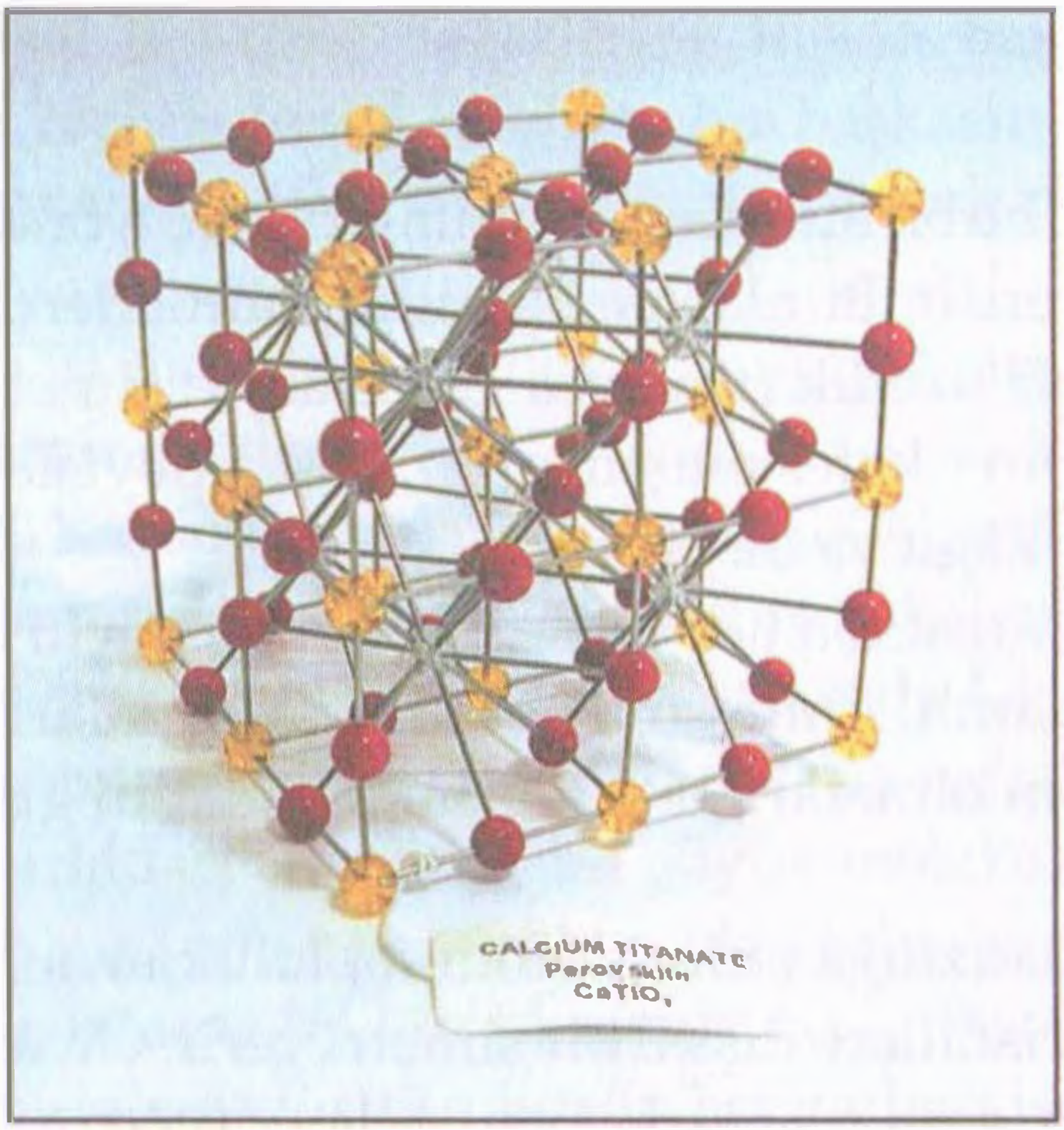
Atomlar arasında her yerde, her yönde güçlü bağlar işler. Katıların bağlamlılığının sırrı budur. Akmamaları, çoğunlukla sert, kırılgan olmaları, biçimlerini bozmanın güçlüğü bundandır.

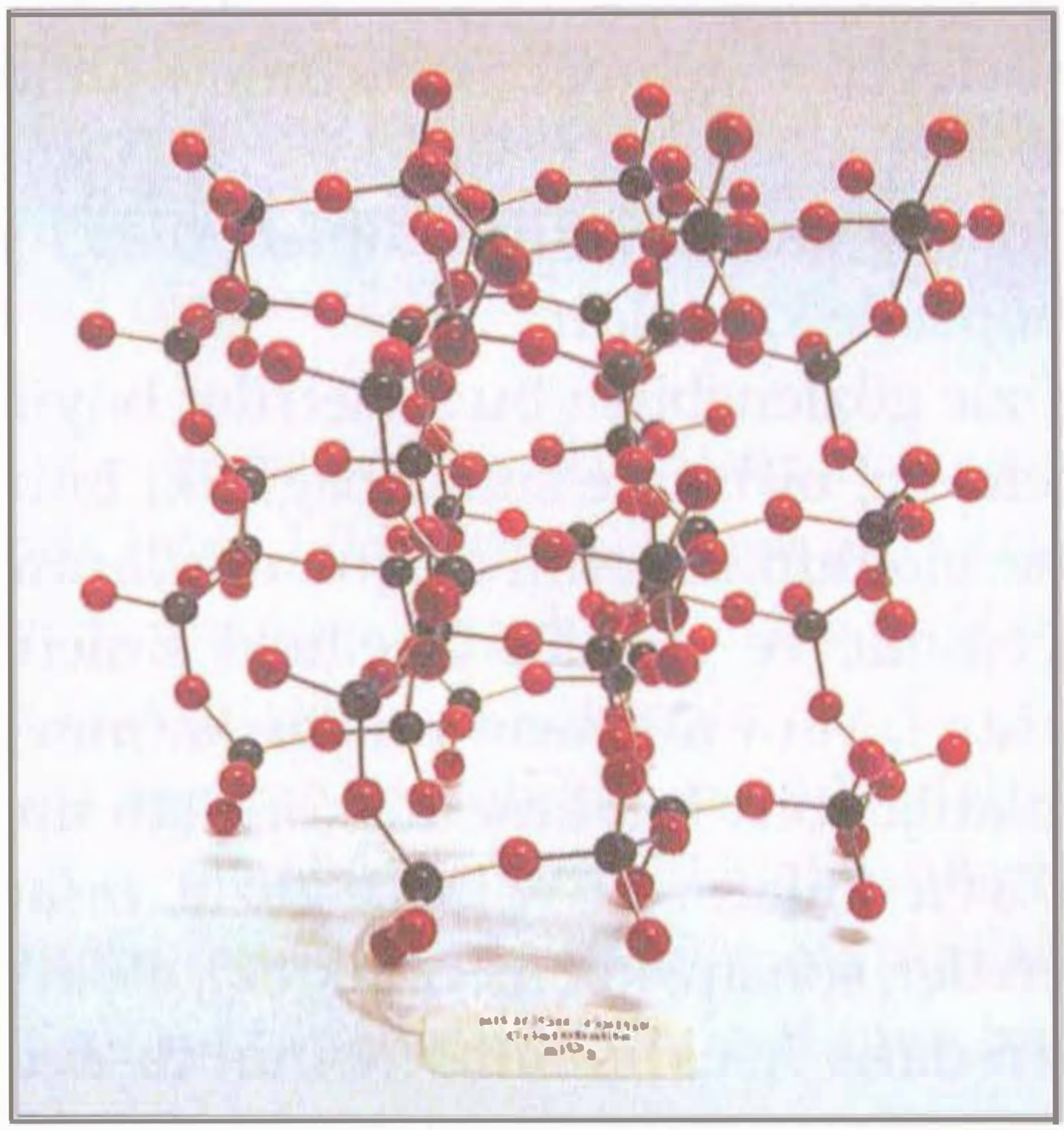
Ama sonsuzluğa atılmış atom topluluklarının simetrileri, sonunda kristallere dışsal bir simetri verir. Örneğin kristallerin tam belirlenmiş açılarla kesilebilen düzlemsel yüzeyleri olmasının, pek beğendiğimiz ve yeri geldiğinde eşlerimizin yüzüklerini süsleyen o geometrik biçimleri almalarının nedeni de budur.

Altı yüzlü kar taneleri, Pirit küpleri (FeS_2) ya da sofra tuzu (NaCl): hepsi de kristaldir.

Çıplak gözle gözlenebilen bu simetriler büyüleyicidir ve kristalleri inceleyen, birbirine sıkıca bağlı iki bilimin, kristalografi ile mineralojinin temelini oluşturmuşlardır.

Atom ölçeğinde ve görülür ölçekteki simetriler arasındaki bu bağlantıyı, yani milyarın milyar katının milyar katı çarpanlarla anlatılan bir "büyüme"de korunan simetriyi, Başrahip Haüy 1784'te anlamıştı: "Çıplak gözle, insan ölçeğinde gözlenen simetriler, sonsuz küçük ölçekteki, atom ölçeğindeki düzenlemelerin daha içsel bir simetrisinin dışavurumundan başka bir şey değildir." Günümüzdeki çalışmalar onun bu görüşünü doğrulamış oldu.





Şekil 2.2
Bir kristalin iç yapısını gösteren şema. Atomlar, üç boyutlu sürekli bir yapı üzerinde yayılmış olarak birbirlerine göre sabittir.
Katıların çoğunluğu kristal yapısındadır. Üstte, yeryüzünün iç katmanlarında en bol bulunan mineralin, perovskit mineralinin iç yapısı. Altta, bir SiO_2 (kuvarts) türü olan kristobalit.

Peki molekülleri ve kristalleri oluşturmak için kimyacı hangi alet çantasını kullanır? Elinde birbirinden farklı kaç atom bulunur?

Maddede 92 ayrı atom vardır. En basit (dolayısıyla en hafif) olanı Hidrojen'dir. En karmaşık olanı (dolayısıyla doğal halde bulunanların en ağırı) Uranyum'dur.

Bu basitten karmaşığa geçişin nedeni ve nasılı bugün tam olarak açıklanıyor. Ama bunu sonraya bırakalım...

Demek ki 92 element var. İkişer ikişer, sonra üçer üçer birleştiklerinde 125.580 molekül olanaklılığı eder bu – üstelik belirttiğimiz gibi, daha karmaşık olanları da düşünülebilir. Bu demektir ki kuramsal olarak olanaklı molekül bileşimlerinin sayısı sonsuzdur. Onu ancak kimyacının düş gücü sınırlayabilir. Ama bu kez deneysel düş gücü söz konusu, çünkü kimyasal birleşimler gerçekleştirmenin basit ve sıradan bir işlem olduğu sanılmasın. Kendiliğinden oluşan kimyasal bileşimlerin sayısı azdır, çoğu kez atomların birleşmede gösterdikleri bir tür "çekingenliği" (hatta alerjiyi) yenmek gerekir, atomlar arasında kalıcı bağların oluşabilmesi için koşullar uygun olmalıdır. Bunun içinse doğru yolları, doğru aracıları bulmak gerekir. Kimyacının işi budur. Kâğıt üzerinde bir kimyasal reaksiyon yazıp atomları karşı karşıya getirerek bir kimyasal reaksiyon oluşmasını beklemek yetmez! Amaca ulaşmak için hangi koşulların sağlanacağını, hangi yolun izleneceğini bulmak gerekir. Bu da hep kolay olmaz.

Madde, tüm madde atomlardan ve boşluklardan oluşmuştur (ileride, atomlardan, *dolayısıyla* boşluktan diyeceğiz). Evren maddeden yapılmıştır, atom, büyük ölçüde bir boşlukla

birlikte, Evrenin temel yapıtaşıdır. Peki atomun kendisini ne oluşturur? Demokritos, onun en son madde olduğunu düşünüyordu. Bunun doğru olmadığını bugün biliyoruz...

2
Ağır* cisimlerin düşüşü

*Petank** topları ve tenis topu*

Bakanlığım sırasında, çoğu insanın fiziğin en temel ilkelerini bilmediğini televizyonda söylemek gibi kuşkusuz fazla cesurca bir düşünce aklıma geliverdi. Örnek olarak cisimlerin düşüşünü aldım ve sordum:

"Bir petank topunu ve bir tenis topunu aynı anda elimden bıraksam, kütleleri birbirinden farklı olmasına karşın, yere aynı anda varacaklarını kaç kişi bilir?"

Kendiliğinden aklıma gelen bu sav, ünlü bir hiciv dergisinde tepki uyandırdı; dergi on beş gün sonra benim savımın "yanlış" olduğunu, anımsattığım ilkenin "ancak boşlukta geçerli olduğunu, havanın direncinin her şeyi değiştirdiğini" açıklayan bir makale yayımladı. Zaten bir fizik profesörüne danıştıklarını ve onun da aynı kanıda olduğunu yazdı.

Bu tavrın kendisinin kınanacak bir tarafı yoktu. Hiciv

* Fransızca başlıkta "ciddi, oturaklı" anlamındaki "grave" sözcüğü "ağır" anlamında kullanılmıştır. Yazar bu dipnotta bu sözcüğün eskiden, 16. yüzyılda, tartılabilir, ağır cisimler için kullanıldığını, Latince ağır anlamına gelen *gravis* sözcüğünden geldiğini ve ağırlık, yerçekimi gibi sözcüklerin kökünde bulunduğunu, ayrıca bu sözcüğün etkili bir ağırlığı olan bir şey ya da kişi için de kullanıldığını belirtiyor. (Ç.n.)

** Tenis topundan çok daha ağır toplarla oynanan bir Fransız oyunu. (Ç.n.)

dergilerinin işi bakanlara eşek kulaklı şapka giydirmek değil midir zaten?

Beni tedirgin eden, öne sürülen savların, 16. yüzyılda Galilei ağır cisimlerin düşüşü üzerine çalışmasını yayınladığında karşıtlarının geliştirdikleriyle tıpatıp aynı olmasıydı!

Asıl sorun, gazetecilerin tutumundan çok, fiziğin nasıl algılandığıydı. Çünkü ağır cisimlerin düşüşünde kütlenin etkisi yoktur (ya da neredeyse yoktur). Havanın direncinin birkaç metrelik bir düşüşte yarattığı küçük gecikme önemsenmeyecek kadardır. Önemli olan, bilim adamlarının bekçilik ettikleri dogma değil, kendi kendimize yapabileceğimiz deneydir.

Faktörlerin sınıflaması, yaklaşıklık, büyüklükler sıralaması, doğrudan deney sıklıkla göz ardı ediliyor. Buna çare bulmak için Georges Charpak, çocuklara deneyden hareketle bilimsel düşünmeyi öğreten "el hamuru"nu yarattı. Daha alçakgönüllülükle söyleyeyim, benim bu kitabı yazma nedenim de budur.

Galilei ve cisimlerin düşüşü

Yerçekimi kurallarının modern dönem tarihini Galilei'ye, daha doğrusu Aristoteles'in tersini savunuşunda Galilei'ye dayandırma alışkanlığımız var.

Aristoteles, yerkürenin cisimleri çektiğini ve bu çekimin bunların kütlesiyle orantılı olduğunu söylüyordu.

Bir meşe palamudu meşe yaprağından daha hızlı düşer; kanıtlanması gereken buydu.

Buna karşılık Galilei, eğik Pisa Kulesi'nde yaptığı deneylerle, kulenin tepesinden aynı anda bırakılan bir tüfek saçmasıyla bir top güllesinin yere aynı anda ulaştığını gösterir.[8]

8 Deneyi kendisinin yapıp yapmadığını bilmiyoruz ama söylenti böyle.

Kütle, der, cisimlerin düşüşünde rol oynamaz.

İnanması zor.

Yine de ben sizi bu deneyi kendi başınıza yapmaya davet ediyorum. Kâğıttan bir top yapıp onu bir elinize alın, diğer elinize de ağır ve katı biçimli bir cisim alın. İkisini aynı anda bırakın. Göreceğiniz gibi, yere aynı anda varırlar. Deneyi tekrarlayın: cismi değiştirin, yerine çok ağır bir şey alın ve sonra masa tenisi topuyla yeniden deneyin, sonuç hep aynı olur.

Deneyi arkadaşlarınızın önünde yapın, sürpriz etkisi garanti!

Aklınız karıştı. Aklınız karıştı, çünkü okulda cisimlerin birbirlerini kütleleriyle orantılı bir güçle çektiğini öğrenmiştiniz. Yani ağır cisimlerin yerküre tarafından hafif cisimlerden daha fazla çekildiğini.

Öyleyse? Bir hile mi var?

Hayır.

Yalnızca kuşkucusunuz, Galilei'nin Pisa Üniversitesi'ndeki ve sonra da Padova Üniversitesi'ndeki meslektaşları gibi.

Hep aynı eleştiri: Galilei, havanın direncini göz önüne almadı (tıpkı bugün söylendiği gibi).

Galilei çok basitçe yanıtladı. Eğer düşüş Aristoteles'in düşündüğü gibi kütleye bağlı olsaydı, top mermisi yere vardığında tüfek saçması daha kulenin üçüncü katında olurdu – kütleleri öylesine farklıdır ki.

Başka bir anlatımla, Galilei'nin kanıtladığı gibi, meşe palamudunu meşe yaprağıyla karşılaştırırken havanın direncini hesaba katmayan Aristoteles'ti Çünkü havanın direnci cismin biçimine büyük ölçüde bağlıdır; yassı bir cisim üzerinde çok güçlü, yuvarlak bir cisim üzerinde daha zayıftır (uçakların kanatlarının yassı yapılması bundandır).

Kuşkusuz, eğer deneyi tam bir kesinlik kaygısıyla gözlemlerseniz, Pisa Kulesi deneyinde de, arkadaşlarınızın önünde yapacağınız daha basit deneyde de havanın direncinin rol oy-

nadığını görürsünüz, ama etki çok küçük, yok sayılabilecek boyutta olacaktır!

Galilei bunu anlamıştı. Deneyin tam "gerçekçi" olması için boşlukta yapılması gerektiğini kendisi söyledi. Ama, diye ekledi, elimde boşluk yok. Buna karşılık ben de deneyimi hava ortamına aktararak boşlukta olsa ne olurdu diye kestirmeye çalışıyorum.

Birbiri ardına gelen kanıtlar karşısında, Aristoteles hayranı üniversite hocaları (ve din adamları), Galilei'nin haklı olduğunu (bu noktada) kabullenmek zorunda kaldılar.

Ama her şeye rağmen yine de çelişkili olan bu durumun açıklaması, nedeni neydi?

Galilei'nin geliştirdiği düşünce şöyleydi: bir cisim hareketsizken onu harekete geçirmek için ona bir güç uygulamak gerekir. Ama cisim ne kadar ağırsa, onu kımıldatmak için gereken güç o kadar büyük olmalıdır. Bir fili hareket ettirmenin bir fareyi hareket ettirmekten daha zor olduğunu herkes bilir.

Oyleyse cismin eylemsizliği kütlesiyle orantılıdır.[9]

Oysa diğer yandan, yerkürenin çekimi de kütleyle orantılıdır.

Buna göre, cisimlerin düşüşü iki gücün karşıt eyleminin sonucudur; biri (eylemsizlik gücü) cismi hareketsiz tutmaya çalışır, diğeri (yerkürenin çekim gücü, yerçekimi gücü de denir) onu harekete geçirmeye çalışır. Kütle her iki durumda da işin içindedir; eylemsizlik durumunda ve hareket halinde: demek ki güçleri eşit yazdığımızda her iki tarafta da bulunan kütleyi sadeleştirebiliriz. Buna göre, cismin ivmelenmesi kütlesine bağlı değildir!

Bu sonuç tek kelimeyle olağanüstüdür ve daha sonra göreceğimiz gibi, temel önemdedir. Ama Galilei asıl soruya cevap vermiyordu: cisimlerin düşüş yasası nedir tam olarak?

9 Buna eylemsizlik kütlesi denir.

Galilei'nin dehası şuradaydı: kesin bir zaman ölçüsü olmadığından, düşey olarak atılan cisimlerle yapılan deneyleri, hatta Pisa Kulesi'nin tepesinden yapılanları bile sayıya dökmenin güç olduğunu, öyleyse daha ileriye gidebilmek için deneyin çerçevesini değiştirmek gerektiğini anlamıştı.

Gerçekten de herkes bilir ki Galilei'nin devrinde kronometre yoktu ve bir topun eğik Pisa Kulesi'nin 40 metresini katetmesi için gereken süre yaklaşık 3 saniyeydi.

Aşağıdan gözlemleyen biri için bu çok hızlıydı. Bir... iki... top çoktan yere değmişti.

Kronometresiz nasıl ölçülebilirdi?

İşte Galilei'nin karşılaştığı büyük sorun buydu.

Peki hareketi yavaşlatsak?

Ya topun düşüşü 3 saniye yerine 5, 6 ya da 7 saniye sürseydi? O durumda belki onu ölçmeyi umabilirdik.

Topların (ya da bilyelerin) düşüşteki hareketlerini yavaşlatmak için Galilei, eğimli bir düzlem kullanmayı düşündü.

Böylece, üzerlerinde topu yönlendirecek bir çizik olan şu ünlü eğimli düzlemleri[10] yaptı ve deneylere başladı. Top, düzlemin eğimine göre, düzlemi 6 ya da 8 saniyede katediyordu.

8 saniye, 8 saniye..., bir, iki, üç, dört, beş, altı, yedi, sekiz. İşte ölçülebiliyor! dedi Galilei kendi kendine. Ama yine de yüksek sesle saydığı ona yeterince kesin gelmedi. Başka bir şey bulmalıydı.

Bunun üzerine, bir musluğu olan bir su kabı aldı. Musluğun altına suyu toplamaya yarayacak başka bir kap koydu.

Bir eliyle topu bırakırken diğer eliyle de aynı anda musluğu açıyordu. Top aşağıya vardığında musluğu kapatıyordu. Ardından, zamanın bir ölçüsünü alabilmek için toplanan suyu tartıyordu.

10 Bunları bugün Floransa'da görebiliriz.

Daha sonra, onlara iyi şarabı ayırt etmeyi de öğreten böyle sıradışı bir hocaya hem hayran, hem de sadık olan öğrencilerinin yardımıyla deneylerini geliştirdi. Eğimli düzlem üzerine düzenli aralıklarla işaretler koydu ve bilyenin bir işaretten diğerine gitmesi için gereken süreyi ölçtü.

Bu sürelerin geometrik olarak azaldığını saptadı. *Alınan yol zamanın karesiyle* (kendisiyle çarpımıyla) *orantılıdır*. 1, 2, 3, 4 saniyede, alınan yol 1x1= 1, 2x2= 4, 3x3= 9, 4x4= 16 olarak ya da 1, 4, 9, 16, ...25 vd olarak artar.

Kendisini heyecanlandıran bu sonucu doğrulamak için, en iyi yönetmenlere yaraşacak bir oyun kurdu.

Eğimli düzlemin boylu boyunca birbirlerine halatla bağlı çanlar dizip, bilye halatı kestiğinde çalacakları biçimde yerleştirdi. Daha sonra, deneme yanılmayla, top düşerken çıkan seslerin birbirini düzenli aralıklarla izleyeceği biçimde bu çanların yerlerini değiştirdi: ding, ding, ding... Kulağın seslerin ritmine karşı son derece duyarlı oluşundan yararlanıyordu (bunu ona müzikle ve matematikle uğraşan babası öğretmişti).

Bundan sonra, çanların birbirine uzaklığını ölçerek bunların geometrik dizi halinde olduğunu saptadı.

Tekdüze olarak ivmelenen hareketle zamanın karesinin fonksiyonu olan uzaklıklar yasasının –a bir oransallık sabiti olmak üzere $x = a.t^2$ yazılır– doğruluğunu gözler önüne seren bu deneyler, ona sarsılmaz bir ün kazandırmaya yeterdi. Ama o daha ileri gitti.

Düzlemin eğimlilik derecesine bağlı olarak topun gittikçe daha hızlı düştüğünü, dolayısıyla aynı yolu gittikçe daha az zamanda aldığını gördü.

Bu süreleri ölçtü. Eğimli düzlemlerin açılarını ölçtü. Düzlemin eğimi ne kadar çoksa topun o kadar hızlı düştüğü gerçeğini sayısallaştırdı. Düşündü... Araştırdı... Ve sonra aklına parlak bir düşünce geldi. Neden sonuçlar eğimin 90° olduğu,

diğer bir deyişle düzlemin dik olduğu duruma uygulanmasın? Eğer 20°, 40°, 60°, 70° için düşüş hızını biliyorsa, neden bunlardan 90° için bir yasa çıkarılmasın?

Madem ki dik düşüşlerin sürelerini bir kuleden ölçmeyi başaramamıştı, bunları eğimli düzlemlerden hareketle dolaylı yoldan saptardı!

Peki ama eğer hepsini çoktan bulduysa, bunların mantığını anlamak ve matematiksel olarak anlatmak için elli yıl, yani bilim sahnesine Newton çıkana dek beklenmesine ne dersiniz?

Çok basit: Galilei'nin elindeki matematiksel donanım çok ilkeldi. Cebir bilmiyordu. Galilei, yirmi yıl sonra bilim adamları için günlük kullanım aracı olacak olanı bilmiyordu. Elinde aşağı yukarı, Eukleides ve Pythagoras geometrisinden başkası yoktu. Kuşkusuz bunlar da önemliydi, ama iyi anlamak için yetmiyordu. Galilei'nin yapıtlarının asıllarını okuduğumuzda (yakın dönemde yapılan kusursuz çevirileri öneririm[11]) tamamı geometri üzerine kurulu kanıtlamaların uzunluğuna ve karmaşıklığına şaşarsınız.

Galile'den Newton'a geçiş, geometrinin kullanımından cebirde ustalaşmaya geçiştir – ve biraz daha da fazlasıdır...

Hiçbir şey yoktan var olmaz!

Böylece Aristoteles'ten Galilei'ye, hatırı sayılır bir sıçrama yapılmış oldu. Aristoteles, cisimlerin düşüşünün kütleye bağlı olduğunu ve bu düşüşün sabit bir hızda gerçekleştiğini düşünüyordu. Galilei ise tersine, cisimlerin düşüşünün bunların kütlesine bağlı olmadığını (en azından boşlukta), düşüş hızla-

11 Galileo Galilei, *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* (Dünyanın İki Büyük Sistemi Üzerine Diyalog), Paris, Seuil, 1992; *Le Messager des étoiles* (Yıldızların Habercisi), Paris, Seuil, 1992.

rının düşüş süresince durmadan arttığını gösterdi. Galilei'den Newton'a da buna benzer bir sıçrama gerçekleşecekti.

Bu biçimde özetlendiğinde, tarih ilgi çeker. Gerçeği keşfetmek ve Aristoteles'in baştaki yanılgısını düzeltmek için iki bin yıl geçmesi gerekti! Ne yazık ki bu tümüyle söylenti. Galilei soruna hiç yoktan el atmadı ve dehası bin yıllık bir cehalet okyanusunda parlamadı. Bu düşünceler zaten ortalıkta dolaşıyordu. Evet, Galilei'nin öncelleri vardı! Hiçbir şey kendiliğinden yaratılmaz, bilimde de durum başka yerdekinden farklı değildir.

14. yüzyılda Albert de Saxe, Aristoteles'in yanıldığını ve cisimlerin düşüşünün sabit hızla olmadığını çoktan anlamıştı. Serbest düşüşte tüm cisimlerin ivme kazandığının farkına varmıştı. Serbest düşüşteki cismin bu ivmelenmesini açıklayan bir yasa önermişti: düşen bir cismin ivmelenmesi öyledir ki iki metre yol aldığında hızı, bir metrelik yolunun sonunda eriştiği hızın iki katıdır, diyordu.

Aynı dönemde, Sorbonne'un ilk profesörlerinden Nicolas Oresme de kendi açısından, daha da iyi bir sezgi geliştirdi. Düşen bir cismin aldığı yolun, düşüş süresinin karesiyle orantılı olduğunu öne sürdü.

Oresme'in sezgisi doğruydu, çünkü bu Galilei'nin daha sonra keşfettiği yasanın ta kendisiydi, ama Aristoteles'in düşünceleri döneme o derece işlemişti ki neredeyse kimse ona inanmadı. Kendi döneminin fazla ilerisinde olmak ancak kuşku uyandırır. Bu ne yazık ki Bilimin ilerlemesinde de görülen bir özellik!

Aşağı yukarı aynı dönemde Oxford ekolü Oresme'inkiyle aynı sonuca ulaştı ve buna geriye dönük olarak "Bacon Kuralı"[12] adını verdi; bu kurala göre, durgun halden serbest düşü-

12 Oxford profesörü, Fransisken, "harika doktor" denen Roger Bacon'ın (1220-1292) adından.

şe geçen ağırlıklı bir cismin (ağır cisim) aldığı yol, düşüşünün başlangıcından beri geçen sürenin karesiyle orantılıdır.

16. yüzyılda ünlü Leonardo da Vinci de bu sorunla uğraştı ve karmaşık bir yasa öne sürdü. Çalışması, Aristoteles'in yanlışını tam olarak anladığını gösteriyor.

Sonuç olarak, Galilei'nin başarısı, Oresme'in anlamış olduğunu sistemleştirmek ve deneysel olarak kanıtlamak oldu –bu az bir başarı değil– ama düşüncesinin hiç yoktan gelmediğini de vurgulamak gerekir. Kuşkusuz tarih araştırmaları Oresme'in de öncellerinin olduğunu gösterecektir.

Top gülleleri

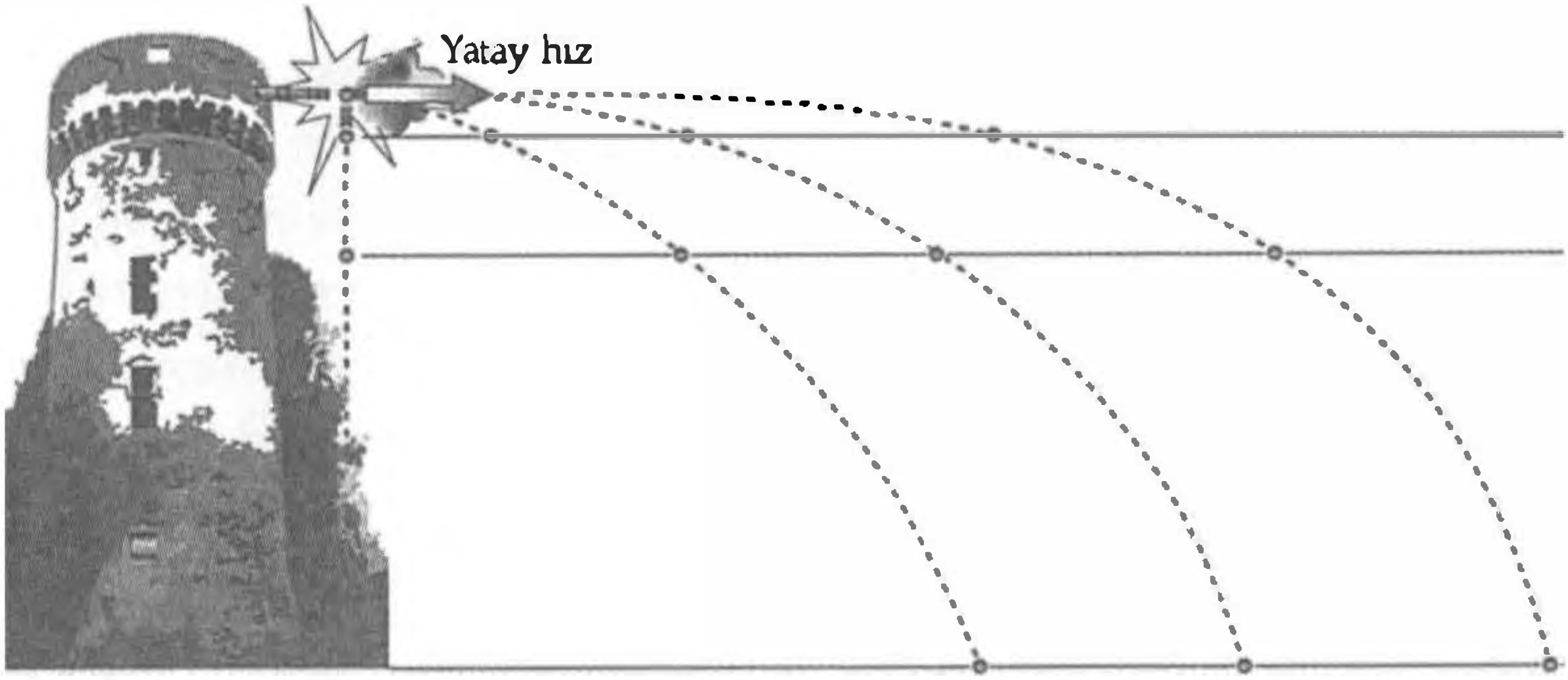
Galilei'nin eğimli düzlemlerden çıkardığı ikinci sonuç, bir cismin iki boyutta, yükseklik ve uzunluk boyunca yaptığı hareketin sorusunu sormak oldu. Eğimli düzlemde cismin düşüşü serbest değildi, eğim üzerine kazılmış olan yarıkla yönlendiriliyordu. Hareket, eğimli düzlemin desteği olmadan, serbest olarak başlatılsa ne olurdu? Yatay olarak fırlatılan bir cisim nasıl bir yol çizerdi?

Deneyi yapmak için eğimli düzleme yatay bir düzlemi, bir masayı ekleyerek onu uzattı. Top bir kez aşağıya ulaştıktan sonra yatay olarak yuvarlanıyor, daha sonra da parabolik bir eğri çizerek yere düşüyordu.

Beklenebileceği gibi, Galilei'nin aklında, top güllesinin menzilini incelemek vardı. (Ayrıca geleceğe yönelik olarak, bu alanda önemli bir buluş yapacak olursa askeriyeden elde edebileceği para. O dönemden sonra araştırma pratik uygulamaları iyice göz önüne alır oldu!)

Bundan sonra, yatay olarak fırlatılan bir cismin hareketini dikkatle inceledi ve neden bir parabol çizdiğini anlamaya çalıştı. Ardından hareketi biri yatay, biri düşey iki harekete böl-

meyi düşündü. Gerçekten dâhiyane bir düşünce, daha sonra vektörler olarak adlandıracaklarımızın kökünde bu var. Bu durumda yatay hareketin değişmez bir hızı olduğunu, oysa düşey hareketin hızının, yatay hareketin hızı ne olursa olsun serbest düşüş deneylerinde olduğu gibi sürekli arttığını anladı (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1
Bu şemada, bir kulenin tepesinden farklı hızlarla fırlatılan bir top güllesini inceliyoruz. Güllenin hızı ve katettiği yol ne olursa olsun, *yere düşmek için geçen süre aynı*. Bu deney, yatay ve düşey hareketlerin birbirinden bağımsızlığını açıkça gösteriyor.

Bu saptamanın sonuçları aklına olağanüstü bir düşünceyi getirdi.

Şöyle ki, *bir başlangıç hızıyla fırlatılan bir cisim, hareketini hiçbir şey etkilemezse bu hızı korur. Bu, eylemsizlik prensibidir. Tekdüze hareket halindeki bir cisme hiçbir güç uygulanmazsa tekdüze hareketinde kalır, durgunsa durgun kalır. Güç, hareketi yaratmaz, hız değişimini yaratır*. Anımsayacağımız gibi, Aristoteles ve Yunanlar, bir güç uygulandığında durgun bir cisim kımıldadığı için, gücün devinim yarattığını düşünüyorlardı. Ama bu bir kavrama yanlışıdır: önemli olan, harekete geçen durgun bir cismin ivmelenmiş olmasıdır!

Galilei daha da ileriye gitti. Masa üzerinde yatay olarak

yuvarlanıp, masanın kenarına ulaşan bilyenin yörüngesinin neden değişerek bir parabol çizdiğini sordu kendi kendine. Eğer hız yön değiştiriyorsa, herhangi bir ivmelenme onu etkiliyor olmalı, diye düşündü. Gerçekten de masanın kenarından başlayarak bilyeye yerçekimi etki eder, daha doğrusu masa artık yere siper olmadığından ona serbestçe etki edebilir. Farkına varmadan temel bir fizik ilkesini bulmuştu: etki ve tepki.

Bundan, gücün hareketi ivmelendirebildiğini ya da yönünü değiştirebildiğini çıkardı. Demek ki bir merminin yörüngesini değiştirmek istersek, ona bir güç uygulamak gerekir.

İvmelenme, bir cismin hızındaki değişmedir. Güç hızın yönünde uygulandığında, hızın büyüklüğü değişir (bildiğimiz, otomobilde hızlanma kavramı bu). Uygulanan güç hareketin yönüyle bir açı yapıyorsa, yön değişimi olur (bir virajda duyumsadığımız gibi).

Bundan şu çıkar: sabit hıza sahip bir cismin yörüngesine ona dik bir gücü sürekli olarak uygularsak, cisim dairesel bir yörünge izleyecektir. Galilei, bunu anlamış ve deneyle ispatlamıştı.

Bu düşünce, bir sapanın hareketini açıklamasına olanak verdi. Taşı döndürmek için uygulanan güç. Ardından, taş bir kez bırakıldı mı doğrusal bir yörünge izler. Muhteşem Galilei!

Cismin, üzerine bir güç uygulanmadıkça eylemsiz kalışı (hareket halindeyse hareket halinde kalır, durgunsa durgun kalır) üzerine düşünmesi, onu yine parlak yazgılı bir başka ilkenin keşfine götürdü: hareketin göreliliği.

Son sürat giden bir gemide olduğumuzu varsayalım. Bir denizci havaya oldukça ağır bir cisim atıyor. Nereye düşecek? Geminin hızı yeterliyse, denize, diye düşünür kimisi. Ama hayır. Havaya atılan cisim denizcinin ayaklarının dibine düşer. Neden? Çünkü geminin üzerindeki her cisim gemiyle

aynı hıza sahiptir. Eylemsizlik bir rol oynar oynamasına, ama geminin oluşturduğu dayanağa görece bir roldür bu.

Bu, daha sonra Einstein'ı mutlak bir referans noktası bulunmadığını, her deneyin ancak belirli bir referans çerçevesi içinde geçerli olduğunu söylemeye götürecektir. Aynı deney bugün trende yapılabilir. Bir topu havaya atın, ayaklarınıza düşecektir (eğer tren o anda hızlanmamışsa!).

Demek ki Galilei bunu anlamıştı. Kuşkusuz, Giordano Bruno bunu ondan önce anlamış görünüyor, ama bu ilkeyle mekaniğin temellerinden birini atan Galilei oldu.

Newton, nefretlik bir zekâ

Ardından Newton geldi.

1642'de, Galilei'nin ölüm yılında, İngiltere'de doğdu, sayıcılar buna sembolik bir rastlantı diyeceklerdir (Kabalacılar bundan daha "derin" sonuçlar çıkartırlardı).

Dulken evlenen, sonra yine dul kalan annesi onu büyükannesine emanet etti, sonra geri aldı ve onunla oldukça karmaşık bir ilişki sürdürdü. Gençliği üzerine pek dağınık bilgilerimiz var, ama üstün bir öğrenci olmadığı her şeyden belli.

Buna karşılık, kesin kaynaklardan bildiğimiz, yetişkinliğinde pek sevilmeyen bir insan ve aynı zamanda da üstün bir bilgin olduğudur. Newton üzerine çok şey yazıldı, çoğu gözlemci gibi ben de bu kişiye derin bir sevgi beslemiyorum; bunun birçok nedeni var.

Birincisi, bilimsel etiğe pek saygı göstermiyordu. Öyle ki kendisine hayranlık duyan (ama tavırlarına çok öfkelenen) Hooke, Flamsteed ya da Halley gibi çağdaşlarından bir şeyler çalmaktan çekinmedi.

Üstelik dönemin İngiliz bilim geleneklerinin tüm kaynaklarından yararlanarak çağdaşlarını, özellikle de zavallı Leibniz'i küçük düşürdü. Newton'ın çevirdiği dolaplardan, hırsızlıklarından ve aşağılamalarından az da olsa kaçabilen tek bilim adamı, Fransa'ya göç etmiş bir Hollandalı olan Christiaan Huygens'ti. Gizli saklı, bencil, içine kapanık, hırslı, tartışmadan kaçan, kötüleyici, salt yaralayıcı ve aşağılayıcı ve çoğunlukla da sinsice tartışmalardan hoşlanan, hiç yayın yapmayan ya da çok geç yapan biri. Kısacası, kişilik bakımından Newton'da bir bilim adamında olmaması gereken her şey vardı.

İkincisi, kadınlardan nefret ediyordu, dahası onları aşağı görüyordu. Onlardan hep uzak durdu, onları fahişelikle suçladı, ne zaman kendisine biri tanıştırılsa, bunun kesinlikle onu baştan çıkartıp bilimsel sırlarını çalmak gibi aşağılık bir amaçla yapıldığını düşündü. Onun acı alaylarından nasibini almayan yalnızca annesiydi... daha ne olsun?

Buna karşın, ileri bir yaşında, Maliye'yi yönettiği sırada, bir kadınla yaşadı: "iyi yetişmiş" olduğu söylenen, kibar, çalışkan, zeki, duyarlı, ve onun evinde kâhyalık görevini yapan öz yeğeni. Görünüşte onunla iyi geçiniyordu. Gerçekte oldukça kötü davranıyordu ona: terfiler ve çeşitli ayrıcalıklar elde etmek için gereksinim duyduğu güçlü kişileri baştan çıkarmaya itiyordu onu.

Ama Newton pek sevimli bir kişi olmadıysa da, tüm zamanların en büyük bilimsel yenilikçilerinden biri oldu. Doktor Jekyll ve Mr. Hyde!

Aslında, "bilim dâhisi" teriminin bir anlamı varsa (bunu da kanıtlamak gerekir), bunun herkesten önce ona yakıştığı üzerinde herkes anlaşıyor.

Gerçekten de Newton bilime o kadar çok şey verdi ki, kişiyi soyutlayıp (yine de belirli bir ölçüde), onun bilime yaptığı katkılara tarafsızca odaklanmalıyız. Burada onun mekaniğe

yaptığı katkıya eğilmekle yetineceğiz (ileride şu ya da bu gelişmeyle ilgili yine karşımıza çıkacak).

Mekanik

Newton, Galilei'nin deneylerini ve yasalarını genel ilkelere ve evrensel yasalara dönüştürecektir. Fiziğin temel direği olan mekaniği yaratacaktır. Peki mekaniğe katkısı tam olarak nedir? Ona dâhi diye diye bunu neden dediğimizi unutacağız sonunda.

Terimin bugünkü anlamıyla mekaniği kurduğu söylenir. Mekaniğin babasıdır; Galilei büyükbabasıysa o da babasıdır.

Bunun için ne yaptı?

Galilei'nin buluşlarını geliştirdi ve bunları matematiksel anlatıma döktü. Bunu yapmakla, mekanikteki şu temel ilişkiyi kurdu: *bir cismin kazandığı ivmelenme, ona uygulanan gücün onun kütlesine bölümünün bir fonksiyonudur*. Belirttiğimiz gibi, güç ne kadar büyükse o kadar çok ivmelenir; kütlesi ne kadar küçükse o kadar az direnir.

Ardından, yerçekiminin temel, evrensel yasasını keşfetti:

m ve m' büyüklüğündeki iki kütle, çarpımlarıyla doğru orantılı ama onları birbirinden ayıran uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak birbirlerini çekerler, $F = G \frac{mm'}{R^2}$.

Fizik ya da mekanik okumuş olanlar için bildik bir formül.[13]

"Efsane", bize Newton'ın girişiminin üç aşamada gerçekleştiğini söyler.

Önce Galilei'yi çalıştı, onu anladı, onun deneylerini tamamladı ve düşen bir cismin nasıl ivmelendiğini ölçtü. Hızı her saniye, saniyede 10 metre artıyor gibi görünüyordu. Bu,

13 m ve m' iki kütle, R mesafe, G de yerçekimi sabiti denen sabit.

ünlü elma öyküsüdür (aslında bu öykü hiçbir yeni katkı yapmadı, çünkü Aristoteles yerin meşe palamudunu çektiğini zaten biliyordu!)

Burada Newton, sonuç verici adımı attı. Galilei'nin sezgisel olarak anladığına o, kesin biçimini verdi. Demek istiyorum ki bugün bize çok bildik gelen şu ivmelenme kavramının ne olduğunu ve özellikle matematiksel anlatımını açıkça ortaya çıkardı. Hızın hızı. Arabanızın bir pedalına basıyorsunuz ve hız artıyor. İvmelendiniz. Galilei cisimlerin düşüşü sırasında hızın arttığını saptamıştı, ama bu hızın hızı kavramını tam olarak anlayamamıştı.

Nedeni? Söylemiştik, elinde cebir gibi güçlü bir araç yoktu.

Newton ise Araplardan gelen ve onların da Venedik, İtalya yoluyla Hintlilerden miras aldıkları bu cebirin içinde bulmuştu kendini.

Buradan çıkarak şunları yazdı: hız eşittir bir zaman biriminde alınan yol; ve ardından, ivmelenme eşittir bir zaman birimi başına hız artışı.

Bilimsel düşüncedeki temel bir dönemeci bu noktada işin içine sokar: diferansiyel denen yaklaşım. Bu işlem biçimi, terimleri ve simgeleri bilmeyenlere karmaşık gelebilir ama özünde basittir. Bir örnek alalım.

Orléans'a (Paris'ten uzaklığı 100 kilometre) gidiyorsunuz, yolculuk iki saatinizi alıyor. Öyleyse ortalama hızınız saatte 50 kilometreydi. Aslında ilk yirmi kilometreye bir saat, son seksen kilometreye de toplam bir saat daha harcadınız. Öyleyse hızınız ilk bölümde saatte 20 kilometre, ikincideyse saatte 80 kilometreydi.

Ama tüm yolculuğunuzun her anını kaydetseydiniz, aslında yolun ilk 20 kilometresinin değişik dilimlerinin değişen hızlarla gidilmiş olduğunu görürdünüz.

İlk 5 kilometreyi katetmek için 30 dakika (Paris çıkışında trafik sıkışıklığı) ve sonraki on beş kilometre içinse 30 dakika.

Son 80 kilometreyi aşmak için de aynı şey oldu, bu yol da iki bölüme ayrılabilir.

Yolun her bölümünü de ayrıca dilimlere ayırabiliriz.

Demek ki, çok kısa bir uzaklığı ele alırsak, hızı belirli noktalarda, anlık olarak belirlemek olanaklıdır.

"Diferansiyel"[14] hız budur. İvmelenme için de aynı yöntemi izleyebilir ve onu her an için hesaplayabiliriz.

Newton'ın icadı tam da budur. Diferansiyel hesap olarak adlandırılacak bir matematiksel donanım. Araç olarak tüm değişkenlerin küçücük değişmelerini kullanan bir hesaplama yöntemi.

Gerçeği eksiksiz bilmek isteyenler için önemli ama burada ikinci derecede kalan bu gelişmeleri bir yana bırakıp işlerin başka bir yönü üzerinde yoğunlaşalım.

Newton, Gücün ve ivmelenmenin neredeyse eşdeğer iki kavram olduğunu, birinin kökeninde diğerinin olduğunu da anlamıştı. Aristoteles, Gücün hareketi yarattığını düşünüyordu. Galilei, Gücün hızı değiştirdiğini göstermişti. Newton, Gücün ivmelenmeyi yarattığını açıkça ortaya koydu. Bir çarpan farkıyla (Galilei bunu gayet iyi anlamıştı): kütle. Ama kütle sabittir ya da birime indirgenebilir (akıllıca ya da alışılagelmiş bir tercihle).

Öyleyse Güç, birim kütle başına ivmelenmedir. Newton, eylemi nedenle özdeşleştirir. Güç ivmelenmeyi yaratır, Güç ivmelenmeyle kendini gösterir, öyleyse Güç ivmelenmedir (dönüşüm çarpanı olan kütle farkıyla).

Sonra da onu ölümsüz yapacak denklemi yazdı. F = m.a, yani *Güç (F) eşittir ivme (a) çarpı kütle (m).*

Ardından, başlangıçta bir önseziyle, Ayın hareketiyle ilgilendi: Ay yerkürenin çevresinde döner, çünkü yerküre ona yerçekimi türünde bir çekim gücü uygular. Bu gücü hesaplamaya çalıştı.

14 Aslında bu, anlık hızın diferansiyel olarak kaydedilmesidir.

Ahlaksal inceliği bilimsel inceliğiyle eşit derecede, olağandışı denecek bir insan olan, Fransa'ya göç etmiş Hollandalı Chris- tiaan Huygens, dönüş halindeki cisimler üzerine matematiksel bir teorem geliştirmişti.

Kendilerini daireden uzaklaştırmaya yönelik merkezkaç kuvvetin etkisinde olduklarından, dönüşlerini sürdürmeleri için onları sürekli merkeze doğru çeken bir kuvvetin de etkisinde olmaları gerekir. Deneyi kendiniz yapın: etrafınızda dönen bir cismi tutmak için ipi sürekli çekmek gerekir. Gevşettiğiniz anda cisim sizden daha da uzaklaşır. Bu, sapan ilkesidir (ya da atletizmde çekiç atma).

Ama Huygens cismin dönüş hızıyla bu kuvvetin büyüklüğü arasındaki matematiksel ilişkiyi bulmuştu. Birini bilince, diğerini hesaplayabiliyordu.[15]

Newton bu özelliği kullanır. Ayın yerküre çevresindeki dönüş süresini biliyordu. Bu dönüşün yerkürenin Aya uyguladığı çekimle belirlendiğinden kuşku etmez. Bu noktada çok temel bir teoremi ortaya atar: Yerkürenin kendi dışındaki bir cisme uyguladığı çekimin ölçümü çok basit bir biçimde yazılabilmektedir. Yerkürenin her parçasının Ayın her parçası üzerine uyguladığı çekimi hesaplamaya hiç gerek yoktur. Her biri merkezlerinde yoğunlaşmış toplam kütleleriyle temsil edilen iki gezegenin çekimini inceleyip, evrensel çekim yasasını uygulamak yeterlidir (inanılmaz gibi gelen ama kesin olarak kanıtlanabilen bir teoremdir bu). Böylece yerküreyle Ay arasındaki çekim gücünü Huygens'in formülünün (bunu da yeniden kanıtlar) yardımıyla hesaplar. Ardından, elde edilen sonucu ağaçtan düşen elmanınkiyle karşılaştırır.

Hesaplar, ölçer, yeniden hesaplar ve... eyvah, ivmelenme için (kendi ünlü formülü ivmelenme = güç/kütle yardımıy-

15 $F = m \frac{V^2}{R}$, Newton'ın denklemi olan F = ma kullanılırsa, $a = \frac{V^2}{R}$
(R: yarıçap, V: hız). Kütlenin işin içinde olmadığına dikkat edelim...

la hesaplanan) 0.0027 metre/saniye kare değerini bulur, oysa yerküre üzerinde yerçekiminin ivmelenmesi 10 metre/saniyenin karesidir. Demek ki yerkürenin Ay üzerine uyguladığı güç, yerkürenin elmaya uyguladığından 3.700 defa daha azdır. Küçük bir fark değildir bu. Anlamaz, araştırır. Kütleyi işin içine sokar. Ayın elmadan çok daha büyük bir kütlesi var, doğru. Ama bu durumda, tersi olması gerekmez mi?

O anda aklına bir düşünce gelir: uzaklığı işin içine sokmak. İkinci yasasını da böylece ortaya atar: *iki cisim arasındaki çekim gücü, onları birbirinden ayıran uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.* Yerküreyle Ayın uzaklığı yerkürenin yarıçapının yaklaşık 60 katıdır ve $(60)^2 = 3.600$. İşte aradığı fark faktörünü yaklaşık olarak buldu! Bunun sonucunda bu yasanın doğru olduğunu düşünür.

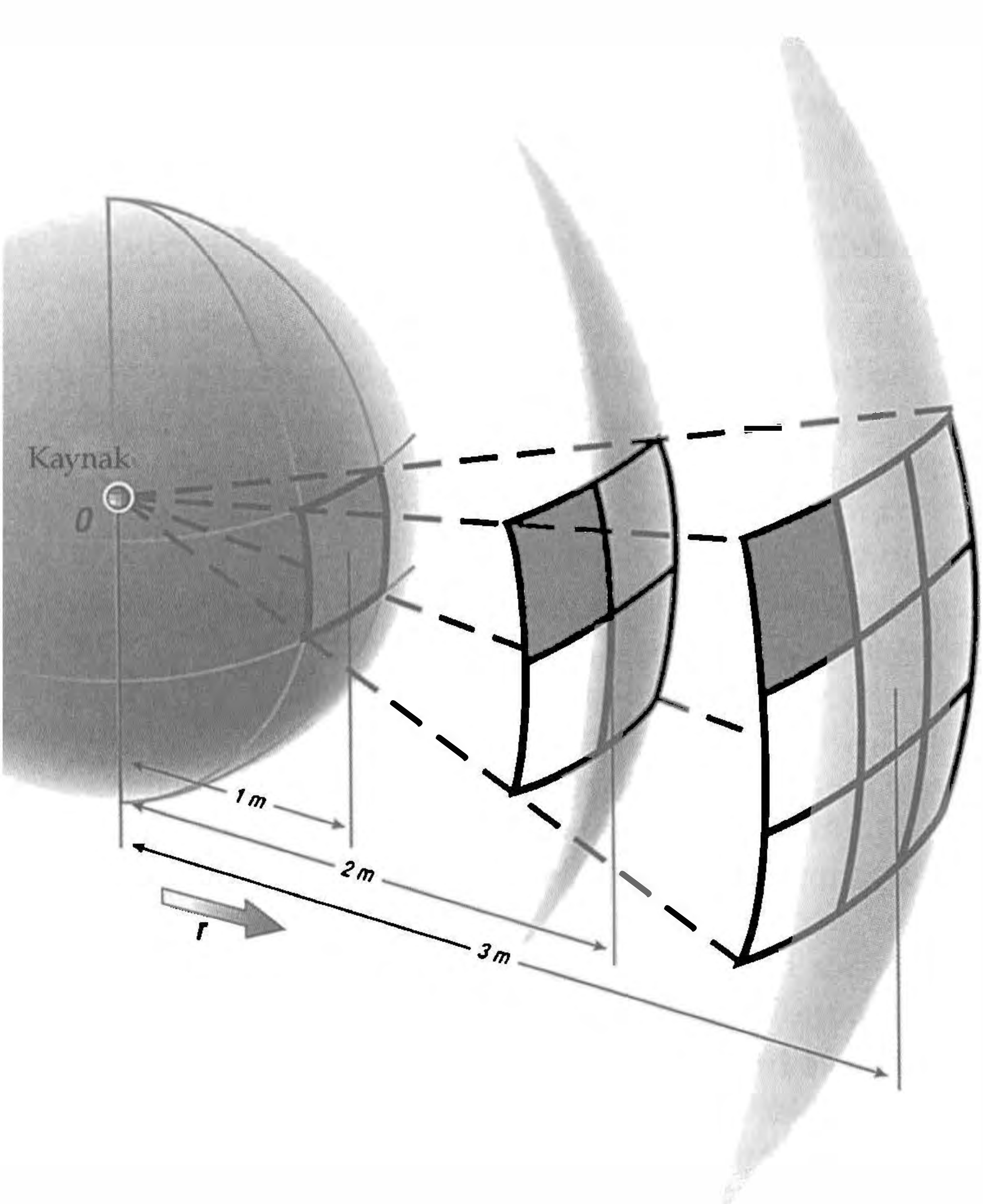
Böyle bir düşünce nereden gelmişti aklına?

Görünüşe bakılırsa –bir kez daha, efsane böyle söylüyor–, ışıkla benzerlik kurarak düşünmüş. Bir odanın ortasına bir mum konursa, bir metre uzaklıkta duran birim büyüklükteki bir yüzeyin aldığı ışık, iki metrede alacağından dört kat, üç metrede alacağından dokuz kat daha güçlüdür vs. Etki altındaki kürenin yarıçapı büyüdükçe, ışığın yoğunluğu zayıflar, çünkü gittikçe daha büyük bir yüzeye yayılmaktadır (Bkz. Şekil 2.2).[16]

En azından Newton buluşunu daha sonra böyle anlatacaktır.

Olup bitenden daha çok haberdar ya da daha kötü niyetli kafalar, uzaklığın karesiyle ters orantı düşüncesini Hooke'un

16 Sabit kalan değer, kürenin üzerindeki her küçük yüzey biriminin üzerine düşen ışığın yeğinliğiyle, yarıçapının karesi olarak arttığını bildiğimiz küre yüzeyinin çarpımıdır. Bu çarpımsa mumun yaydığı toplam yeğinlikten başka bir şey değildir. Saklanan, bu fiziksel büyüklüktür. Yerçekimi söz konusu olduğunda korunan, kürenin merkezinde bulunan ve mumun yeğinliğinin rolünü üstlenen, nesnenin kütlesidir.



Şekil 2.2

Bir ışık kaynağı varsayalım ve bundan bir ışıklı fırça ayıralım:

– bir metrede, kürenin bir parçasını keser;

– iki metrede, ışık demetince taranan alan 4 defa daha büyüktür, öyleyse demetin aldığı ışık yeğinliği de 4 kat daha azdır (yolda kayba uğramadığını varsayarak);

– üç metrede, aynı düşünme yöntemiyle, yeğinlik 9'a bölünür.

Bilindiği gibi, 4=22, 9=32.

İşte bu, uzaklığın karesinin tersi yasasıdır.

daha önce ortaya koyduğuna dikkat çektiler. Ama Newton buna aldırmadı. Dâhi olan oydu! Başkası yoktu. Ömrü boyunca Hooke'a öyle kötü davranması bundan olsa gerek...

Ne olursa olsun, Newton mekaniğin temellerini attı ve bunları hemen kullandı. Gerçekten de, Kepler'in 1610'da keşfettiği (4. bölümde buna döneceğiz), gezegenlerin güneşin çevresindeki hareketlerini düzenleyen yasaları hesaplar.

Ardından olağanüstü bir şey olur: Newton daha yeni kurduğu bu mekaniğin yasalarının yardımıyla Kepler yasalarını yeniden bulur. İyi kavranmış gözlem, açıklamanın öncesinde gelmişti; ama Newton'ın açıklaması bütününe kusursuz bir uyum ve şıklık getirmişti.

Gezegenlerin eliptik yörüngeleri, güneşe olan uzaklıklarının fonksiyonu olarak hızları ve çeşitli gezegenlerin dönüş süreleri; hepsi hesaplandı, hepsini kanıtladı. Matematiksel olarak. Onun kuramı, Kepler'in krallığını kuşatır ve ona eksik olan kuramsal desteği sağlar.

Bunun için kuşkusuz, ünlü diferansiyel hesabını kullanır – daha sonra Leibniz'in bunun babası olduğuna karşı çıkacaktı, ama bu da başka bir öykü!

Ustaca bir manevrayla, Galilei'nin aklını kurcalayan iki büyük sorunu birbirine bağlar: Galilei'nin birbirine yaklaştırmadığı (hatta yaklaştırmayı denemediği), cisimlerin düşüşü ve gezegenlerin hareketi. Galilei önce fizikçi, sonra astronomdu. Newton ise iki alanı birbirine yaklaştırdı ve cisimlerin düşüşüyle gezegenlerin hareketinin aynı fiziksel gücün iki ayrı belirişi olduğunu gösterdi: yerçekimi gücünün. Bilim, çoğunlukla, birbirinden uzak kavramları yaklaştırarak, onları daha genel bir kuramda birleştirerek ilerler. Bilimsel ilerlemenin temel bir kuralıdır bu.

Ama Newton bu kadarıyla yetinmiyordu. Bu gücün nasıl uzaktan etki ettiğini, bir kütlenin diğer bir kütleyi hangi yolla çektiğini anlamıyordu. Güneş benim burada olduğumu nasıl "biliyor" da beni çekiyor? Hayır, kesinlikle, anlamıyordu Newton. "Bir cismin boşlukta diğeri üzerinde etki yapabilmesi ve bu gücün hangi araçla iletildiğini açıklayan hiçbir şey olmaması, bu benim için o denli büyük bir tuhaflık ki, kanımca, felsefe alanında kim uzmanlığa sahip olsa pes eder," diye yazar.[17]

Kraliyet Bilimler Akademisi'ndeki Fransızlar, Newton'ın saçma buldukları bu kuramını kesinkes reddediyorlardı. Newton'ın kuramı doğru olsaydı, tüm gezegenler güneşin çevresinde birikirdi, diyorlardı. Descartes'ı ve onun gayet somut, gayet gerçek, gayet elle tutulur olan burgaçlar kuramını yeğliyorlardı. Üstelik Fransızların uzaktan etkiyi kabul etmeleri için bir yüzyıl beklemek gerekecekti!

Kısacası, Newton anlamıyordu, Huygens, Fontenelle ve Cassini'nin dışında Fransızlar bu düşünceye karşıydı; bize gelince, biz hâlâ işin iç yüzünü "anlamıyoruz"!

Oysa uzaktan etki, gözlemleri açıklamaya yetiyordu; kısacası "işliyordu", öyleyse ona alışmak gerekti... Fizik, fazla sıklıkla inanıldığı gibi sağduyuya tam uymaz hep, hatta çoğunlukla bunun tersidir... Bununla birlikte, tam kavrayamıyor oluşumuz bizi kurallar koymaktan, düşünmekten, hesaplar yapmaktan alıkoymaz... deney bunları sınayacaktır. Bir yemeği başarıyla pişirmek için tarifine iyi uymak genellikle yeterlidir. Tencerede oluşan kimyasal reaksiyonları derinlemesine anlamaya hiç gerek yoktur. Fiziğin işlevsel oluşuna bakıp, asıl

17 Bkz. *La correspondance d'Isaac Newton* (Isaac Newton'ın Yazışmaları), c. 3, s. 253, H. W. Turnbell (yay.haz.), Cambridge University Press, 1977.

gerçeğin nerede saklandığını da bize öğretmesini bekleyebilir miyiz? Bu noktayı aydınlatmak için bir örnek verelim.

Uzaklığın karesinin tersi yasası, uzaklık arttıkça büyük bir hızla azalan bir etkiyi anlatır. Örneğin eğer uzaklık 1, 2, 3, 4, 10 olarak artıyorsa, $1/r^2$ yasası 1, 0.25, 0.11, 0.0625, 0.01 değerlerini verir.

Demek ki doğru, uzaklık arttıkça yerçekimi kuvveti büyük bir hızla azalıyor!

Peki bu nasıl bir güçtür?

Fizikçilerin aklını karıştıran başka bir olay daha var. İki cisim arasındaki uzaklık azaldığında, $1/r^2$ değeri hızla, çok büyür – hatta çok, çok, çok büyük olur. Öyle ki uzaklık 1, 1/2, 1/10, 1/100... olarak azalırsa, yasa 1, 4, 100, 10.000... değerlerini verir.

$r = 0$ olduğunda bu nasıl sonuçlanır? Matematiksel olarak, birin sıfıra bölümü sonsuzu verir. Peki sonsuz bir güç ne demektir? Anlamsız!

Bu sorular fizikteki son ve en derin nedenleri "anlamakta" sıkça zorlandığımızı açıkça gösteriyor. Yasaları yaratırız, onları uygularız, yeni sonuçlara varırız, ilerleriz ama temelde her şeyin gizli yapısını ille de daha iyi anlamış olmayız! Düş kırıcı bir saptama bu kuşkusuz, ama bu böyle. Yine de böyle olması, söz konusu yasaların geçerliliğini azaltmaz! Bundan, asla olumsuz bir anlam vermeksizin, şu sonucu çıkarıyoruz: Fizik, işlevsel bir bilim dalıdır, fizikötesi değildir (ayrıca, kimilerinin çabalarına karşın öyle de kalmalıdır!).

Newton'ın ardından

Fizikçiler, sağlam bir pratik duyarlılıkla donatılmış bilimcilerdir. Uzaktan etkinin ve Newton yasasının doğurduğu sorulara rağmen, bu yasaları uygulamayı ve olağanüstü buluşlar yapmayı sürdürdüler.

Bu andan sonra matematik, mekaniği ele geçirecek ve onu son derece şık ve etkin bir sistemleştirmeyle donatacaktır. Bu gelişmeler Hamilton, Lagrange, Laplace ve birkaç başka isimle bağlantılıdır.

Bu bilim öyle kusursuz olacaktır ki Laplace (Napoléon'un gözde bilim adamlarından biri) şunu bile söyleyebilecektir: "Bana iki cisimli bir mekanik sistemin belirli bir andaki durumunu (kütle, hız, konum) veriniz, size bu sistemin gelmiş geçmiş tarihini ve aynı anda da geleceğini hesaplayayım. Gezegenlerin hareketi tümüyle hesaplanabilir bir saat donanımıdır."

Onun sunumlarına hayran kalan Napoléon, "Peki bütün bunların arasında Tanrı'yı nereye koyuyorsunuz?" dediğinde, Laplace gururla yanıtlıyordu: "Efendim, buna bir hipotez olarak gereksinim duymuyorum!"

Ama bu büyük mekanikçilerin katkıları Newton'ı matematiğe dökmüş olmakla sınırlı değildi.

Yeni kavramlar ortaya attılar. Örneğin, ileride daha ayrıntılı inceleyeceğimiz enerji gibi, hareket miktarı –yani kütlenin hızla çarpımı– gibi; Huygens'in farkına vardığı gibi bunlar belirli koşullarda korunan niceliklerdir.

Örneğin, tabancayla ateş ettiğimde aletin geri gitmesi, giderken bir miktar hareketi alıp götüren kurşunun çıkışındandır; bu eksilme, tabancanın geri gidiş hızıyla (kütlesi daha fazla olduğundan bu hız daha azdır) kapatılır.

Bu ilkeleri dönüş halindeki cisimleri, yani gezegenleri ve son olarak da sıvıları kapsayacak biçimde geliştirdiler, bunu yaparken de durgun halde ve hareket halinde olan sıvıların hareketini açıkladılar. Yeni bir bilim alanını, akışkanlar mekaniğini yarattılar; bu alanda, her birine bütün bir kitabın adanmasını hak eden Pascal, Navier, Stokes, Coriolis gibi bilim adamları ünlenecektir.

Bu ilginç ama karmaşık çalışmaların ayrıntılarına girmeden, bunları olanaklı kılanın Newton olduğunun altını çiz-

mekle yetinelim. Ama eğer bunların hepsi 19. yüzyılda kullanıldıysa, neden bugün hâlâ bu ilkeleri öğretiyoruz? Tüm bunlar aslında eski fiziğe ait değil mi?

Doğrusu hayır. Yerçekimi, ağır cisimlerin düşüşü, bu çok modern, çok temel, çok güncel bir şeydir. Kuramsal bakımdan moderndir, çünkü henüz çekim gücünün uzaktan etkisinin mekanizmasını anlamıyoruz, fizikçiler bugün hâlâ, Maxwell'in (daha sonra değineceğimiz) elektromanyetik dalgalarına benzer biçimde ışık hızıyla yayıldığı düşünülen ve Einstein'ın Görelilik kuramıyla açıkladığı yerçekimi dalgalarının delillerini arıyorlar.

Bunları gökbilimsel olaylarda arıyorlar (orada bulduklarını düşünüyorlar). Pisa yakınlarına kurulmuş Fransız-İtalyan projesi VIRGO gibi devasa, eşsiz optik deneyleri yaparak (evet optik, nedenini daha sonra göreceğiz) yerkürede arıyorlar.

Teknik olarak da moderndir, çünkü yerçekimi, uydulardan gezegenleri keşif gezilerine kadar uzanan bütün bir uzay serüveni demektir.

Uydular ve gezegen sondaları

Bugün küreselleşme dediğimiz olgunun başlangıcı, büyük ölçüde, uyduların kullanıma konmasına dayanır. Gerçekten de bilginin dünya çapında pratik ve anlık olarak yayılmasına olanak veren, iletişim uyduları olmuştur. Endonezya'da bir deprem mi oldu, bunun görüntüleri aynı akşam tüm dünya ekranlarında yayınlanır.

Eğer borsa işlemcileri dünya çapında iş yapıyorlarsa bu, sermaye transferlerinin anında yapılabilmesindendir. Evet, kesinlikle, buna kuşku yok: küreselleşme uzay devriminin bir sonucudur.

Kıtaları, denizleri, dağ zincirlerini ilk kez haritadaki çizimin dışında görmemizi sağlayan uzaydan çekilmiş fotoğraflar, küresellik düşüncesinin güçlenmesine psikolojik katkı yaptı. Oysa uydular Galilei, Huygens ve Newton'ın keşiflerinin doğrudan bir uygulamasıdır.

Güneş sistemimizi araştırmayı, fotoğraflarını çekmeyi, tanımayı sağlayan şu hayranlık uyandırıcı uzay yolculukları da böyledir. Astronotları Aya taşıyan uçuşları, Mars ve Venüs üzerine otomatik araçların konduğu programları, yirmi beş yıla yayılan ve aracının bugün artık Güneş sisteminden çıkıp araştırılmamış dünyaların keşfine yollandığı şu harika Voyager keşif gezisini anımsayalım... Kuşkusuz, uzay düşün gerçekleşmesidir, ama uzay aynı zamanda ve ondan da önce mekanik yasalarının uygulamasıdır.

Bir uydu nasıl fırlatılıp yörüngeye yerleştiriliyor?

Onu bir füzenin yardımıyla belirli bir yüksekliğe çıkartmak, sonra da seçilen yükseklikte ona yerkürenin yüzeyine paralel olarak bir hız vermek gerekir. Bu noktadan sonra, eğer hız uygunsa, yerkürenin çekim kuvveti uyduya, onu gezegenimiz çevresinde yörüngede tutan bir güç uygular.

Bu andan sonra birçok soru ortaya çıkar; bunların kuramsal çözümü tümüyle mekanik yasalarında kapsanmıştır.

Dairesel bir yörünge mi isteniyor yoksa eliptik mi? Newton'ın Kepler'i yorumlamasından beri biliyoruz ki hız için özel bir önlem alınmazsa yörünge bir elips olacaktır. Yörünge yerküre çevresinde dönen Ayınki gibi dairesel olduğunda, fırlatma hızının (karesinin) yerküre kütlesinin yarıçapa bölümüyle orantılı olduğu bilinir. Bu, yeryüzüne paralel olarak uyduya verilen hız ne kadar büyükse, yörüngesinin o kadar alçak olacağı anlamına gelir.

Peki ya hız çok büyük değilse? Uydu yeryüzüne düşer, bu kadar basit!

Zaten uydu alçak bir yörüngedeyken olan da budur, çün-

kü atmosferin havasına sürtünerek hızını kaybeder ve sonunda adım adım yeryüzüne düşer.

Demek ki yüksekliği az olan bir uydunun yaşam süresi çok sınırlıdır. Oysa ona başlangıçta çok büyük bir hız vermek gerekir. Yoksa çok pahalıya patlar!

Evet, ama yerkürenin fotoğraflarını onun sayesinde bu derece özenle çekip gözlemliyoruz (ve bu askerleri çok memnun ediyor).

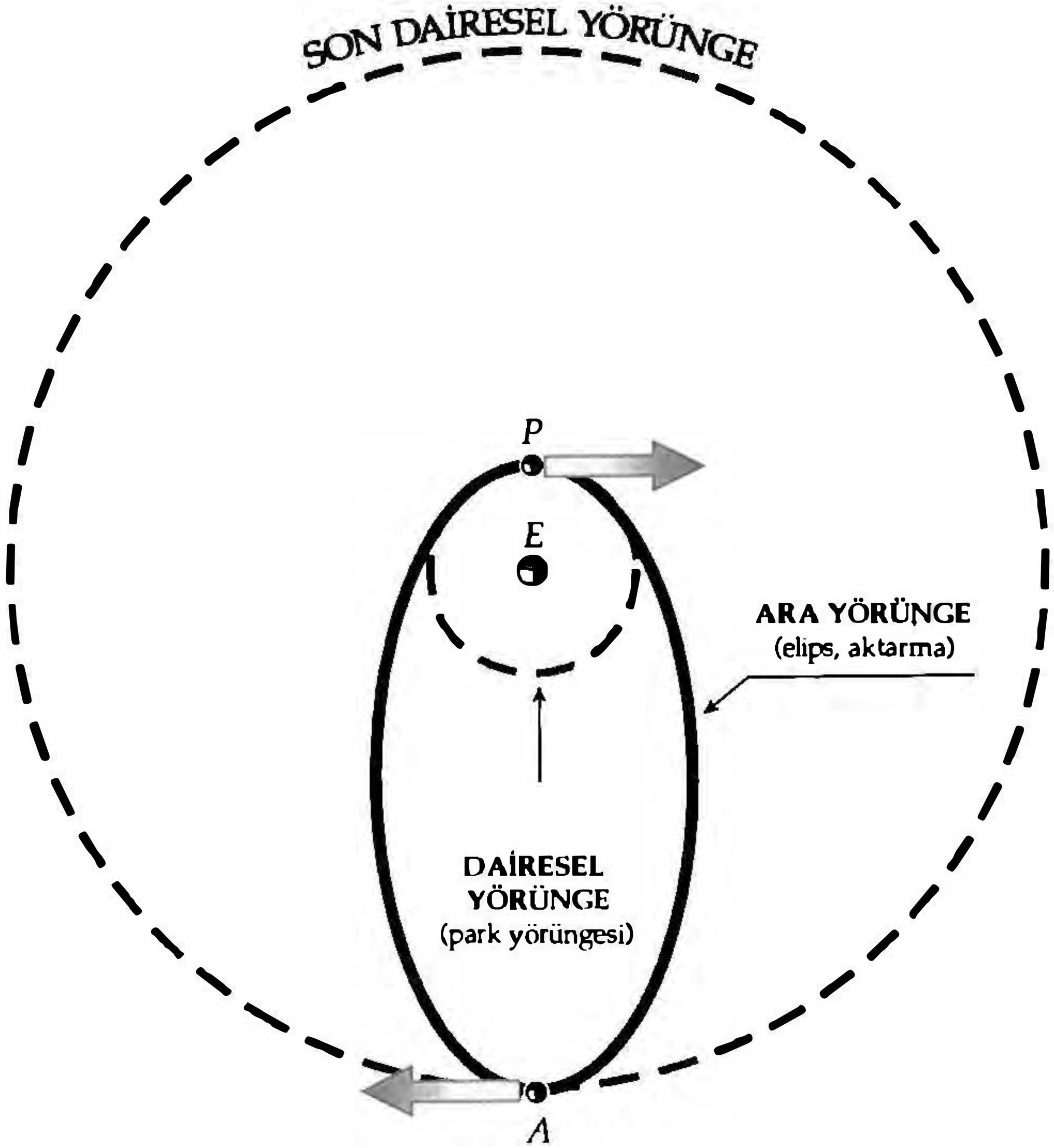
Ya daha yüksek yörüngeler? Bir uyduyu yüksek bir yörüngeye oturtmada ilke tam olarak bunun aynısı değildir, çünkü yerçekimi gücünü kullanarak yakıt harcaması en azda tutulmaya çalışılır. Mühendisler Newton yasalarından yararlanarak böyle çeşitli ustalıklar bulurlar.

Uydu, ilk başta alçak bir dairesel yörüngeye fırlatılır. Bu yörünge geçicidir ve bu yüzden ona park yörüngesi denir. Bundan sonra uydu çok uzun bir elips yörüngeye yerleştirilir ve istenen dairesel yörüngenin yüksekliğine eriştirilir. Bu eliptik yörüngeye aktarma yörüngesi adı verilir. Daha sonra, istenen yükseklikte, yeryüzüne paralel hareket ederek uyduyu en son dairesel yörüngesine fırlatacak bir füze ateşlenir (Bkz. Şekil 2.3).

Tüm bu manevralarda mekanik yasalarından, yerçekimi gücünden ve ayrıca ustaca yönlendirilmiş ivmelenmelerin etkisiyle elde edilen yön değiştirmelerden yararlanılır.

Beklenebileceği gibi, bir uyduyu yeryüzünden 35.900 kilometre uzaklığa fırlatırsak, hızının saniyede 3,07 kilometreye ulaşacağının ve uydunun bu hızla ve bu yükseklikte yerkürenin çevresini yirmi dört saatte döneceğinin çabuk farkına varıldı.[18] Oysa yirmi dört saat, yerkürenin dönüş süresidir. Öyleyse uydu eğer[2] ekvator üzerinde bir yörüngeye yerleşti-

18 $g=\frac{V^2}{R}$, formülü yardımıyla, V = Rw ve w = 1 dönüş/T süresi olmak üzere, bunu doğrulama zevkine hemen varabilirsiniz.



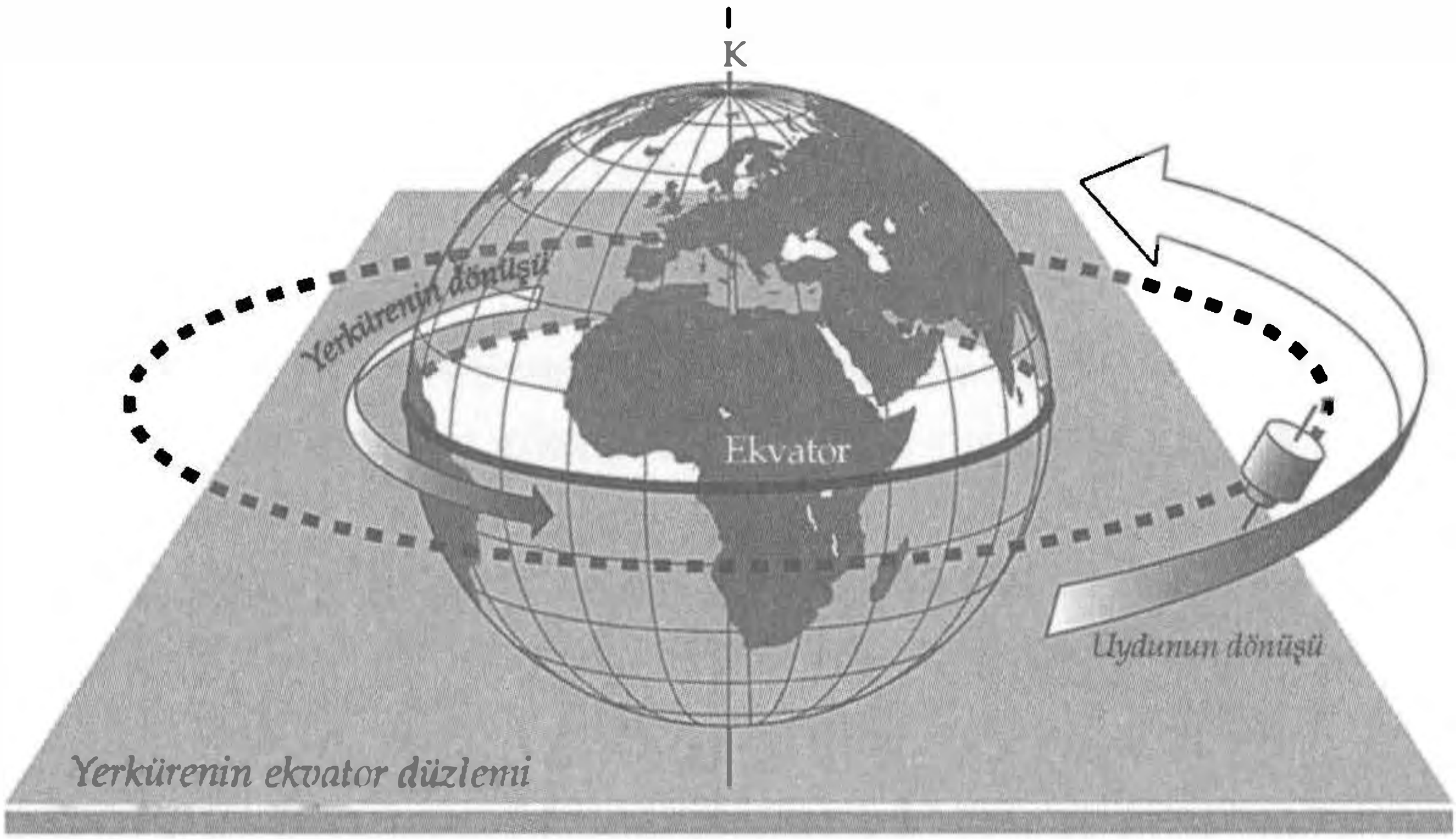
Şekil 2.3
Bir uyduyu yüksek bir yörüngeye fırlatma ilkesi.
Uydu önce bir park yörüngesine fırlatılır. Birkaç turdan sonra uydu eliptik bir yörüngeye yerleştirilir. Sonunda, elipsin uçlarından birindeyken, bir itme verilerek daha yüksek yörüngesine oturtulur.

rilmişse, yeryüzünden bakıldığında hep aynı yerde görülecektir (Bkz. Şekil 2.4). Bu, yeresabit olarak adlandırılan uydudur (telekomünikasyon uydularının temeli).

Mekanik yasaları uzayın birçok "sırrı"nı da aydınlatır.

Yerçekimsiz ortamdaki astronotları herkes görmüştür.

Yıldızlar savaşından çok söz edildi. Yani Amerika'yı korumak için sızdırmaz bir kalkan oluşturacak bir uydular ağının kurulması. Bilimsel ve teknik bakımdan gerçekleştirilemeyecek bir amaç ama burada konumuz dışı.



Şekil 2.4
Yerküreyle aynı hızda dönen ve dolayısıyla ona göre sabit kalan yeresabit uydu prensibi.

Bu proje çerçevesinde, en iyi sistemi saptamaya çalışan politik çevreler çeşitli tartışmalarla hareketlendi. Bir uyduya yerleşmiş, ülkesini koruyan bir nöbetçi düşüncesi kimilerine çekici geldi. Başkaları, düşman ülkeleri uzaydan bombalayabilme düşüncesini daha çok tuttu. Uydusundan yere, en iyisi geceleyin, bomba atan bir uzay adamını düşünmeye dek vardırdılar işi...

Görelilik ve eylemsizlik ilkeleri yönünden, fiziksel açıdan saçma bir düşünce. Eğer bir uydudan dışarıya bir nesne atılırsa uyduyu izler ve onunla birlikte yerkürenin çevresinde döner! Çünkü nesne yerküreye görece uyduyla aynı hızda olacaktır. Burada, daha önce bir geminin üzerinde dikey olarak atılan bir nesne için söylediklerime gönderme yapıyorum. Geçmişte bu konuda Başkan Mitterrand'la çok ilginç (benim için oldukça keyif verici) bir tartışmam oldu...

Peki gezegenlerin araştırması nasıl yapılıyor? Yerçekiminin, her türlü füzenin yerküreyi çevreleyen uzaydan çıkma-

sını engelleyeceği düşünülebilir. Bunun için ona saniyede 11 kilometrenin üzerinde bir dikey hız verebilmek gerekir. Buna yerküreden kaçış (ya da kurtulma) hızı deriz. Ama burada da, bu füzenin başka bir gezegene doğru fırlatılışı doğrudan olmaz. Bu son derece etkin yerçekimi gücünden olabildiğince yararlanılır.

Genel olarak, füzeyi yerküre çevresinde yörüngeye yerleştirmekle işe başlanır. Bu daha önce değindiğim park yörüngesidir.

Ardından, aleti yerçekiminden kurtarmak için gezegenlerin birbirlerine göre hareketlerinin uygun bir anı yakalanır. Alet araştırılacak gezegenin yakınına geldiğinde, ya hızı fazla azaltılmadan ona yaklaştırılır –bu durumda sonda durmayıp gezegene yaklaşacaktır– ya da gezegenin çevresinde dairesel (ya da eliptik) yörüngeye yerleştirilir. Sonra da, eğer görevin amacı buysa, modülün gezegene indirilmesi, ardından, yüzeydeki görevinden sonra yeniden uzaya çıkartılması, yörüngeye yerleştirilmesi, yerküreye dönüş yolunda onu taşımak için bekleyen bir füzeyle buluşturulması öngörülür. Ya da bir gezegenden, daha doğrusu onun çekim gücünden tıpkı bir sapan gibi yararlanıp üçüncü bir gezegene bir gezegen sondası gönderebiliriz.

Tüm marifet gezegenlerin hareketlerinden, şu ünlü kavuşma konumlarından yararlanıp enerji harcamalarını kısmaktır. "Atış pencereleri" denen, bir sondayı şu ya da bu gezegene göndermek için uygun anlar, bu işe yarar. Ptolemeus, Kopernik, Tycho Brahe ve Kepler'i hayran bırakan ve Newton'ın öylesine açıklıkla anlattığı kavuşma konumlarının ta kendisidir bunlar.

Burada bilgisayar gücüyle desteklenen ve bu uzay araştırması için vazgeçilmez olan sayısız olanak var ve bunların mekanik açıdan başyapıtı da yine Voyager misyonudur (Bkz. Şekil 2.5). Yirmi beş yıl boyunca sürekli bilgi akışı!

Bana diyeceksiniz ki bunların hepsi iyi, güzel de, en

önemlisi yine uzay araştırmalarıdır, füzeler, Kourou ya da Cape Kennedy gösterileri, Hergé'nin pek güzel imgelediği[19] füzelerin büyüleyici havalanışlarıdır. Füzeler mekaniğe[20] ait değildir, kimyaya aittir, tıpkı havai fişekler gibi!

Ama hayır! Bunlar öncelikle mekaniktir. Üstelik ünlü hareket miktarının korunumu ilkesinin doğrudan uygulamasıdır. İşte hâlâ tam anlaşılamamış bir ilke daha.

1919'da Amerikalı mühendis Robert Goddard yükseklere çıkmak için bir füze yapmayı önerdiğinde, *New York Times* birinci sayfasında, onun düşüncesinin fizik yasalarına aykırı olduğunu ve boşluk itişi engelleyeceğinden füzenin hiçbir şeye yaslanmadıkça atmosferin dışına çıkamayacağını açıklayan bir makale yayımladı. Bu gazeteciler (ve danışmanları) füzenin ilkesinden hiçbir şey anlamamışlardı.

Çünkü bir füze, kütlenin hızla çarpımının (hareket miktarı) yalıtık bir sistemde korunacağı ilkesinin doğrudan uygulamasıdır.

Bir füze çok büyük bir hızla dışarı gaz atar, hatta çok gaz atar, bunun karşılığında bu atış füzeye ters yönde bir hız verir (bir kurşun atımının tabanca ya da tüfeğin geri tepmesine yol açtığı gibi). Galilei'nin hareketin göreliliği ilkesi uyarınca, bu ilke füze üzerinde her an, her yerde uygulanır: böylece hızın artışı birikerek bir ivmelenme oluşturur. Havanınsa tüm bunlarla hiçbir ilgisi yoktur!

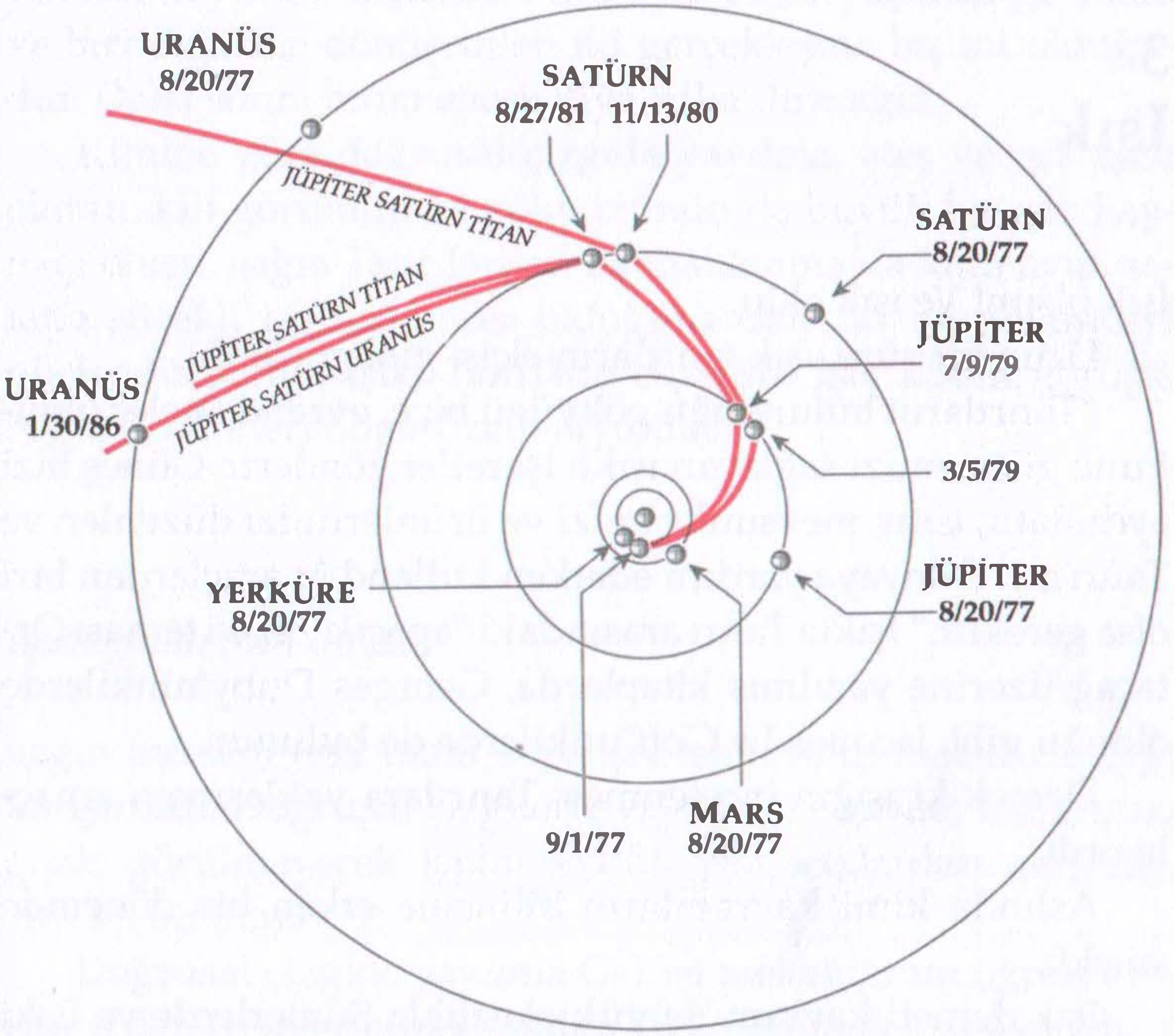
Füzelerin birçok kattan oluşması bu ilkeden yararlanmak içindir. Kalkışta çok yakıt taşırlar, ama bu yandığı anda hem hafiflemek, hem de bu yolla aynı ölçüde bir "itiş"le (m x v sabitse, m'yi azalttığımda v artar) hızlarını arttırmak için taşıyıcılarından kurtarılırlar.

19 *Objectif Lune, on a marché sur la Lune* (Hedef Ay, Ayda adım atıldı).

20 Bunu söylediğinizde kimyacı sizi tümüyle haksız bulmaz: mekanikçinin kullanacağı kimyasal reaksiyonların ve enerjinin oluşturulması için kimyacının yaratıcılığı gerekmez mi?

Bu nedenle füzeler genelde, her biri bir hafifleme, dolayısıyla bir ivmelenme evresine karşılık gelen üç kattan oluşur.

Uzay serüveninin Newton mekaniğinin en güzel gerçekleşmelerinden biri olduğundan kuşku edebilir miyiz?



Şekil 2.5
1977'de fırlatılan ve Güneş sisteminden 2002'de çıkan Voyager sondasının yol haritası. Sonda, bir gezegenle kavuşmanın olduğu her durumda gezegeni izleyecek, fotoğraflarını çekecek, inceleyecek biçimde yörüngeye yerleştirilmişti, ardından da bir sonrakine geçiyordu. Enerjiyi ve yakıtı en aza indirmek için her defasında, bir sonraki kavuşma konumunun uygun olması bekleniyordu.

3

Işık

Işık olsun! Ve ışık oldu.

Uzun bir süre, ışık tanrıların elçisi gibi görüldü.

"Tanrıların bulunduğu gökyüzü bize, evrende neler olduğunu görmemizi sağlayan ışıklı işaretler gönderir. Güneş bizi aydınlatır, ısıtır, mevsimlerimizi ve ürünlerimizi düzenler, ve Tanrı'nın Dünyaya yardım ederken kullandığı araçlardan biri olsa gerektir." Işıkla Tanrı arasındaki "apaçık" ilişki teması Ortaçağ üzerine yazılmış kitaplarda, Georges Duby'ninkilerde olduğu gibi, Jacques Le Goff'unkilerde de bulunur.

Demek ki ışığın incelenmesi Tanrılara yaklaşmayı amaçlıyordu.

Aslında kimi kavramların bilincine erken bir dönemde varıldı.

Işık demeti kavramı büyük olasılıkla Sümerlerde ve Eski Mısır Imparatorluğu'nda vardı. Yazın oda karanlığa gömülmüşken aralanan bir kapının bize gerçek ışınları göstermesi ya da sağanaktan sonra bulutları delen Güneş, buna inanmamıza yeter. Bu gözlemlerden hareketle, ışığın ışık ışınları kuramı uyarınca doğrusal çizgi üzerinde yayıldığını açıklamak oldukça doğal bir düşünceydi.

Eskilerin bilincine vardıkları ikinci unsur, ışıkla ateş ara-

sındaki karşılıklı ilişkiydi. Ateş ışık yayar. Ama yazın güneş altındaki bir avuç kuru yaprak kendiliğinden ateş alır, bu da güneşin ısıtabildiğinin, üstelik kuvvetle ısıttığının kanıtıdır. Işığı tanımlamak için 18. yüzyılda "Işık, en saf ateştir" diye yazılacaktır.

Bu savların altında yatan düşünce, ışıkla alevin aynı olayın kimileyin bir biçimde, kimileyin başka biçimde görünen ve biri diğerine dönüşebilen iki gerçekleşme biçimi olduğudur. Daha sonra bunu enerji diye adlandıracağız.

Kimine göre doğrusal çizgide yayılma, ateş ve ışık ışını olarak ikili görünüm ve gökyüzünün de büyük bir ışık kaynağı oluşu, ışığın Tanrılardan kaynaklanmakla kalmayıp onlarla sürekli bir bağlantısı olduğuna dair bir ilk düşünceyi güçlendiriyordu. Işık, Tanrı'nın elçisidir! İşte klasik görüşte ışığın özellikleri böyle özetleniyordu.

Işık ışınlarının doğası

Işığın incelenmesi, uzun süre ışık ışınlarının incelenmesiyle karıştırıldı. Doğrusal çizgilerle yayılan bu ışınlar, kuşkusuz, gözle görülmeyecek kadar küçük parçacıklardan oluşmuş, sürekli bir akıntıydı.

Doğrusal çizgide yayılma Galilei mekaniğinin öğrettiklerine o derece uygundu ki ondan kuşkulanmak olanaksızdı.

Newton, optik çalışmalarına şu savla girişti: ışık, çok sayıda çıkan ve çok yüksek bir hızda doğrusal bir çizgide yayılan parçacıklardan, fotonlardan oluşmuştur.

Bu düşünce yeterli görüldü ve ondan sonra ışık ışınlarının özellikleri üzerinde yoğunlaşıldı; bunların incelenmesinin sonunda optik aletlerin yapımına gidildi. Işık ışınlarını, gözlükleri, mikroskopları, fotoğraf aletlerini, aynaları, gerçek

ve sanal, düz ve ters nesneleri hepimiz okulda öğrendik. Tüm bunlar akıllarda, bazen doğru çizgiler, kırılmalar, odaklar ve buna benzer şekillerin düzensiz ve belli belirsiz bir karışımını doğurur.

Oysa her şey üç temel ilkeye indirgenir.

Işık, bulunduğu ortamın içinde doğru çizgi üzerinde yayılır. Işın bir engelle karşılaştığında iki durum ortaya çıkar. Ya engel üzerinden sıçrar ve geri gelir: bu durumda, *yansıdığı* söylenir. Ya da yeni ortama (demek ki saydam olan) girer ama biraz yön değiştirir: *kırıldı* denir.

Bu olaylar birtakım basit matematiksel yasalara uyarlar; bunları Ek'teki Şekil 1'de gösterdik. Bunlar optikle geometriyi bir araya getiren, çok kesin bir bilimin, geometrik optiğin geliştirilmesini sağladılar.

Burada şunu belirtmekle yetinelim: düz bir yüzeyden yansıma yasasını Eukleides Milat'tan dört yüzyıl önce biliyordu ve Yunanlar ayna yapımında iyice ustaydılar; Syrakusalı Arkhimedes, eğri aynalar üzerinden yansıma üzerine düşündü ve özellikle, ayna bir parabol biçimindeyse ışığı aynanın odağında yoğunlaştırabileceğimizi kanıtladı (dev parabolik aynalar kullanarak, Syrakusa'yı kuşatan Roma donanmasını yaktığı söylenir).

Kırılma yasalarının Hollandalı Snell tarafından bulunduğunu (ve utanç verici biçimde bizim ulusal Descartes'ımız tarafından aşırıldığını!) da belirtelim.

Kırılma ve yansımanın derinlemesine ve birleştirici biçimde anlaşılmasının, Descartes ve Pascal'in çağdaşı olan Toulouse'lu hâkim Pierre Fermat'nın yapıtıyla sağlandığını da söyleyelim; kuşkusuz dâhilerimizin en az tanınanı o, tanınıyorsa da ona ününü (ama yeteneğini değil)[21] borçlu olan İn-

21 En genel olayın kırılma olduğu ama gerek üzerine ışık düşen nesnelerin (aynalar) yapısı gereği, gerekse geliş açısının tam yansımaya zorlamasıyla, bunun yansımaya dönüştüğü biliniyor.

giliz matematikçi Andrew Wiles'ın kanıtladığı ünlü "Fermat hipotezi" sayesinde tanınır.

Astronomi dürbünleri, mikroskoplar[22] ve... bireysel gözlükler 18. yüzyıl başında Galilei'nin döneminde icat edildi.

Ondan elli yıl sonra, Newton aynalı teleskopu icat etti – daha sonra açıklayacağımız koşullar altında.

Dalga mı, parçacık mı?

Daha önce sözünü ettiğimiz Christiaan Huygens (1629-1695), tüm zamanların en büyük bilim adamlarından biriydi (Newton bunda yanılmamıştı ve ona büyük saygı gösteriyordu). Bilime katkısı devasadır, düşünün biraz. Gözlüklerin "negatifi"ni, gözleme merceğini icat eder, Satürnün halkasını ve ilk uydusunu ve Marsın dönüşünü keşfeder. Yıldızların gezegenlerle çevrili olması gereken güneşler olduğunu belirtir (bu kehanetin doğrulandığını görmek için şu son yılları beklemek gerekecektir). Basit sarkacın yasasını, yeni nesil duvar saatlerinin yapımının temelindeki saat maşası yasasını keşfeder, 2. bölümde gördüğümüz gibi, dönmekte olan bir cisme ilişkin merkezkaç kuvveti kavramlarını, eylemsizlik momentini bulur, hareket miktarının korunumu yasasını sezinler...

Ona göre, ışık bir dalgadır, bir taş atıldığında suyun yüzeyinde oluşan biçim bozulması gibi, uzayın bir dalgalanmasıyla yayılan bir titreşimdir.

Bir dalganın maddeyi taşımadan yayıldığını anımsayalım. Denizin dalgalarını gözlemlediğinizde ve onları ilerlerken

22 Galilei de bundan bir tane icat etti ama hiç kullanmadı.

gördüğünüzde, size doğru gelen su değil, dalgadır, dalgalanmadır, harekettir (ünlü mantar tıpa deneyiyle emin olabileceğimiz gibi).[23]

Dalganın maddeyi yerinde (ama eylemsiz değil) bırakarak yayılması kavramı, bir titreşimin katı bir madde içinde nasıl yayıldığına baktığımızda daha açıkça anlaşılır. Tokyo'daki bir deprem bize Paris'te ulaştığında 30.000 ya da 40.000 km/s hızla yer değiştirmiş olan, yeryuvarını oluşturan katı madde değil, sismografların da kaydettiği gibi, titreşimdir, dalgalanmadır! Bir dizi insan sıraya girer ve uçlardakilerden biri, aktarılması ricasıyla sözlü bir mesaj gönderirse, mesaj yayılır... ve biçimi bozulur. Bu bir tür dalgadır.

Kendisi de Galilei'ye hayran ve onunla yazışan Hollandalı bir bilim adamının oğlu olan Christiaan Huygens, titreşimleri ve dalgaları iyi biliyordu. Bunları uzun zamandır inceliyordu. Işığın bir titreşim, bir dalga olduğunu tasarlıyordu (doğrusu da bu), ama bunun bir sıkıştırma dalgası (ses gibi) olduğunu ve önündeki maddeyi sıkıştırarak yayıldığını düşünüyordu.

Çok geçmeden Newton, yıldızları gözleyebildiğimize göre, ışığın uzay boşluğunda yayıldığını açıklayarak bu düşünceyi geri çevirir! Boşlukta titreştirecek hiçbir şey olmadığına göre, ışığın bir titreşim olamayacağını söyler. Huygens ona, tüm uzayın ve boşluğun da, eter adını verdiği gizemli, elle tutulmaz bir maddeyle dolu olduğunu ve bu maddenin titremeye ve dalgalar yaymaya elverebileceğini açıklayarak cevap verdi. Bu eter kavramı uzun süre geçerli kalacaktır, yine değineceğiz.

23 Deniz yüzeyine konan bir mantar tıpa yükselip alçalır ama aynı yerde kalır. Suyun dağılması ancak dalga çatladığında olur.

Bu "dalga mı, parçacık mı"[24] tartışması 20. yüzyıl başına, Einstein'ın büyük kuantik devrimini (kendisine rağmen) başlatacak olan birleştirici bir görüşü önereceği döneme kadar sürecektir...

24

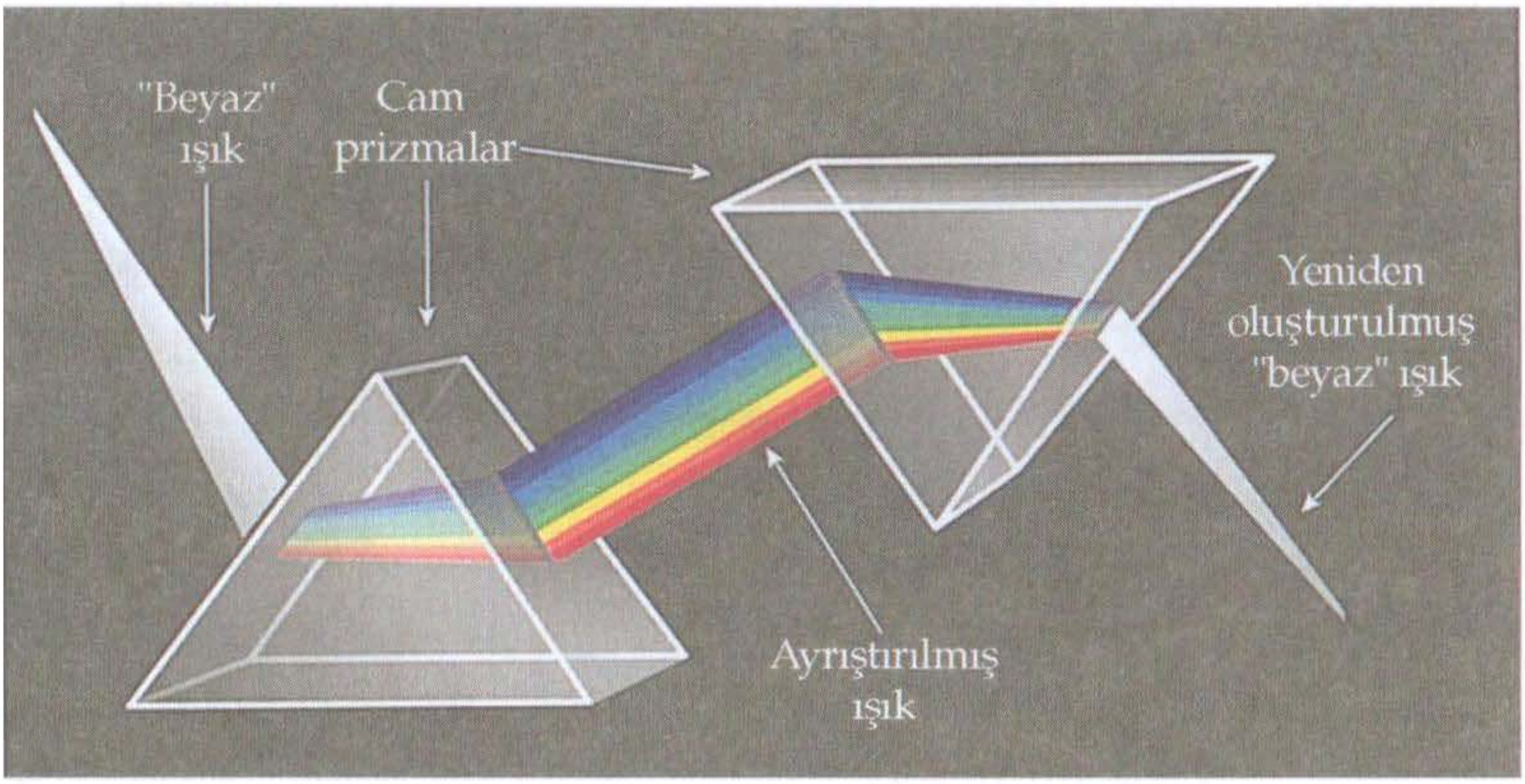
Olay	**Newton**	**Huygens**
Işığın neden oluştuğu:	*Parçacıklardan.*	*Bir ortamda yayılan darbelerden.*
Yansımanın nedeni:	*Parçacıkların sekmesidir.*	*Dalga yüzünün yansımasıdır.*
Kırılmanın nedeni:	*Havayla cam arasındaki ayırıcı yüzeyin çekiminden: parçacıklar camın içinde daha hızlı yer değiştirir.*	*Dalga yüzünün camın içinde havaya göre daha yavaş yayılmasından.*
Girişim ve kırınım olaylarının (Newton halkaları, ince Filmlerin renkli sınırları vb.) nedeni:	*Parçacıklarla eter arasındaki etkileşim: eterin dalgalanmaları süreliliklerini parçacıklara aktarır.*	*Huygens bunlara az değinir. Girişim ve kırınım olayları ışığın bir darbeler serisi değil, sürekli bir dalga olduğu bir dalgalanma kuramında daha iyi açıklanır*

Newton ve renkler

Newton ışık dalgalarına inanmaz, mikroskobik toplar gibi doğrusal çizgilerde yayılan ışık parçacıklarının, yani fotonların sadık bir savunucusudur.[25] Bununla birlikte optiğe çok büyük bir atılım verecektir.

Temel bir deneyi, belki de fizikte yapılmış en şık deneylerden birini yapacaktır.

Cam bir prizmanın[26] yardımıyla güneş ışığını renklere ayrıştırır – mor, çivit, mavi, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı. Bu ayrıştırma bilinmiyor değildi, Galilei döneminde İtalyanlar bunu yapmıştı, ama bundan hiçbir temel sonuç çıkartmamışlardı.



Şekil 3.1.
Newton'ın deneyi iki prizmanın kullanımına dayanır. Birincisiyle beyaz ışığı renklere ayrıştırır. İkincisiyle renklerden beyaz ışığı yeniden oluşturur.

25 Newton dalgaları çok iyi bilir. Bir delikten geçen bir ışının her yönde ışıyabileceğini bile anlamıştı. "Bunun için", der, "eğer ışık bir dalga olsaydı, doğrusal bir çizgide yayılmazdı". Gerçekten de kırınım olayı vardır, ama yalnızca eğer titreşimin dalga boyu deliğin boyuna yakınsa oluşur.

26 Prizma, kesiti ikizkenar üçgen olan bir tür yassılaştırılmış piramittir.

Newton bundan sonra, birincisine özdeş ikinci bir prizma kullanmayı düşündü. Onu ayrışmış ışık demetinin içine ters olarak koydu ve o da ne, mucize!.. ışık prizmadan yeniden beyaz olarak çıkmıştı (Bkz. Şekil 3.1).

Başka deyişle, doğal renklerin karışımından beyaz ışığı yeniden oluşturmuştu.

Newton bundan sonra çözümlemesini biraz daha ilerletir.

Birinci prizmadan sonra, diyaframlar yardımıyla, renkli ışınları tek tek yalıtır. Bundan sonra her bir rengi daha da temel bileşenlerine ayrıştırmak için birinciye paralel ikinci bir prizma koyar. Ama o ne, renkler ayrışmaz, saf kalırlar (ya da neredeyse saf). Bir ışın prizmaya kırmızı olarak girince kırmızı çıkar, yeşil girerse yeşil çıkar, mavi girerse mavi çıkar.

Işığın yedi temel renkten oluştuğunun, başka bir şeyden oluşmadığının ispatıdır bu.

Bundan sonra kuramını yeni bir deneyle destekler. Bir diskin bölümlerini yedi renkle renklendirir, ardından diski döndürür. Disk beyazımsı bir renk alır (bu, okullarda yaptırılan ve her zaman pek başarılı olmayan bir deneydir!).

Bunu yapmakla fiziğe önemli bir adım attırmış oldu: beyaz ışık özünde karmaşıktır, bir karışım söz konusudur – her biri kendine özgü bir renge sahip yedi farklı ışığın karışımı.

Newton'ın tüm bu deneyleri, bir teleskop kurmak için yaptığı araştırmaların ardından gelmişti. Önce "Galilei usulü" bir dürbün yapmıştı. Bununla, elde ettiği görüntülerin kenarlarının yanardöner, renkli olduğunu ve renklerin birbirlerini hep aynı sıra içinde izlediğini gözlemlemişti: mor, çivit, mavi, yeşil, sarı, turuncu, kırmızı.

Bundan, görüntüye yanardöner bir çerçeve veren kenarlardaki bu renk ayrışımının engellenemeyeceği, bu nedenle asla kusursuz bir dürbün yapılamayacağı sonucuna vardı (yanılıyordu). İlk aynalı teleskopu da bu saptamanın ardından yapmıştı. Merceklerden kaçınmak için!

Demek ki bir prizma yardımıyla ışığı ayrıştırmaya da, bu alacalanma olayını anlamak için girişmişti. Yerinde bir girişim!

Ancak bu işe kalkışan ilk kişi o değildir: Hooke, Descartes ve daha başkaları, bu tip deneylere ondan önce girişmişti. Ama kendinden öncekilerden daha ustaca bir deney düzeneği sayesinde, bunu derinlemesine ilk anlayan gerçekten de o oldu. Ötekiler, gözlem ekranını prizmanın birkaç desimetre uzağına yerleştirmişti. O ise 10 metreye yerleştirdi! Renkler, kuşkusuz soluk ama net olarak ayrılmış ve belirli. Beyaz ışığın çeşitli renklere ayrışımını anlamak daha kolay olacaktır.

Bununla birlikte, Newton hâlâ, ışığın tüfek mermileri gibi doğrusal çizgilerde yayılan çok küçük parçacıklardan oluştuğuna inanıyordu; bunların yedi tür olduğunu düşünmek yeterdi!

Newton bir düzlem üzerine konmuş bir yarım mercek üzerine ışık "düşürerek" şaşırtıcı bir olayı daha keşfedecektir. Merceğin çevresinde dönüşümlü olarak karanlık ve aydınlık bölgelerin varlığını gözler, bunları halkalar olarak adlandırır; daha sonra bunlara saçak da denecektir.

Bunu nasıl açıklamalı? Newton diretir. Dalgaları reddetmeyi sürdürür!

Burada Newton karmaşık, salt mekanik bir sistem tasarlar ama kimseyi inandıramaz. Halkalar gözlemi, bilimsel kafalarda açıklamasız kalır. Ama olgu ortadadır.

Beyaz + beyaz = beyaz mı, siyah mı?[27]

Beyaz ve siyah saçakların gizemi...

Newton'dan ve temel nitelikteki deneyinden sonra, Thomas Young'la (1773-1829) yeni bir aşamaya geçilecekti.

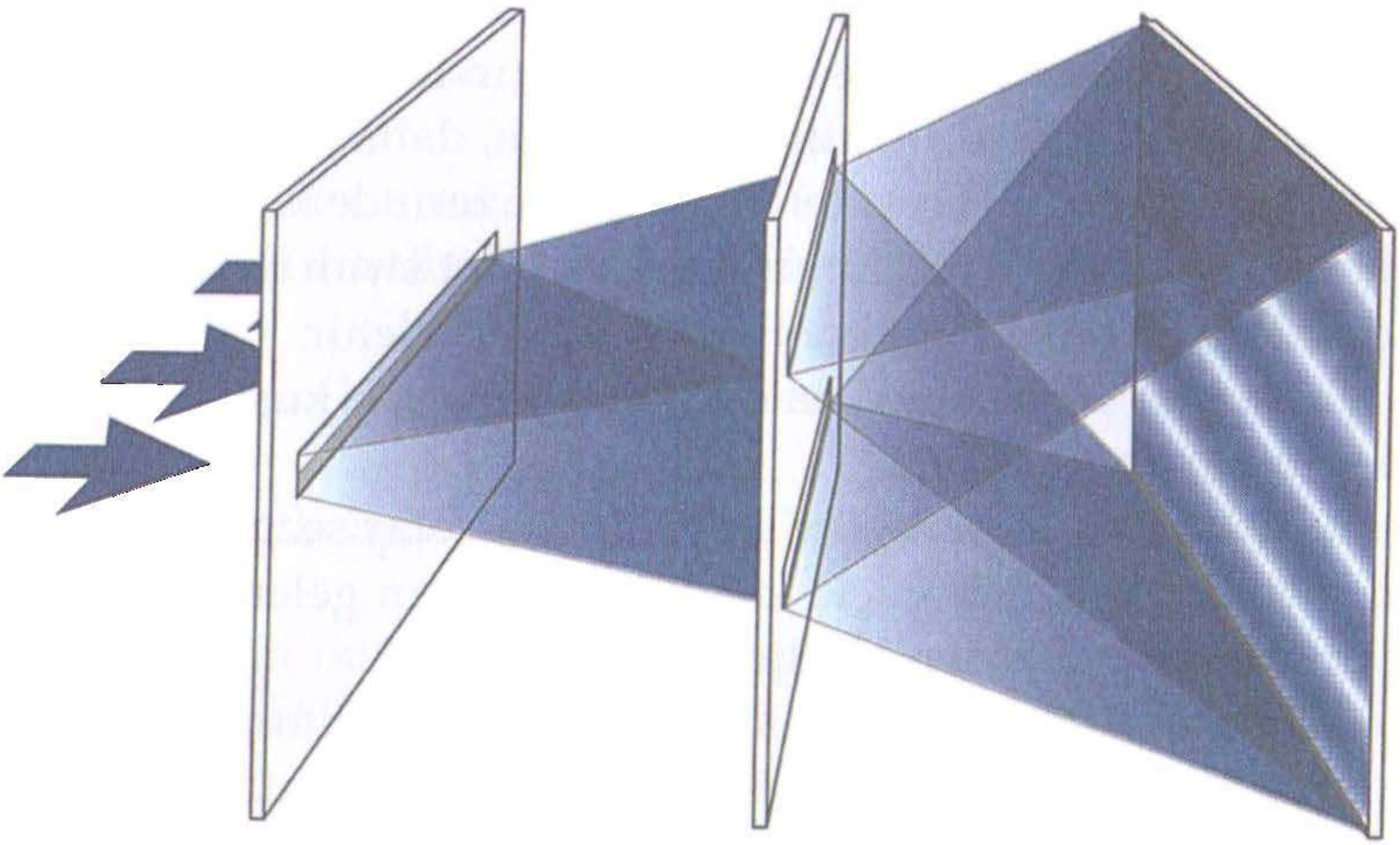
Thomas Young her alanda yetenekliydi: bilimde olduğu

27 Şöyle de diyebiliriz: Işık + Işık = Işık mı, Karanlık mı?

gibi edebiyatta, resimde olduğu gibi de müzikte. Ne yazık ki bu "çokyönlü" dâhilerin bıraktığı büyük yapıtlar genellikle pek az sayıdadır. Ya çok dağılmışlardır ve belirli bir alana kesin bir katkı yapacak kadar zaman ayırmazlar, ya da kalitede fazla seçicidirler ve o alanda yapabileceklerini kendi kendilerine süzgeçten geçirirler: "Bir Chateaubriand olmak isterim ya da hiç kimse olmam", "Çok yükselmemek belki ama tek başına yükselmek", söyleyişte hayranlık kazanan tüm bu güzel ilkeler birçok bilim adamını kısırlaştırmıştır.

Thomas Young bunun tersi. Her türlü yeteneğiyle her alanda başarısı tam ya da tama yakın.

Bizi ilgilendiren konuda, yani ışık konusunda ikinci sonuç verici deneyi gerçekleştirip neredeyse tam kesinlikte bir ışık kuramı ortaya attı (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 3.2
Girişim saçakları.
Young'ın yarıklar deneyi.
İki yarık, aynı ışık kaynağıyla aydınlatılır. İki yarık, ışıklarını ortak bir alan bulunacak biçimde kırınıma uğratır. Bu alanda dönüşümlü olarak beyaz ve siyah bantlar görülür: bunlar girişim saçaklarıdır.

Young'un temel deneyi "*girişim* saçakları" deneyidir – bu terimleri iyi öğrenelim, bunlar fizikte anahtar sözcüklerdir, bir fizik konusu üzerindeki konuşmayı biraz daha sadeleştirirler. Demek ki, *girişim*.

Bir karanlık odanın duvarında küçük bir yarık açarsak, bu yarıktan çıkan ışığın ışık ışını kuramına tam uymadığını görürüz. Gerçekten de yarık bir kez geçildikten sonra ışık fırçası genişler ve daha düşük yeğinlikli bir ayla oluştuğundan, yarığın boyutunun düşündüreceğinden daha geniş bir alanı aydınlatır. Bu kırınım olayıdır. (Parçacıklarla nasıl yorumlanır acaba bu?)

Şimdi bir değil, birbirine çok yakın iki yarık açtığımızı düşünelim. Her biri yaygın bir ışık alanı doğuracaktır.

İki yarığın arkasına bir ekran yerleştirelim ve iki ışık aylasının üst üste geldiği alanı inceleyelim. Garip, tuhaf ve beklenmedik bir olay görürüz.

İki ışıklı alan üst üste geldiğinde, bundan ortaya çıkan sonucun daha iyi aydınlanmış, daha ışıklı, daha parlak olacağını düşünebilirdik. Oysa tersine, ekran üzerinde kırınım çizgilerinin, yani dönüşümlü olarak *siyah* (evet siyah diyorum) ve çok daha parlak beyaz bantların varlığı gözlenir.

Thomas Young, bu deneyi yaptığında hiç kuşkusuz şaşkınlıktan donup kaldı.

Parlak bantlar ona göre sorun değildi; olay sezgiye uygundu, çünkü ışık ışığı güçlendirir: bir yarıktan gelen ışık diğer yarıktan gelene ekleniyordu.

Peki ya siyah bantlar?

Gerçeği kabul etmek gerekiyordu: *ışığın bazı bölgelerinde, daha fazla ışık karanlığı, siyahı getiriyordu. Işıkların toplamı siyahtı!*

Lambanızın yeterince aydınlatmadığını düşünürsünüz, bir başkasını satın alırsınız, yakarsınız ve odanın o çok beklediğiniz aydınlanmasının yerine duvarlarda siyah çizgiler görürsünüz!

Ne yapardınız? Herhalde ikinci lambanın satıcısına gider ve ona "Kuzum, bana sattığınız şu şeytani lamba neden yapılmış?" diye sorardınız.

Tüm bunları Thomas Young'ın deneyinin sonucuna ne denli şaşırmış olacağını anlatmak için söylüyorum.

Anlaması gerekiyordu.

Ve anladı... onun dehası da burada zaten.

Işığın bir dalga olduğuna dair Huygens'in düşüncesini anımsadı. Tabii Newton bunu elinin tersiyle itmişti kuşkusuz, ama o her İngiliz gibi Newton'a saygı duyuyordu. Peki... ya şu kibar Hollandalı haklıysa?

Öyleyse ona katılıp ışığın pekâlâ bir dalga olabileceği düşüncesini inceleyelim.

Nedir, dalga? Bir almaşmanın, bir titreşimin, +1, -1, +1, -1, +1... değerler serisinin uzayda yayılmasıdır.

Karakterleri +1 ve –1 olan bir tür mors sinyali.

Young'ın yarıklar deneyini yaptığımızda ekranın üzerinde, iki ışık aylasının üst üste geldiği alanda (+1, -1, +1, -1...) türünde sinyaller alırız.

Ama ışığın belirli bir hızı vardır ve tüm ışınların yolu aynı değildir.

(+1, -1, +1, -1...) dizisi zamanlı bir dizidir, tıpkı kalp atışları gibi.

Ekranın belirli bir noktasına iki ışık ışını düştüğünü düşünelim.[28]

Sonucun iki (+/-)'li dizinin toplamı olmasını bekleyebiliriz. Eğer bunlar ortaya, yarıklara eşit uzaklıklarda ulaşırsa, bu durumda bunları (+1, -1, +1, -1, +1, -1...) + (+1, -1, +1, -1, +1, -1...) biçiminde toplamamız gerekir.

Bu da bize (+2, -2, +2, -2, +2, -2...) sonucunu verir, yani baş-

28 Çok daha sonraları, Davisson ve Germer elektronlar kullanarak girişimler gerçekleştirecektir. Bu, parçacıkların da mikroskobik boyutta dalgalar olduğu temeline dayanan kuantum mekaniğinin çıkış noktası olacaktır.

langıç dalgasıyla aynı ama onun iki katı genlikte bir almaşma. (+) 1 ya da (-) 1 yerine (+) 2 ya da (-) 2.

Ama eğer bir birimlik küçük bir "gecikme" olursa, (+1, -1, +1, -1, +1, -1...) + (-1, +1, -1, +1, -1, +1...) biçiminde toplamamız gerekir.

Sonuç 0, 0, 0, 0, 0, 0... olacaktır. Işık olmaz artık!

Buradan hareketle, *yarıklar arasındaki uzaklık* ile *saçaklar,* diyelim siyah saçaklar *arasındaki uzaklık* arasındaki kesin matematiksel ilişkiyi oluşturmak kolaydır.

Peki ama bu olay genel olarak tüm titreşimler için geçerli midir? Evet, kesinlikle. Bunu maviyle olduğu gibi kırmızıyla da gerçekleştirebiliriz. Ses dalgalarıyla da gerçekleştirebiliriz.[29]

Böylece Thomas Young ışığın gerçekten de Huygens'in düşündüğü gibi bir titreşim olduğunu, ama evrensel ortamı, Huygens'in "eter" dediği boşluğu bile titreştiren "özel" bir titreşim olduğunu açıklayabilir. Daha sonra şu temel noktayı ekler: ışık, sesin yaptığı gibi kendi yayılmasının yönünde (bir akordeon gibi) titreşmez; yayılma yönüne dik olarak titreşir.

Bu titreşimler bir ortama geldiklerinde girişim oluştururlar, yani birbirlerine eklenirler (ya da birbirlerinden çıkartılırlar) ve öyleyse, ya güçlenirler, ya da sönerler.

Ama Young kuşkusuz, Newton'ın ışığın renklere ayrıştırılması konusundaki tüm çalışmalarını gayet iyi bildiğinden, daha da ileriye gider.

"Gerçekte", der, "ışık bir titreşimler karışımıdır ve her titreşim bir rengin belirleyicisidir". Demek ki ışık her biri kendi hesabına hareket eden yedi titreşimden oluşur.

Eğer kırmızı rengi ayırır ve onun üzerinde yarıklar deneyini yaparsak, kırmızı ve siyah çizgiler elde ederiz. Eğer mavi ışığı ayırırsak, Young'ın deneyi mavi ve siyah saçakları verir.

29 Aynı biçimde Newton'ın halkalarının oluşumunu da açıklayabiliriz.

Bu yolla her ışığı, her rengi, onu taşıyan titreşimin ayırt edici bir büyüklüğüyle belirlemek olanaklı olur. Buna dalga boyu deriz. Dalga boyu, bir titreşimin boşlukta en yüksek noktasından (önceki örnekte +1) hareket edip en düşük noktasından (-1) geçtikten sonra yine +1'e gelerek katettiği uzaklıktır. İki tepe noktasından geçmek için gereken zamana periyot denir. Dalga boyu, bir periyot süresince kat edilen uzaklıktır.

Ama böyle bir dalga boyunu nasıl ölçebiliriz?

Young, bunu yapabilmek için, çeşitli renklerin yardımıyla, girişim deneylerine geri döner. Saçakların birbirinden uzaklığının ölçümü, dalga boylarını saptamaya olanak verir.

Ne kadardır bunlar? Görülebilir aralıkta, dalga boyu, 3.500 Å ile 7.200 Å arasındadır (1 Å yani angström = 10^{-10} metre). Mor 3.500 Å'a yakındır, kırmızıysa 7.200 Å'a.

Utangaç bir genç adam

Bilimde "dâhilere", yenilikçilere saygı duyulur ve bu değerbilirliktir, çünkü bunlar çoğunlukla belirleyici ve kimileyin de yeri doldurulamaz roller oynarlar. Ama bir düşünce ortada dolaştığında, belirli bir dönemde olgunlaştığı da olur ve marifet onu o anda başkalarından önce yakalamaktır.

Bu, Fermat'dan beri havada dolaşan diferansiyel hesap düşüncesini yakalayıp onu tomurcuklandıran ve bunu birbirlerinden bağımsız olarak yapan bir yanda Newton'ın, diğer yanda Leibniz'in durumudur.

Işık için de aynısı oldu.

Young'un ışık üzerindeki çok önemli çalışmalarını gerçekleştirmesinden birkaç yıl sonra, genç Politeknikli Augustin Fresnel (1788-1827), Young'ın tüm sonuçlarını ondan bağımsız olarak yeniden buldu, onları genelleştirdi, matematiğe döktü – bunu yaptığında öncelinin tüm çalışmalarından habersizdi.

Fresnel'in aslında sahip olmadığı bir önceliğe soyunduğunu ya da tersine, Young'ın "sahneye" kendisinden sonra çıkmış bu genç Fransızı küçümseyeceğini düşünebilirdik.

Hiçbiri olmadı.

Young çok yüce gönüllü davranarak Fresnel'i kendisinin önceden yapmış olduğu buluşlar için kutladı ve Fransızın özgün katkılarının altını çizdi. Fresnel'e gelince, Young'ın buluşlarını Arago aracılığıyla öğrendiği andan itibaren onu ustası gibi gördü.

Kısacası, her ikisi de bireysel zaferden çok gerçeğin arayışında, egolarını ikinci plana atıp bilimsel etiğin her şeyin önünde gelmesi gerektiğini anlayan efsanevi bilim adamları gibi davrandılar.

Ne güzel bir ders!

Görüntü güzelse, neden saklansın? Yazışmaları çok hoştu. Fresnel: "(...) Buluşlarınızın öncelliğini halkın önünde birçok fırsatta seve seve açıkladım (...)." Young: "(...) girişim yasalarını (...) kendi çabalarıyla yeniden bulduğu anlaşılan Bay Fresnel'in okuduğu bir optik çalışmasını ilk kez duymak (...) zevkini tattım." Yine de akademik kalmasına çalışılan şiirsel bir ortamda sanırsınız kendinizi...

Kutuplaşma

Gerçekten de, hiç şovenlik yapmadan söyleyebiliriz ki Fresnel'in çalışması Young'ınkinden çok daha kuramsal, daha sistematik, daha eksiksiz görünüyor (demek ki Politeknik Okulu'nun ileri derecede, bazılarına göre aşırıya kaçan matematiksel eğitimi kimi durumda yararlı oluyor). Frensel, özellikle, karşımıza çıkan ve Young'ın dokunup geçtiği tüm özel durumları açıklayan genel bir matematiksel formülleştirme geliştirdi.

Ayrıca çok özel bir olayı, çift kırılmayı açıkladı.

Bu olay zaten iyi biliniyordu. İzlanda Spatı* olarak adlandırılan özel bir kristal aydınlatıldığında düşen ışık ışını, değişik biçimde kırılmış iki ışına ayrılır. Bu pek gizemliydi. Oysa Fresnel gösterdi ki Huygens'e katılıp, ışığın yayılma yönüne dik bir düzlemde titreşen bir titreşim olduğunu düşünürsek, her şey açığa çıkar: İzlanda Spatı kuşkusuz titreşimleri iki dik yönde geçirir, ama aynı hızlarla ve aynı "kırılma indisleri"yle değil; demek ki bu kristal, ışığı iki bileşene ayrıştırır ve bunu yapmakla, başlangıç ışınının birbiri üzerine eklenmiş (beyaz ışığın birbiri üzerine eklenmiş renkleri kapsaması gibi) ve şimdi kendisinin ayrıştırdığı iki bileşeni içinde taşıdığını açıkça gösterir.

Bu iki titreşim birbirine karıştırılırsa, yeniden başlangıç titreşimini oluştururlar.

Günümüzde, ışık titreşimini yalnızca bir planda geçirerek gelen ışığın yeğinliğini yarıya indiren polarize camlar tam da bu ilkeye dayanarak üretilir. İki polarize camı kesiştirirsek, siyah olur! Hiç ışık geçmez, çünkü iki ışık planı birbirlerine diktir. (Şu basit deneyi iki polarize gözlükle yapın. Gözlükleri birbirine paralel yerleştirip bir ışık kaynağına bakın, sonra gözlüklerden birini döndürün. Bir noktada ışık kaybolacaktır (siyah). Bu, aldatılmadığınızı ve gerçekten iki polarize gözlük satın almış olduğunuzu kanıtlar!). Bu özellik birçok kristalde ortak olduğundan, kayalardaki madenleri incelemek için polarize mikroskoplar yapılmıştır.

Güneşin siyah çizgileri

Newton, ışığın yedi temel rengin birleşiminden oluştuğunu göstermişti. İngiliz Wollaston 1802'de, ardından Alman Fraunhofer 1814'te, güneşten gelen ışığı güçlü biçimde ayırabilen bir prizma yardımıyla inceleyerek, güneş ışığının farklı renk

çizgilerine ayrıştırılabileceğini gösterdiler. Kimileri yoğundu, kimileri sanki soluktu, ama tayf kesikliydi (Bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3
Güneşin siyah çizgileri.
İşte Fraunhofer'in gözlemlediği haliyle, çok sayıda siyah çizgisi olan güneş tayfı.

Bunsen ve Kirchhoff, bir alevin içine Sodyum tozu atıp yayılan ışığı bir prizma yardımıyla inceleyerek, Sodyumun iyice belirli kendine özgü çizgileri olduğunu ortaya koydular. Aynı deneyi Potasyumla yaptıklarında, çizgilerin var olduğunu ama farklı olduklarını gözlediler. Bunun üzerine, olabilecek tüm kimyasal maddeleri incelediler ve her birinin belirli bir tayfölçüsü tipiyle ayırt edilebildiğini gözlediler. Bu elementler karıştırılıp ateşe atıldığında, incelenen çeşitli elementlere ait çeşitli çizgiler görülüyordu. Bu yöntemle, optik tayf sayesinde, bir alevin (ve daha genel olarak tüm ışık kaynaklarının) kimyasal bileşimini incelemek olanak kazanıyordu. Böylece güneşin, ondan sonra da uzak yıldızların kimyasal yapısını incelemek mümkün olacaktı. "Spektroskopi" ve tayf ölçümü yöntemi daha niceliksel bir duruma geldiğinde "spektrometri" gündeme gelecektir. Astrofizik ve kozmik kimya böyle doğdu. Ama, sürpriz, mordan kırmızıya renklenmiş bu güneş tayfının tam ortasında Fraunhofer, siyah çizgiler belirler... evet, sürpriz!

Newton ışığı bir prizmayla ayrıştırmıştı, Young ve Fresnel her ikisinden biri siyah olan girişim saçakları oluşturmuştu, ama Bavyeralı optikçi Joseph Fraunhofer'in 1814'te güneş tayfı içinde açığa çıkardığı şu 476 siyah çizginin kaynağı ne olabilirdi? Girişimler mi söz konusuydu? Ama nerede oluşuyor-

lardı? Siyah girişim saçaklarına göre çok daha düzensiz bir görünüşleri vardı. Neydi bunların kaynağı?

Bunun açıklaması iki kısımda geldi. Elli yıl sonra. Bunsen ve Kirchhoff, güneş tayfındaki siyah çizgiler arasından iki tanesinin laboratuvarda tanımlamış oldukları Sodyum çizgilerine karşılık geldiğini anladılar. Bunun üzerine, güneş ışığını ayrıştıran prizmanın önüne Sodyumlu bir alev koymayı kararlaştırdılar. Büyük bir şaşkınlıkla gördüler ki iki koyu çizgi daha da koyulaştı. Bu durumda Kirchhoff şu savı ileri sürdü: alevdeki Sodyum, güneşin içeriğindeki Sodyumun yaydığı çizgileri yutmuştu! Sodyum aynı çizgileri hem yayıyor, hem de emiyordu! Hayranlık verici.

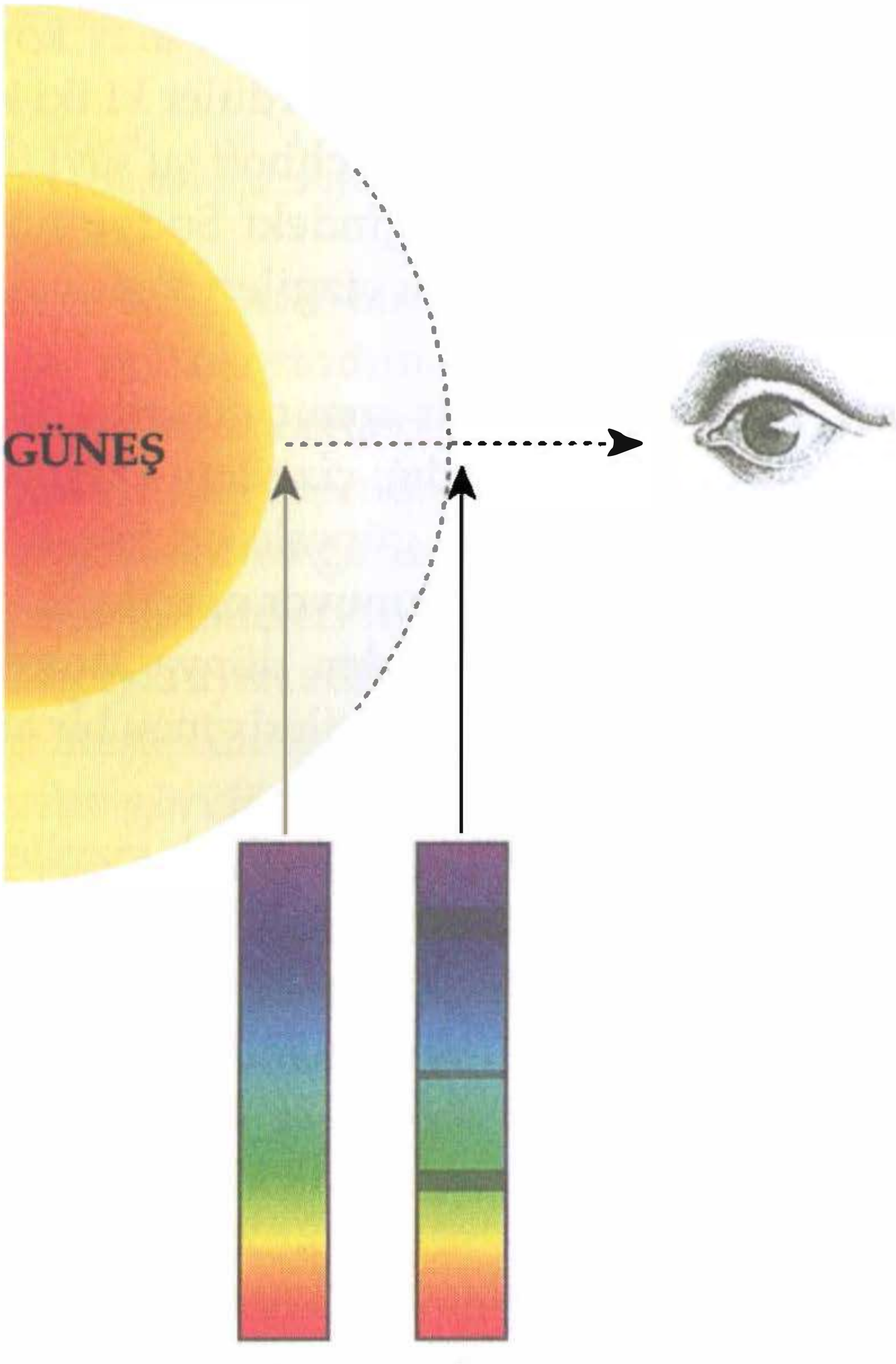
Kirchhoff, bundan başka bir sonuç çıkardı. Eğer normal güneş tayfında Sodyumun yaydığı çizgilere karşılık gelen bu iki siyah çizgi gerçekten varsa, güneşle prizma arasında bu aynı çizgileri yutan Sodyum bulunuyor olmalıydı. Buna göre Kirchhoff, Sodyumun emilmesinden dünya atmosferini sorumlu tuttu. Yanlış! Çünkü eğer çizgileri emen bir atmosferse, bu, güneşin kendi atmosferidir!

Başka bir deyişle, eğer güneş tayfı siyah çizgiler içeriyorsa bunun nedeni, güneş atmosferinin kimyasal bileşiminin, Bunsen alevi gibi bir ateş fırını olan güneşin iç kısmının yaydığı kimi ışık çizgilerini süzmesi, elemesi ve emmesindendir. Güneş ışık yayar, aynı zamanda atmosferi de bunun bir kısmını emer.

Bu kesintisiz süreç (maddenin ışığı yayması/emmesi), 20. yüzyılın başındaki kuantumlar devrimi sayesinde bir nedensellik açıklamasına kavuşacaktır.

Ama astronomi gözlemleri bakımından sonuçları anında görülebiliyordu. Uzak bir gökcisminden gelen bir ışık aldığımızda, bu ışıkta yayım olayları gibi, emilme olayları da üst üste gelmiştir: yıldızların kızgın alevlerinden yayılma, yıldızların dış tabakalarınca emilme, yıldızlar arası maddelerce emilme

vb. Ne olursa olsun, teknik olarak son derece karmaşık olan astronomik tayf incelemesinin, özellikle de emilen ve yayılan çizgilerin incelemesinin, eşsiz bilgi zenginlikleri taşıdığı ortaya çıktı. Yıldızların kimyasal bileşimini saptamamıza olanak verir bu! (Bkz. Şekil 3.4). Kozmik kimya doğmuştu işte!



Şekil 3.4
Güneşin siyah çizgilerinin açıklaması.
Güneş, kimyasal bileşimine bağlı olarak ışık yayar ve atmosferi yine bu bileşime bağlı olarak ışık emer. Siyah bantların varlığı bu temel kimyasal bileşenlere dayanır. Işık yayma bantlarıyla birlikte bulunurlar. Bu ilke, yayılma ve emilme çizgileri bize ulaşan yıldızların kimyasal incelemesinde de uygulanacaktır.

Önce bir parçacıklar demeti, sonra da şu "eter" denen gizemli ortamı titreten bir dalgalar topluluğu olarak kavranan ışık, çok hızlı yayılır.

Öyle hızlı yayılır ki Kepler ve Descartes gibileri onun yayılma hızının sonsuz olduğunu savlıyordu. Galilei ve Newton gibi başkalarıysa, bunun belirli bir hız olduğunu düşünüyordu.

Galilei, bunu ölçmek için bir deneye bile kalkışmıştı.

Bildiğimiz gibi, böyle bir proje için yeterince duyarlı bir saati yoktu ve ancak: "Gerçekten çok büyük!" diyebildi.

Elli yıl sonra, Danimarkalı astronom Römer, ışığın hızını belirlemek için Galilei'nin buluşlarından birinden yararlandı. Jüpiterin uydularından biri olan Io, Jüpiter çevresinde 42,5 saatte döner. Yerkürenin Jüpitere göre çok basit bir hareketi vardır. Yılın bir yarısında ona yaklaşır, öbür yarısında ondan uzaklaşır. Io uydusunun yeryüzünden ölçülen tutulması, yerküre Jüpiterden uzaklaştığı sırada ona yaklaşırken olduğundan daha uzun sürer. Römer, bunu ışığın hızının sınırlı oluşuna bağladı. Ama kitapların belirttiğinin aksine, bunun hesabını yapmadı. İlk hesaplamayı, yıldızları gözlemleyen İngiliz astronomu Bradley yapacaktır. Yaklaşık olarak saniyede 300.000 kilometre sonucuna vardı. Bu çok iyi bir sonuçtu!

Ama asıl kesin ölçümü 1849'da Hippolyte Fizeau yapacaktır. Fizeau, aynı çizgi üzerine biri Suresnes'e, diğeri Montmartre'a, aralarında 8.633 metre uzaklıkla (tam aynı çizgiye yerleştirmek kolay olmasa gerek!) iki dürbün koydu. İkinci dürbüne Fizeau, merceğin yerine ışık yansıtan bir ayna yerleştirmişti. Birincisine de çok güçlü bir lambadan ışık yollayıp dönüş ışınını gözlemesini sağlayan yarı yansıtıcı bir ayna yerleştirmişti. İlk dürbünün çıkışına, hızını de-

ğiştirebildiği dişli bir tekerlek yerleştirdi. Dişler ve oyuklar, aralıklı, kırpışan bir ışık yayacak biçimde "kare"ydi. Ama bu dişli tekerlek ikinci dürbünden yansıyan ışığı durdurmaya da olanak veriyordu.

Eğer dişli tekerleğin hızını uygun biçimde ayarlarsa, birinci dürbünden çıkan –ve ikincinin aynasından yansıyan– bir ışık demeti, Suresnes'teki merceğin önüne gelen bir sonraki kare diş tarafından durdurulacaktı. Bu durumda, Suresnes'teki gözlemci, Montmartre'daki ışıltının bir "tutulmasını" gözlemleyecekti.

Tam olarak belirtmek gerekirse, tekerleğin 720 dişi vardı, gerekli dönüş hızı saniyede yaklaşık 12 turdu. Buna göre ışığın hızını saniyede 315.000 kilometre olarak hesapladı.

Bir sonraki yıl, sıradışı iki deneyci, önce arkadaş sonra rakip olan Fizeau ve Foucault arasında çetin bir yarış görülecektir. Birinci dereceden öncelikli bir başka probleme yoğunlaşmışlardı.

Işık havada mı, suyun içinde mi daha hızlıdır?

Suresnes ile Montmartre arasındaki alanı suyla doldurma umudu olmadığına göre, başka düzenekler düşünmek gerekiyordu. Foucault ve Fizeau bunlardan çok daha parlak olanlarını icat ettiler; bunlarda ışığın yolculuğu, bu kez de çok hızlı dönen bir aynadan hareketle, yaklaşık yirmişer metrelik uzaklıklar üzerinde gerçekleşiyordu. Foucault yarışı kazandı ve sonucu ilk veren o oldu, ama Fizeau birkaç ay sonra onu doğruladı: *ışık havada, suda olduğundan daha hızlı yayılır. Boşlukta daha da hızlı yayıldığı* da çok geçmeden anlaşılacaktı.

Işık kesinlikle bir dalgaydı... ama çok hızlı bir dalga.

Beyaz ışığın bir renk karışımından oluştuğunu açıkladıktan sonra, ışığın dalga yapısında olduğunu söyledik. Daha sonra ışığın şu efsanevi hızının hangi yöntemle ölçüldüğünü gördük. Tüm bunların arasında ne tür bir bağlantı var? Ya gözümüz, o ne rol oynar?

Eskiler ışığı gözün yarattığına inanırlardı. Bugün buna gülüyoruz, ama bu düşünce o kadar da saçma mıydı?

Bu karışıklığa biraz düzen vermeye çalışalım.

Önce, ışığın hızı. Boşlukta tüm renkler için aynıdır (kuru havada da). Eğer Fizeau'nun deneyini farklı renklerdeki lambalarla yinelersek, hemen hemen aynı hızı elde ederiz, ama tam olarak değil. Çünkü ışık, maddeden geçerken onunla etkileşir ve bu etkileşim titreşim frekansına, yani renge bağlıdır.

Demek ki madde içerisinde renkler farklı hızlarda yayılırlar ve prizmanın ışığı ayrıştırmasına olanak veren tam da bu farktır. Ama yineleyelim, boşlukta tüm renkler aynı hızda yayılır.

Beyaz ışığın yedi temel rengin karışımından oluştuğunu söylemiştik. Ne var ki Newton'ın deneyiyle kesin olarak açığa çıkarılan bu bölünme, yalnızca bizim gözümüze ve ışığın onda uyandırdığı duyulara bağlıdır. Işığın titreşim frekansları sürekli değişir. Retina kimi frekanslara karşı duyarlıdır; bunlar görülebilir tayfa ait olanlardır. Bunları seçen gözdür. Öyleyse eskiler ışığın yaratılışında göze bir rol verirken yanılmamışlardı.

Göze etki eden ışık beyaz ışıktır. Gözü etkilemeyen daha yüksek frekanslar vardır, bunlar morötesi ışıklardır; daha düşük frekanslar da vardır, bunlar da kızılötesi ışıklardır. Bunlar prizmayla ayrıştırmada, görülür renklerin her iki yanında

kımıldayan "bir şeyler" olduğu gösterilerek kolayca açığa çıkarılır. Kuşkusuz, bunu ölçebilir, sonra da daha gelişmiş yöntemlerle inceleyebiliriz (insan gözünün görmediği renklere duyarlı maddeler ve hayvanlar vardır).

Öyleyse renkleri renk "yapan" gözdür.

Düşünmemizi bu çerçevede sürdürebiliriz. Tüm renkler, üç birincil renk kullanılarak yeniden oluşturulabilir. Televizyonda üç renk kullanılır –kırmızı, yeşil, ve mavi (Bkz. Şekil 3.5)– ve tüm renkleri elde etmek için bunlar üst üste konur.

İki renk karıştırıldığında beyaz ışığı veriyorlarsa, bunlara tamamlayıcı renkler denir.

Kırmızı+mavi+yeşil = beyaz olmasından hareketle bir dizi eğlenceli denklem yazabiliriz.

Örneğin,

Sarı + mavi = beyaz, çünkü sarı = kırmızı + yeşil.

Ayrıca renkleri toplayarak, üst üste ekleyerek değil, birtakım bileşenlerini bir filtreyle eleyerek bir renkler bireşimi gerçekleştirebiliriz. Elemeyle bireşimdeki üç temel renk, magenta, cyan (bir tür mavi) ve sarı filtreleridir (sıklıkla yanlış olarak kırmızı, mavi ve sarı da denir bunlara). Bunlar boyacılığın ve fotoğrafçılığın temel renkleridir.

Tüm bunların açıklaması nedir? Bir rengin tek bir titreşim frekansıyla değil, frekansların bir süreklilik içindeki dağılımıyla belirlendiğidir. Buna karşın göz, sürekli biçimdeki frekans dağılımlarına kesikli olarak tepki gösterir. Böylece ekleme ya da çıkarma yoluyla yapılan renk karışımları anlaşılabilir duruma gelir, çünkü şekilde gördüğümüz gibi, değişik renklerin tayflarının kendileri süreklidir.

Gözün aynı derecede temel, aynı derecede belirgin ikinci bir özelliği, görsel izlenimlerin kalıcılığıdır.

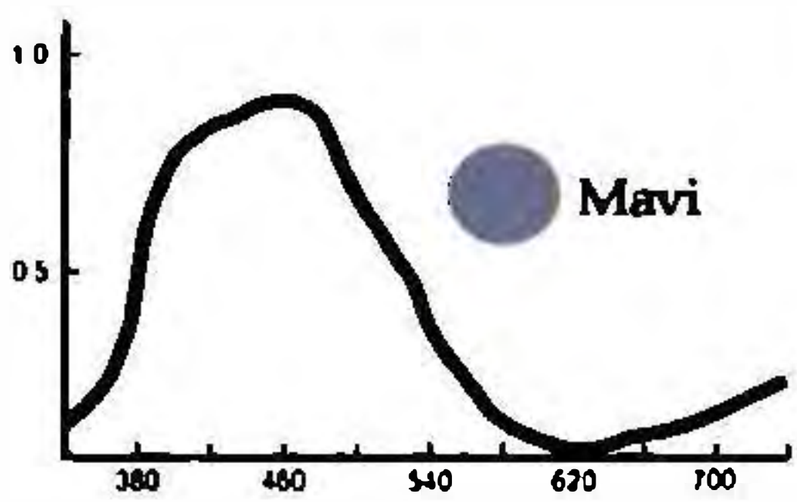
Fizeau'nun deneyinde, sinyalin Montmartre'da parıldadığını ve sonra da dönen çarklar engellediğinde söndüğünü görmek için bu izlenimden yararlanılmıştı.

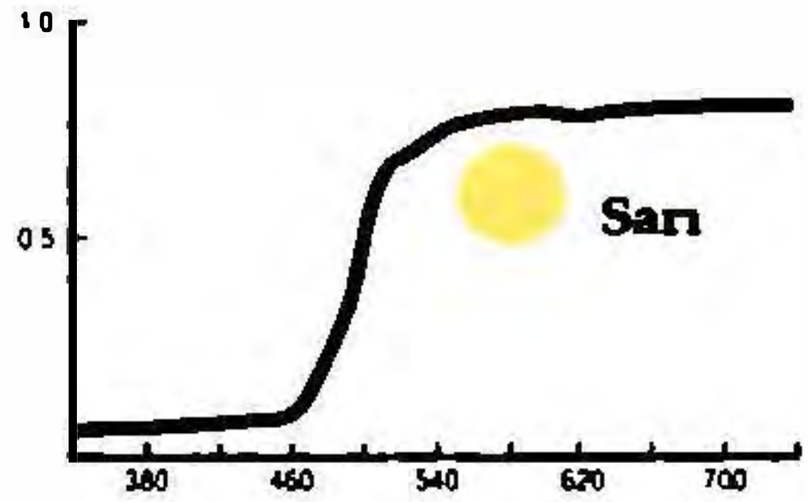


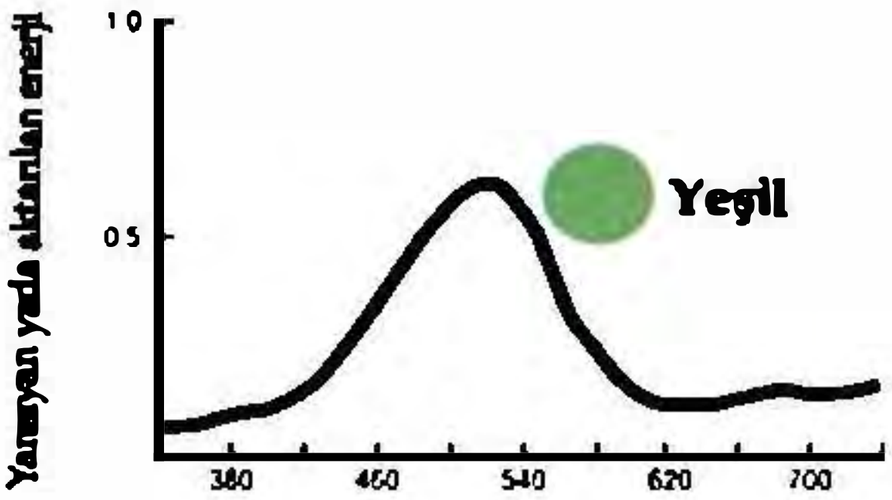
Toplamalı karışım
İkincil renkler

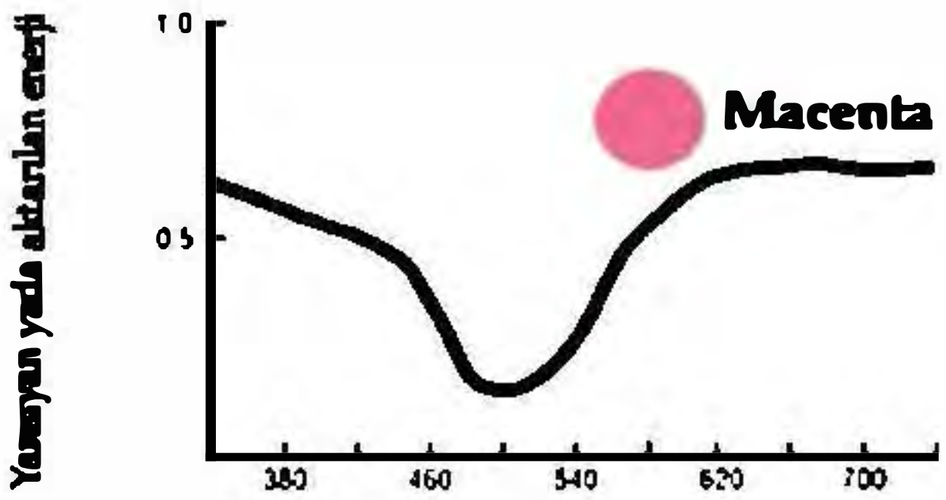


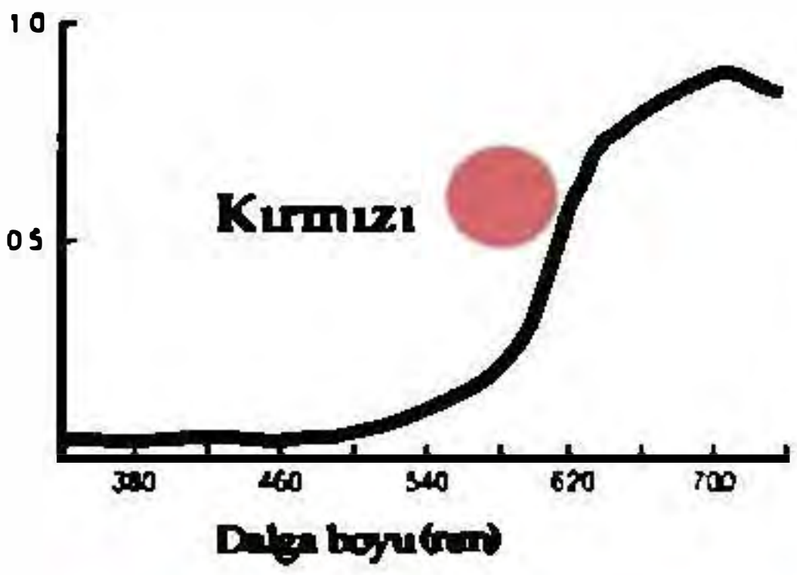
Çıkarmalı karışım
Birincil renkler

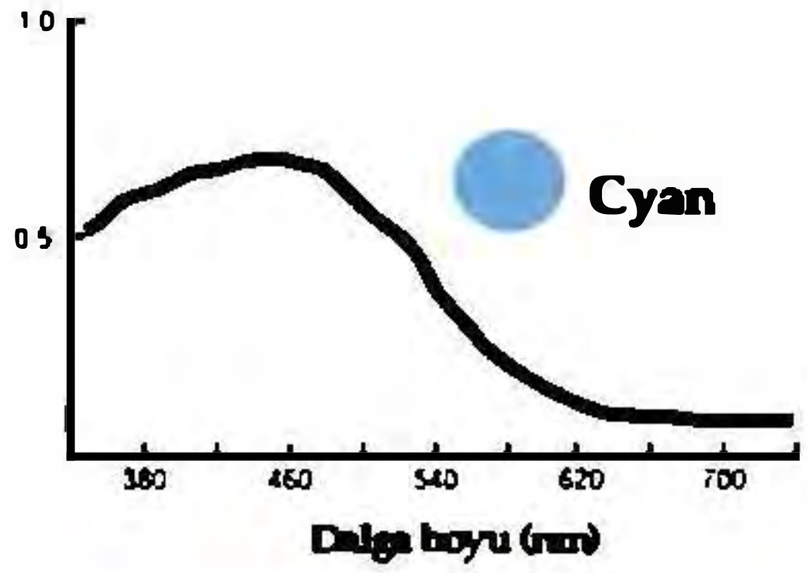
















Şekil 3.5.
Renklerin nasıl toplanabileceğini ya da çıkartılabileceğini gösteren şema. Solda, renkler toplanıyor. Üç temel renkten, Mavi-Yeşil-Kırmızı'dan hareketle
beyaz bir ışık elde ediliyor. Aşağıda her rengin "tayfı" gösteriliyor. Bunlar toplanarak beyaz ışık yeniden oluşturuluyor. Sağda, tersi yapılıyor; beyaz ışık, Sarı-Magenta-Cyan renkli filtrelerle süzülüyor. Birbirini izleyen bu filtrelerin her biri tayfın bir kısmını eliyor ve sonunda siyah elde ediliyor.

18. yüzyılda Başrahip Nollet'nin bulduğu, gözün bu izlenim özelliğinden, Lumière kardeşlerin 1895'te icat ettiği çığır açıcı bir alette yararlanıldı: sinema. Ancak bu teknik çok yavaş gelişti ve ona tam hâkim olabilmek için bugün adı unutulmuş Dubosc (1841), Cook ve Bonelli (1861), ünlü Maxwell (1865) ve Marey'in (1882) adlarıyla belirlenen birçok aşamadan geçmek gerekti; hepsi de çözüme yaklaşmıştı, ama hepsinin de hedefi, dönen cisimlerin araştırılmasından (bu, stroboskopiyi doğurdu) kuşların uçuşlarının incelenmesine kadar uzanan salt bilimsel amaçlardı, sanatsal uygulamayı da unutmayalım. Bu destan üzerine kocaman kitaplar yazıldı...

Bir kez daha, kafaların evrimi tekniklerinkinden daha yavaş olacaktı.

Her neyse, yanılmaktan korkmadan şunu söyleyebiliriz ki renkli sinema insan gözünün bir icadıdır. Hayvanlar siyah-beyaz bir filmi bizim gibi algılıyorlar ama kuşkusuz, renkli bir filmi bizimle aynı biçimde algılamıyorlar!

4

Sihirli Üçgenler

Astronomi belki de en eski bilimdir; gökyüzü, özellikle geceleri, o denli büyüleyicidir. Gökteki binlerce yıldız öyle bir enginlik duygusu verir ki anında Tanrılarla doğrudan bir ilişkiyi çağrıştırır (onlardan yayılan ışık da bu duyguyu güçlendirmek için cabasıdır!) Işık-Astronomi-Tanrı, işte sihirli bağlantı.

Zaten tüm dinler her enlemde, tüm devirlerde, Tanrıların krallığını gökyüzüne yerleştirmiştir. Bu nedenle astronominin, başlangıçtan beri tanrısal bir kokusu vardır ve tam da astrolojiyle karıştırılmasından dolayı hep ilgi çekmesi çağımızda tüm astronomların canını sıkar. Claudius Ptolemaios firavunlar için yıldız falları yapıyordu, Tycho Brahe'nin Danimarka kralı için, Johannes Kepler'in imparator için ya da Galilei'nin Venedikli armatörler için yaptığı gibi.

Ingiltere kralı kraliyet astronomu unvanını oluşturduysa ve Fransa kralı astronomlardan oluşan özel bir bilim adamları grubu kurduysa da, bu, bilim aşkından değildi. Onlar da kendilerine geleceğin bildirilmesini istiyorlardı! Öyleyse, günümüz astronomları astrolojiye bir şeyler borçlular! (Günümüzdeki kötü kullanımları benim gibi onlar da kınasalar da.)

Tarihin cilvesine bakın ki modern astronomi geleceği söylemekten çok uzak, bize geçmiş hakkında, Evrenin geçmişi hakkında pek çok şey anlatır.

Bu daha az riskli! Ama aynı derecede de olağanüstü olduğunu belirtmek gerekir.

Gezegenler ve yıldızlar

Gökcisimlerinin gözleminin henüz çıplak gözle yapıldığı, ama gittikçe daha gelişmiş aletlerin (bir ucundan gözle bakılan, açıları üç boyutta ölçmeye yarayan tahta çemberler bağlanmış, açık ya da kapalı uzun tüpler; adları da pek şiirseldi: halkalı küre, usturlap, cetvelli kadran, alidad) kullanıldığı dönemde gezegenlerle yıldızlar açıkça ayırt edilmişti.

Yakın gökcisimleri ve uzak gökcisimleri bulunduğu biliniyordu.

Her ikisi de gece gökyüzünde parlıyordu, ama yıldızlar sabitti, gezegenlerse (gezen gökcisimleri) gökyüzünün derinliklerinde deviniyorlardı. Kımıldıyorlardı, dönüyorlardı, kimisi oldukça karmaşık bir biçimde.

Buradan, yıldızların bizden uzakta, çok uzaktaki büyük, sabit bir küre üzerinde yerleşmiş oldukları, gezegenlerinse yerküreyle bu sabit yıldızların küresi ("sabitler küresi" deniyordu) arasındaki uzayda yer değiştirdikleri gibi, aslında oldukça doğal bir düşünce doğdu.

Yıldızlarla gezegenler arasındaki bu ayrım bugün de geçerlidir.

Uzaklık ölçütü yine tam olarak işler, çünkü geceleri görebileceğimiz en yakın yıldız olan Alfa Centauri üç buçuk ışık-yılı[30] uzaklıktayken, en uzak gezegen Pluton beş ışık saati uzaklıktadır (yani 6.000 defa daha yakın).

30 Bir ışık yılı, ışığın bir yılda katettiği uzaklıktır.

Ancak bu ölçüte daha da temel nitelikte bir ikincisi eklenir. *Gezegenler soğuk gökcisimleridir*. Parlak olmaları yalnızca güneşin ışığını yansıtmalarındandır.

Buna karşılık, *yıldızlar* ışık yayıcı, *yanan gökcisimleridir*. Bunlar, sıcaklıkları milyon ya da milyar derecelerle ölçülen ve uzaya hatırı sayılır niceliklerde enerji yayan dev nükleer kazanlardır. İşte astronomide iyi yapılması gereken birinci ayrım. Buna, kolay anlaşılır ama temel önem taşıyan bir başkası eklenir: *Güneş bir yıldızdır,* bizim yıldızımızdır ve *bu yıldızın çevresinde gezegenler döner, bunlardan biri de yerküredir*.

Sihirli üçgen, yani gökbilimcinin temel aracı

Klasik astronomiyi, yani tüm bunları kuşatanı anlamak için üçgenler ve bunların özellikleri üzerine birtakım bilgiler gereklidir.

Evet, biliyorum, bu söylediğimde epey okuyucuyu yıldırma riski var; belki de her şeyi, yalnızca sistemli okuyucuların okuduğu ekler kısmına atmalıydım, ama ne yapalım, riski göze alıyorum.

Sizi okul sıralarına geri götürmüyorum, size, "Kes sesini, çorbanı iç, öğren, işe yaradığını daha sonra göreceksin" demeyeceğim. Hayır, size yalnızca, "Üçgenler önemlidir!" diyeceğim.

Eskiler (Yunanlar, Babilliler, Mısırlılar) üçgenler sayesinde son derece önemli, sayısız şeyi anladılar, düşünün bir kez: yerkürenin yarıçapını, yüzeyinden hareketle hesapladılar, ardından da dünya-ay uzaklığını.

Ardından, adım adım araştırarak, dünyanın güneşe uzaklığını belirlediler, sonra da güneşin çapını. Tek araçları gözleri ve üçgenlerdi!

Üçgenlerle ilgilenmek için bir neden yok mu?

İlk kavram: üçgenler arasında bir tanesi vardır ki hepsinden baskındır: *dik üçgen*. Bir açısı dik olanı.

Neden hepsinden önde gelir? İkizkenar üçgen (iki kenarı eşit) ya da eşkenar üçgen (üç kenarı eşit) çok daha şık, diyeceksiniz bana. Ayrıca simetrinin sırları her ikisinde de saklıdır.

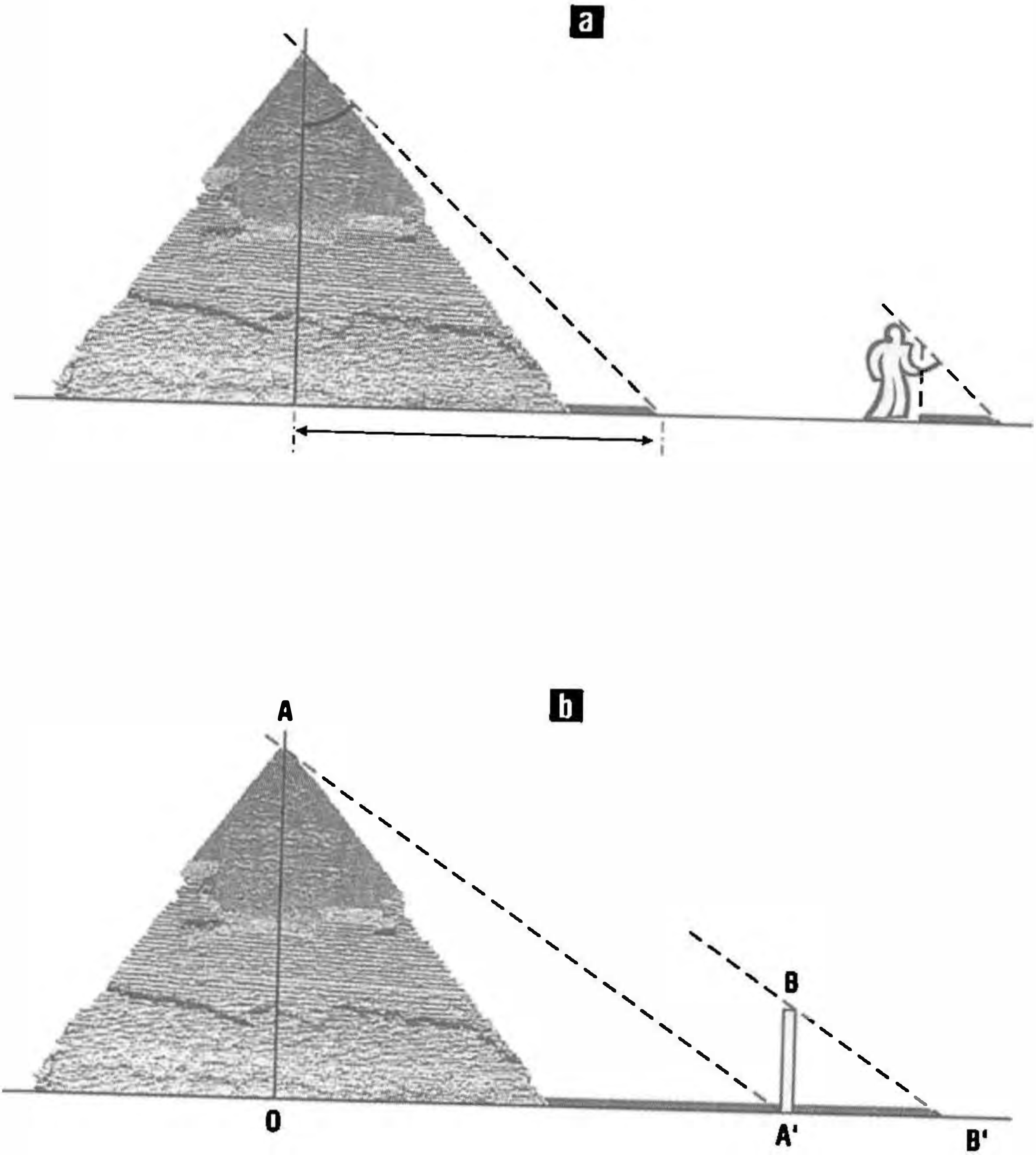
Ama hayır, ısrarlıyım, en önemlisi dik üçgendir!

Birinci neden, herhangi bir üçgenin iki dik üçgene bölünebilmesidir. Bunun için bir köşeden bir kenara (herhangi birine) bir dik indirmek yeterli olur. İkincisi, bir dik üçgenle birçok şeyin hesaplanabilmesidir.

M.Ö. 550'ye doğru, Mısır firavunu Amasis, kendisine daha yükseğini yaptırabilmek için büyük Keops piramidinin yüksekliğini ölçmek istedi. Ama içi dolu, yüzeyleri eğimli bir nesne olan piramidin boyu nasıl ölçülür?

Ona Yunan adası Milet'te dâhi olduğu söylenen bir matematikçinin yaşadığından söz ettiler (medyanın tamtamları o çağda da çalardı). Thales gemiye bindi, Mısır'a vardı ve Giza yaylasına gitti. Güneşin batmasını bekledi ve açıkladı: "Zamanı geldiğinde geri gelip Keops Piramidinin yüksekliğini vereceğim." (Bkz. Şekil 4.1). Ardından Mısır'ın ileri gelenlerini büyük bir şaşkınlık içinde bırakarak Yunanistan'a geri gitti. Peki ama ne zaman gelecekti?

Gerçekten de Thales, Ekim ayında yine Mısır'a geldi. Yine güneş batmadan Giza'ya çıktı. Ardından, kendi boyunu ölçtükten sonra, kumun üzerine bu uzunluğu işaretledi ve bekledi. Güneş büyük piramidin tabanlarından birine dik bir düzlemde batıyordu. Piramitlerin dev gölgesi yere düşüyordu. En küçük gölge, Thales'inki de yere düşüyordu. O anda Mısırlılara şunu söyledi: "Benim yere düşen gölgem benim boyuma, yani işaretlediğim yere geldiğinde, yerde piramidin gölgesine karşılık gelen bir işaret koyun. Yüksekliğini ölçmüş olacaksınız."



Şekil 4.1
a) Thales'in Keops piramidinin yüksekliğini ölçmek için kullandığı yöntem.
Güneş ışınlarının iki ikizkenar dik üçgen oluşturmasını sağladı; birinin tabanını ölçmüştü (kendi boyu).
b) Daha sonra, içlerinden birinin yüksekliği ve uzunluğu bilindiği anda, herhangi bir benzer dik üçgenin aynı işi gördüğünü anladı.

Thales benzer ikizkenar dik üçgenlerin ne olduğunu dünyaya böyle gösterdi. Biçimleri, açıları aynıydı, boyutlarının oranı sabitti ama büyüklükleri farklıydı.

Aslında Thales'in, gölgesinin kendi boyuna ulaşmasını beklemesine gerek yoktu, daha sonra anlayacağı ve kanıtlayacağı gibi, bu ölçümü her an yapabilirdi. Ama ne önemi var, tarih güzeldir.[31]

Bu benzer üçgenler teoremi şunu kolayca kanıtlamaya olanak verir: *bir üçgenin açıları toplamı bir düz açıya eşittir* (180°).

Bir süre sonra, Pythagoras, matematikte ikinci bir temel teoremi ispatladı: "*Bir dik üçgende hipotenüsün karesi*, eğer yanılmıyorsam, *diğer iki kenarın kareleri toplamına eşittir*."

Bu teorem bir matematik anıtıdır, oysa kanıtı, geometrik çizimler kullanarak çok kolay yapılabilir.

Üçgenlerin özelliklerinin oluşturduğu tüm bu donanım astronomide büyük önem taşıyacaktır. Şunu akılda tutalım: bir dik üçgende iki öğeyi (bir açı ve bir kenar) bilmek her şeyi hesaplamak için yeterlidir.

Üçüncü nokta: herhangi bir dik üçgende *açıları ölçmek*, kimini ürperten ama alışmanıza yardım etmek istediğim iki sözcük/kavram sayesinde olanaklıdır: sinüs ve kosinüs.

Sinüsle başlayalım. Sabit eğimli bir yol boyunca çıktığınızı düşünün. Bu yol boyunca l uzaklığını (1.000 metre) aştığınızda, h (100 metre) yüksekliğine çıkmış olun.

İşte, eğim açısının "sinüs"ü h/l oranından başka bir şey değildir. Örneğimizde 100/1.000 = 0,1'dir.

Bir trigonometri cetvelinde (bugün sonuç hemen tüm hesap makinelerinde programlanmıştır) eğer sinüs değeri 0,1 ise, bu durumda yolun eğiminin 6° olduğunu (siz de bakın) görebilirsiniz.

31 André Pichot, *La Naissance da la science*, 2. *La Grèce présocratique* (Bilimin doğuşu, 2. Sokrates öncesi Yunan), Paris, Gallimard, coll. "Folio essais", 1991.

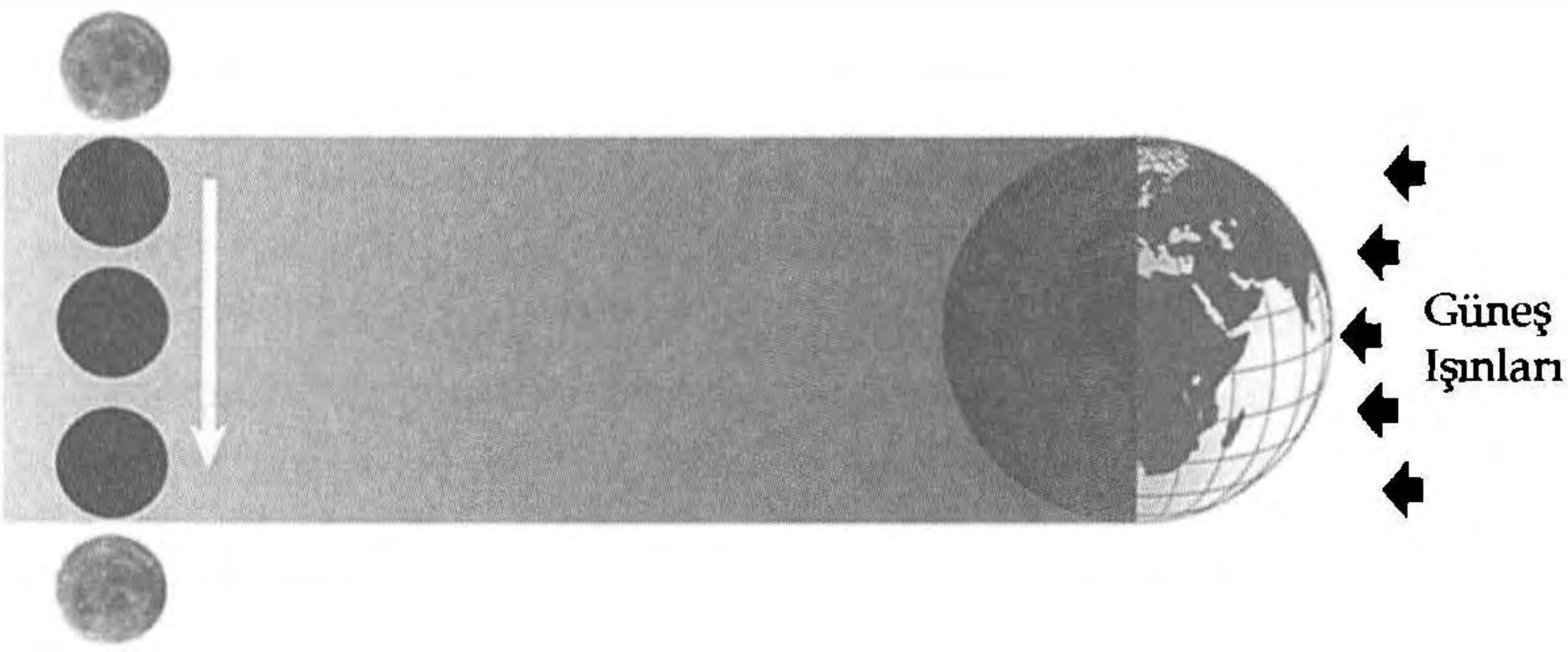
Yol yokuş yukarı çıkmıyorsa, eğim sıfıra eşittir ve doğal olarak h de. 1.000 metrenin sonunda başlangıçta olduğunuzdan daha yüksekte olmazsınız. Eğim 30° ise, sinüsün değeri 0,5'tir: 1.000 metrenin sonunda 500 metre tırmanmış olursunuz.

Eğer ne kadar tırmandığınızı ölçmek yerine, yatay olarak ne kadar (x) ilerlediğinizi ölçmek istiyorsanız, eldeki açının kosinüsünden hareket edebilirsiniz, yani x/l. İşte şimdi her şeyi biliyorsunuz. Gördünüz mü, pek de korkunç değilmiş...

Bu noktadan sonra gökbilimciler inanılmayacak kadar çok şeyi ölçtüler!

Dünyanın yarıçapı? Eratosthenes bunu hesapladı (Bkz. 10. Bölüm).

Ardından, Ay tutulmalarına dayanarak, Ayın çapı/Dünyanın çapı oranı ölçülebildi ve bundan Ayın çapı çıkarılabildi, vb. (Bkz. Şekil 4.2).



Şekil 4.2
Ayın yerküre tarafından kapatılarak tutulmasında, Ayın, yerkürenin gölgesi olan karanlık alanı geçmesi için gereken süre ölçülür.
Ayın yerküre çevresindeki dönüş hızı biliniyorsa, bundan yerkürenin gölgesinin alanına oranla ve dolayısıyla yerkürenin çapına oranla Ayın boyu hesaplanır.

Bilimsel olsun olmasın birçok kitap, Kopernik'in 1543'te getirdiği büyük bilimsel devrimden söz eder. Kimilerine göre bilim, bu *Kopernik devrimiyle* başlamıştır.

Bana göre bu, Kopernik'e fazlasıyla verilmiş bir onurdur ve açıklaması, her şeyden önce, Kopernik'in bir kilise adamı olması ve keşişlerinin aracılığıyla Tarihin büyük bir kısmını yazan Kilise'nin bize kendisini bilimsel ilerlemenin önemli bir motor gücü olarak –Galilei'ye açılan davaya rağmen– göstermek istemesidir.[32]

Nikolas Kopernik 1543'te, o güne dek kabul gören ve Yunanlara, önce Aristoteles'e ardından da Ptolemaios'a dayanan kuramlarla ters düşen bir Evren açıklaması yaparak, Güneşin Dünya etrafında değil, Dünyanın Güneş etrafında döndüğünü öne sürer.

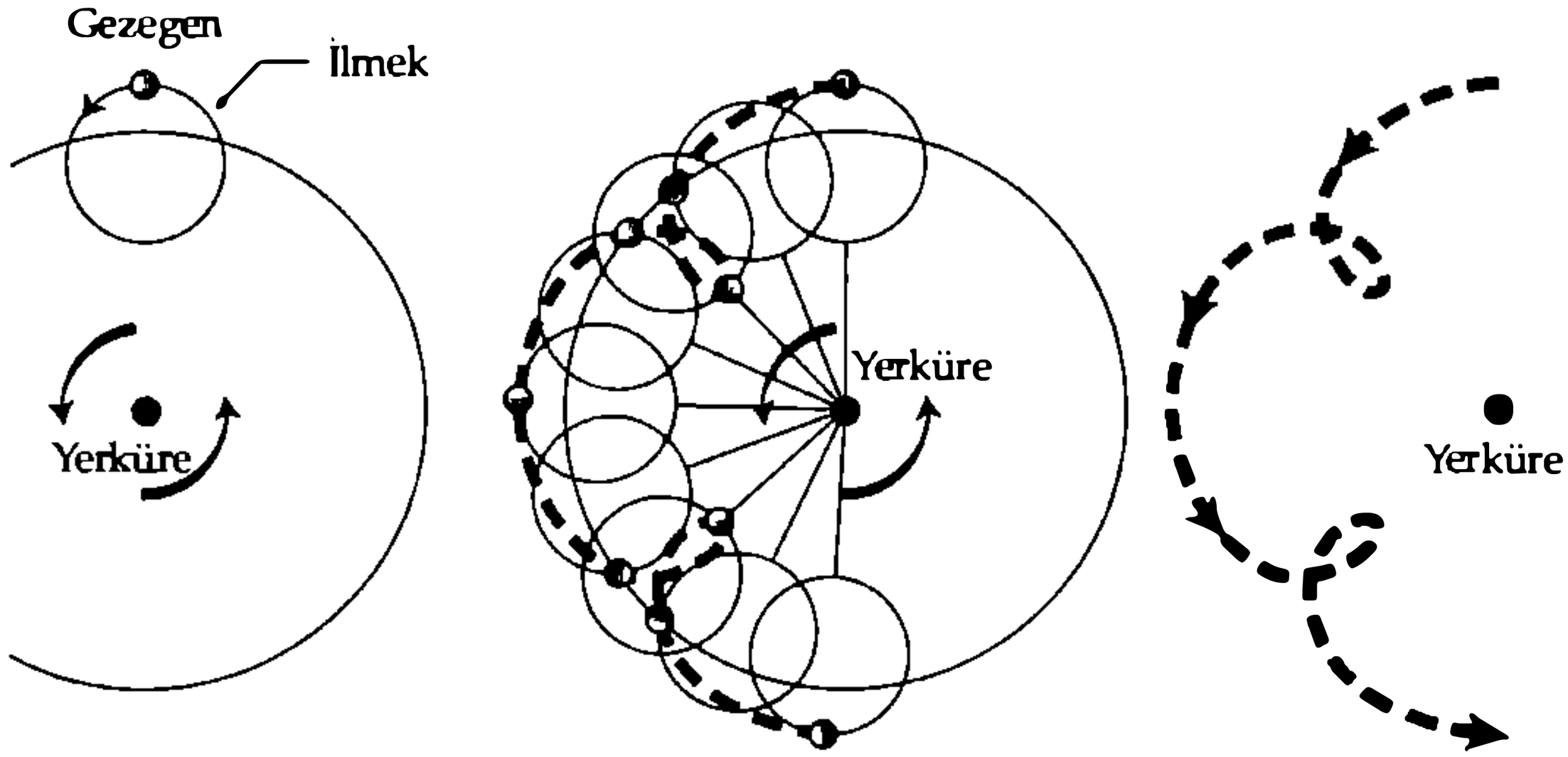
Ona göre "Evrenin merkezi" Dünya değil, Güneşti. Güneşin yerkürenin çevresinde döndüğü Jeosantrik (Jeo = Yunancada yerküre) [yermerkezli] kurama karşı, Heliosantrik (Helios = Yunancada güneş) [güneş merkezli] kuram söz konusudur. Öne sürülen kanıtları iyi biliriz: Jeosantrik kuramı destekler yönde, Güneş doğudan "yükselir", öğlende gökte en yüksektedir ve batıda batar, merkezde olduğundan dolayı da tanım gereği sabit olan yerkürenin çevresinde döndüğü "apaçıktır".[33] Diğer gezegenler de yerkürenin çevresinde dönerler. Bu bakış açısı yerküreyi dünyanın, Evrenin sabit merkezi yapar. Yerküre, Evrenin en başta gelen varlığının, İnsanın yaşam yeridir;

32 Dolaylı olarak öyle olduğu kuşkusuz!

33 Güneşin yerküre çevresindeki dönüşünü "kanıtlamak" için yerkürenin bu sabitliği vazgeçilmez bir koşuldu, çünkü eğer yerküre dönseydi, güneşi döndürmek zorunlu olmayacaktı. Bu nedenle büyük bilimsel tartışmalarda, özellikle Galilei'yi ilgilendirenlerde, yerkürenin güneşin çevresindeki hareketi gibi kendi çevresindeki dönüşü de reddediliyordu. Bu nedenle bu iki hareket kimileyin birbirine karıştırılır.

Pythagoras'ın ve daha sonra da kendi hocası Platon'un dile getirdiği kuşkuları silen Aristoteles'in görüşü buydu. Ama bir gün görünüşlerin ilerisine geçip, gezegenlerin geceleyin gökyüzünde gözlemlediğimiz hareketlerini gelişmiş bir kuramla açıklamak gerekiyordu. Bu işi Lagidesler döneminde (90-168) İskenderiye'de yaşayan Claudius Ptolemaios yaptı. Onları, kendileri de başka çemberlerin çevresinde dönen çemberler üzerine kurulmuş ustalıklı geometrik yapılar yardımıyla son derece gelişmiş bir biçimde formülleştirdi (Bkz. Şekil 4.3).

Kurduğu model öylesine dâhiyaneydi ki gezegenlerin gökteki hareketlerini büyük bir kesinlik içinde öngörmesine olanak veriyordu. Bunun sayesinde yıldız falı aletleri (!) yaparak çok para kazandı.



Şekil 4.3
Ptolemaios'un yermerkezli sisteminde gezegenlerin yerküreden görünen yörüngelerini betimlemek için düşündüğü yapı. Bir yörünge düşünüyordu, bu yörünge üzerinde de küçük bir çember dönüyordu; gezegenler bu küçük çembere bağlıydı.
Sağda, elde edilen yörünge (Merkürün yerküreden gözlenen yörüngesine çok benzer).

Gezegenlerin yörüngelerine ve Dünya etrafında dönen Güneşe ilişkin kuram, 18. yüzyıla, hatta 19. yüzyılın başına dek Hıristiyan kilisesinin resmî öğretisi oldu. Bilim adamlarına gelince, onlar bilimin iki devinin, Kepler ve Galilei'nin çalışmaları sayesinde görüş değiştirdiler.

Aristarkhos

Aslında Ptolemaios'tan çok önce (ama Aristoteles'ten sonra, M.Ö. 384-322) başka bir Yunanlı, Sisamlı Aristarkhos (M.Ö. 310-230), Güneşin Dünya etrafında değil, Dünyanın Güneş etrafında döndüğü düşüncesini ortaya atmıştı.

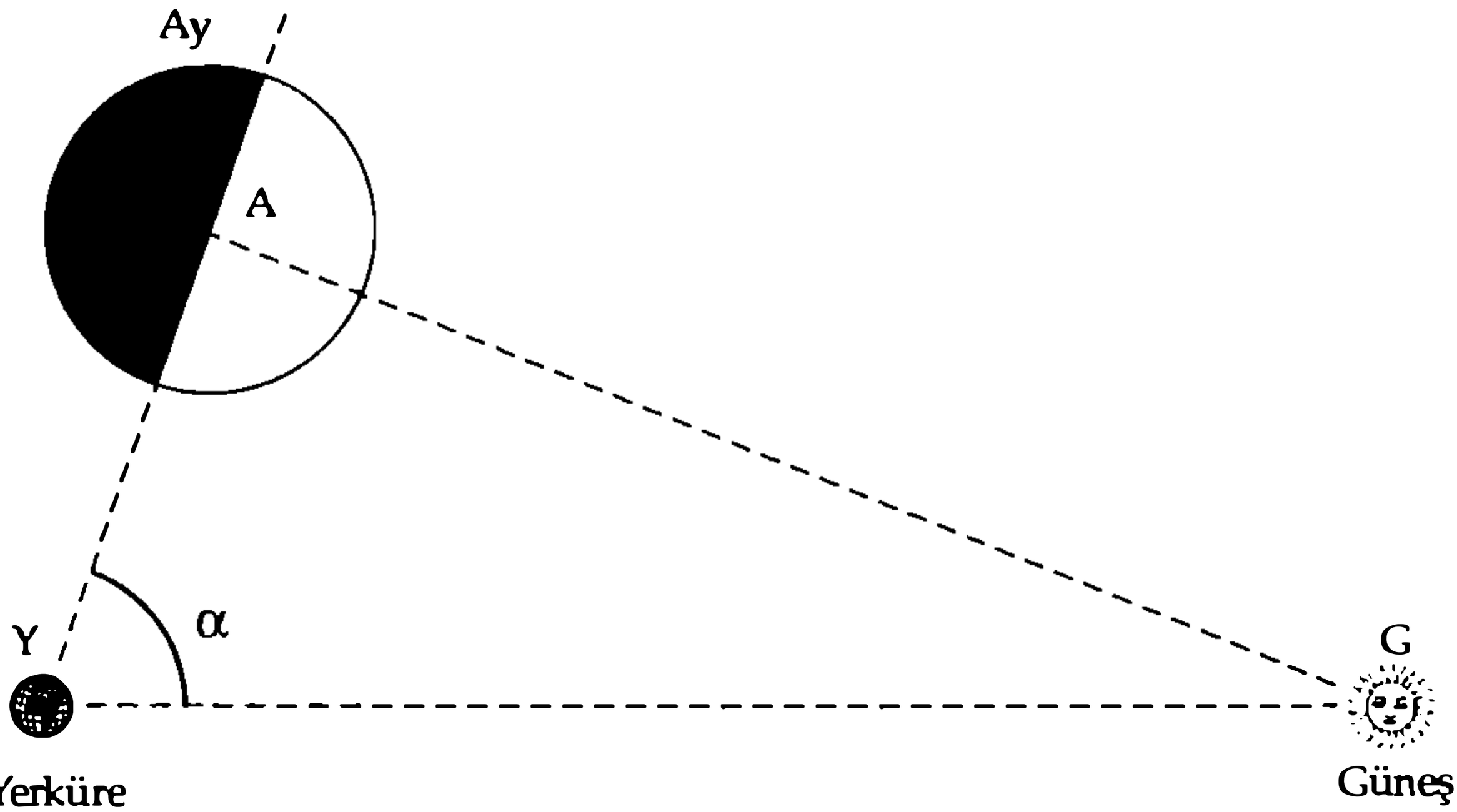
Bunu bilimsel denebilecek çok ciddi temellere dayanarak yapmıştı.

Aristarkhos bir üçgenleme yöntemiyle (yine!) güneşle aramızdaki mesafeyi hesaplamıştı.

Yarımay döneminde, güneşin yaydığı ışınların Dünya-Ay doğrusuna dik olduğunu görmüştü (Bkz. Şekil 4.4).

Güneşin kaybolduğu yeri hedefleyerek iki açısını bildiği bir dik üçgen oluşturabiliyordu. Yine bir üçgenleme çalışmasıyla hesapladığı (Ayın büyüklüğünü ve onu hangi açıyla gördüğümüzü bilmek yeterlidir) Dünya-Ay uzaklığını bilerek, güneşe olan uzaklığı hesapladı.

Güneşin, Dünyaya Aydan 19 kat daha uzak olduğunu buldu.



Şekil 4.4
Aristarkhos'un yarımayın kavuşma konumunu kullanarak güneşin dünyaya uzaklığını belirlemesi.

Gerçekte Güneş 400 kat daha uzaktır. Ama Aristarkhos'un elinde 90°'ye bu derece yakın açıları kesinlikle ölçmek için aleti yoktu ve yanılma payının bu kadar büyük olmasını anlayışla karşılıyoruz.

Demek ki hesabı doğru değildi, ama çok uzaklardaki Güneşin çok büyük olması gerektiğini ileri sürmesi için yeterliydi (aynı büyüklükteymiş gibi görünmesine karşın Aydan 20 kez daha uzaktaysa, demek ki gerçekte 20 kat daha büyük olmalıdır, bu kadar basit) ve eğer Güneşin Dünya etrafında döndüğünü kabul edersek, çok büyük nesne küçük olanın çevresinde dönüyor olur, hem de başdöndürücü bir hızla. Devrimci bir kuram mı?

Ne olursa olsun bu onu suçlamaları için yeterliydi. Ona bir dava açıldı. Onu suçlayabilmek için Atina'dan özel olarak bir sofist, Kleantros getirtildi.

Aristarkhos tam zamanında ortadan kayboldu ve ondan bir daha hiç haber alınamadı.

Kopernik

Yüzyıllar geçti...

Polonyalı bir keşiş, Nikolas Kopernik (1473-1543), Aristarkhos'un kuramını toprak altından çıkarttı ve tüm gezegenlerin (dolayısıyla yerkürenin de) kendi etraflarında dönerken aynı zamanda da Güneşin çevresinde dairesel yörüngeler üzerinde döndüklerini öne sürerek, bir Güneş sistemi modeli inşa etmeye koyuldu. Amacı kuşkusuz, gökyüzünde gözlenen gezegenlerin hareketlerini Ptolemaios'tan daha iyi öngörebilmekti...

Salt çemberlerle sistemi iyi "işlemiyordu". Bu durumda o da küçük çemberlerin daha büyük çemberler üzerinde dönüşü ilkesine başvurdu, çünkü yerküreden göründüğü kada-

rıyla gezegenlerin tüm hareketlerinin karmaşık yörüngeleri vardı – ve hiçbiri basit bir elipse benzemiyordu. Kısacası, o da gerçek bir saat mekanizması kurdu!

Sonuçta Kopernik, merkeze Dünyayı değil, Güneşi koyduğunu bir yana bırakırsak, Ptolemaios'unki kadar karmaşık bir sistem yaptı.

Bunun onun çalışmasını kolaylaştırdığı söylenemez. Üstelik gezegenlerin hareketlerini kestiren tabloları Ptolemaios'un hesapladıklarından biraz daha az başarılıydı; daha az özen göstermiş olmalı.

Keşiş Kopernik, piskoposlar ve başpiskoposlar arasında hoş ve rahat bir yaşam sürüyordu. Kuramının Kilise'yi ve kurulu düzenden yana kafaları afallatma riski taşıdığından korkarak onu çekmecelerine sakladı. Ama Rheticus adlı genç bir Rheticus stajyer, onun düşüncesini dâhice bularak bundan kimi alıntıları yayımlamayı kararlaştırdı: bunlar nezaketle karşılandı, başka bir şey olmadı. Böylece Kopernik, Retikus'un ısrarıyla, yapıtını bütün olarak yayımlamaya karar verdi. Onu yayımlamaya hazırlanıyordu ki... öldü. Yıl 1543'tü; yapıt *De Revolutionibus* adıyla yayımlandı. Pek az dikkat çekti, Kilise'de de. Yalnızca o sırada ana koldan yeni ayrılmış olan Protestanlar, kitaba kızıp köpürdüler: Luther, Calvin, Melanchthon, hepsi onu tehlikeli bir deli olmakla suçlayarak intikamcı nakaratlar düzdüler. Ama Katolik Kilisesi'nin hiçbir tepkisi olmadı. Kopernik bir keşişti ve onun kendi çevresinde kitap sanki hiç kimsenin dikkatini çekmiyordu. Yoksa en iyi savunma sessiz kalmak mıydı?

Devam edecek...

Tycho Brahe

Danimarkalı Tycho Brahe (1546-1601), astronomi gözlemcilerinin prensi olarak görülür.

Düşünün ki onun gökyüzü gözlemleri, yıldızlarla ilgili olanlar olsun, Süpernova patlamaları ya da kuyrukluyıldızlara dair olanlar olsun, bugün hâlâ astronomi kataloglarında yer alıyor; oysa bunlar dört yüz yıl önce, çıplak gözle yapıldılar! (Tycho Brahe, Galilei'nin 1609'dan başlayarak kullanıma koyduğu astronomi dürbününü birkaç yıl arayla kaçırdı – Bilim için büyük bir kayıp bu.)

Bu adam destansı bir kişilikti. Soylu, kibirli, aşağılayıcı ve zorba, dinamik, girişimci, coşkulu; salt astronomiye ayrılmış bir adada Uraniburg adını verdiği bir gözlemevi kurmak için Danimarka kralı II. Frederik'i razı edip iznini almıştı.

Orada, görkemli binalarda, tam diktatörce ve hatta kabalıkla yönettiği sayısız hizmetkâr ve yardımcıyla çevrelenmiş olarak gözleme araçları geliştirdi ve gökyüzünün oldukça kesin gözlemlerini biriktirerek kitapların bütününü çok değerli rakamlar, notlar ve açıklamalarla doldurdu. Bunlar daha sonra, herkesin bildiği astronomi gözlemleri kataloğu Uraniburg Tablolarını oluşturacaktır.

Danimarka kralı II. Frederik astronomiyle neden bu derece ilgiliydi?

Yanıt yine ve hep aynı: kendisi için yıldız falları baktırıp geleceği görmek. Tycho Brahe bunu düzenli olarak yapıyordu, yakın gelecek ve uzak gelecek için.

Ne yazık ki II. Frederik'ten sonra gelen Christian'ın astronomiye ilgisi daha azdı ve Tycho artık çekilmez ve doyumsuz bir duruma geldiğinden onun kaynaklarını kesti. Tycho Brahe, öfkeden Danimarka'yı terk etti.

Bitti Uraniburg, bitti köleler ordusu! Ama Tycho Brahe kısa bir süre sonra, o da geleceğini bilmek isteyen ve kendi yakınında bir imparatorluk matematikçisi ve astronomu (güzel bir unvan!) makamı oluşturmuş olan İmparator Rodolf'un yanına girdi.

İmparator bu makama Tycho Brahe'yi atadı, ona iyi bir ödenek bağladı ve Çekya'da Benatki Şatosu'nu verdi.

O sırada Tycho bir dönüm noktasına gelmişti. Tüm gezegenleri yerküre çevresinde döndürmenin aşılmaz geometrik problemler yarattığını anlamıştı, ama diğer yandan Güneşin Dünya etrafında döndüğü düşüncesinden vazgeçmek ona çok zor geliyordu.

İki ateş arasında kalınan bu gibi durumlarda uzlaşmaya gidilir.

Bir tarafta köktenciler, diğer tarafta sosyalistler olunca, köktenci sosyalistler ortaya çıkar. Tycho Brahe de bunu yaptı.

Yeni, melez bir sistem yarattı; ne Ptolemaios'unki, ne de Kopernik'inki, ama ikisinin bir birleşimi, bir karışımı.

Gezegenler Güneşin etrafında döner, ama Güneşin kendisi (asılı gezegenleriyle) yerküre çevresinde döner.

Kısa bir süre sonra Galilei buna "soysuz bir sistem" diyecekti.

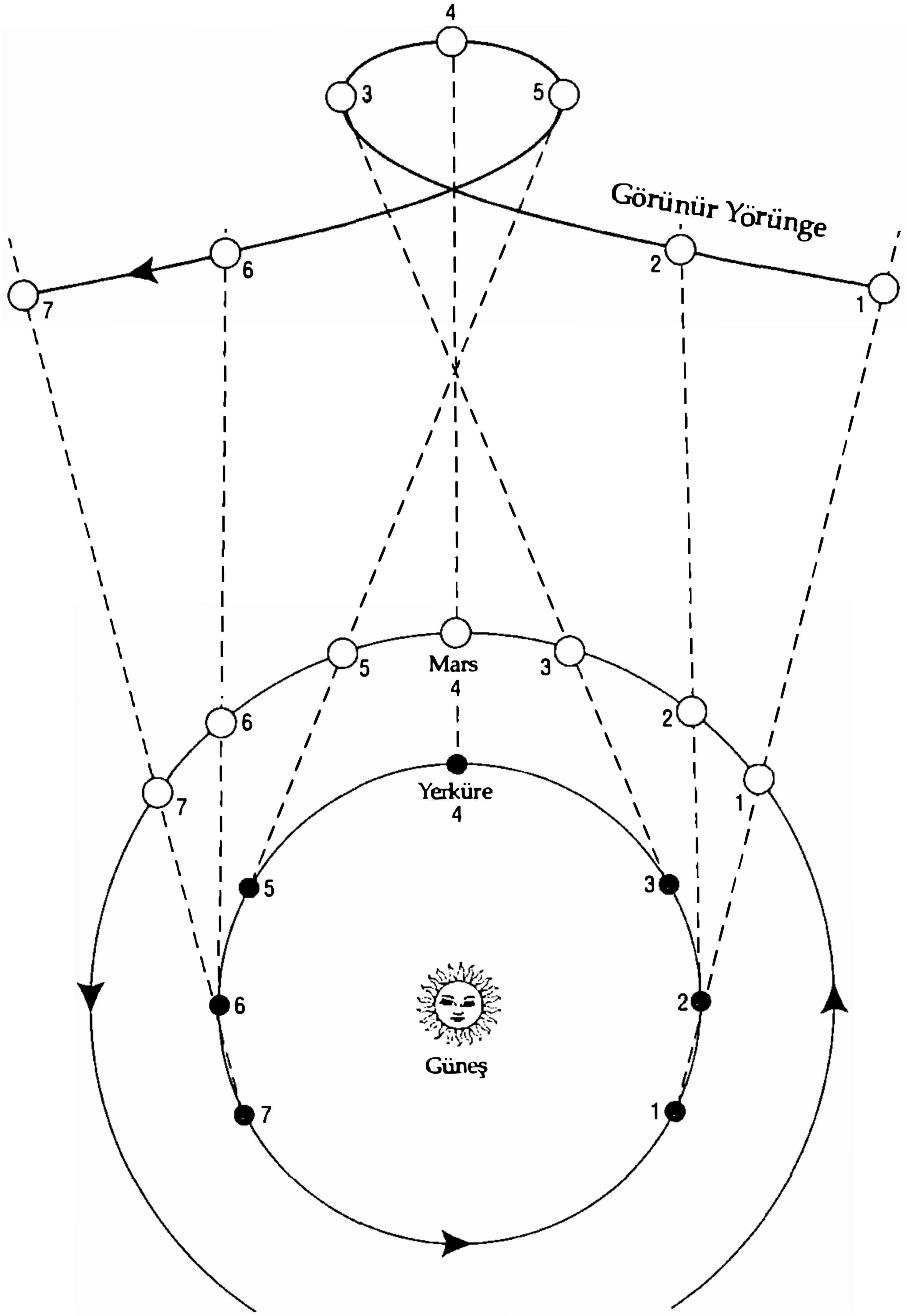
Ayrıca, Tycho'nun gözlemlerinden biri kendi sistemine uymuyordu; Mars gezegeninin hareketinin yerküreden görünüşüydü bu.

Bu garip bir hareketti, bir tür Z (Bkz. Şekil 4.5). Mars ilerler gibi, sonra geriler gibi ve yine ilerler gibi görünüyordu. Bu nasıl açıklanır? Tycho şaşırıp kalmıştı. Anlamıyordu. Bu sırada ona astronomiyle yakından ilgilenen çok parlak, genç bir matematikçiden söz ettiler. "Ama bu Avusturyalı, bir Protestandır, Üstat." – "Önemi yok," diye yanıtladı Tycho, "madem ki parlak, onunla temasa geçilsin, ona burada, Benatki'de randevu verilsin. Peki, adı ne bunun?" – "Johannes Kepler, Üstat, ve yirmi sekiz yaşında."

Böylece Kepler 1600'de Tycho'nun yardımcısı oldu, bir aptal pazarlığı da yaparak.

Tycho, Kepler'i Mars'ın yörüngesi problemini çözmesi için getirtmişti, ama doğal olarak onun kendi Güneş ve yermerkezli sistemi içinde yapacaktı bunu.

Kepler'inse başka projeleri vardı. Güneş merkezli sistemin



Şekil 4.5
Üstte, Mars gezegeninin yerküreden görünen yörüngesi.
Altta, Mars'ın ve yerkürenin birbirine göre hareketlerinin açıklaması.

en yüksek olasılıklı sistem olduğunu o sırada kesinlikle anlamıştı, ama Kopernik'in geliştirdiği sistemi biraz değiştirmek koşuluyla.

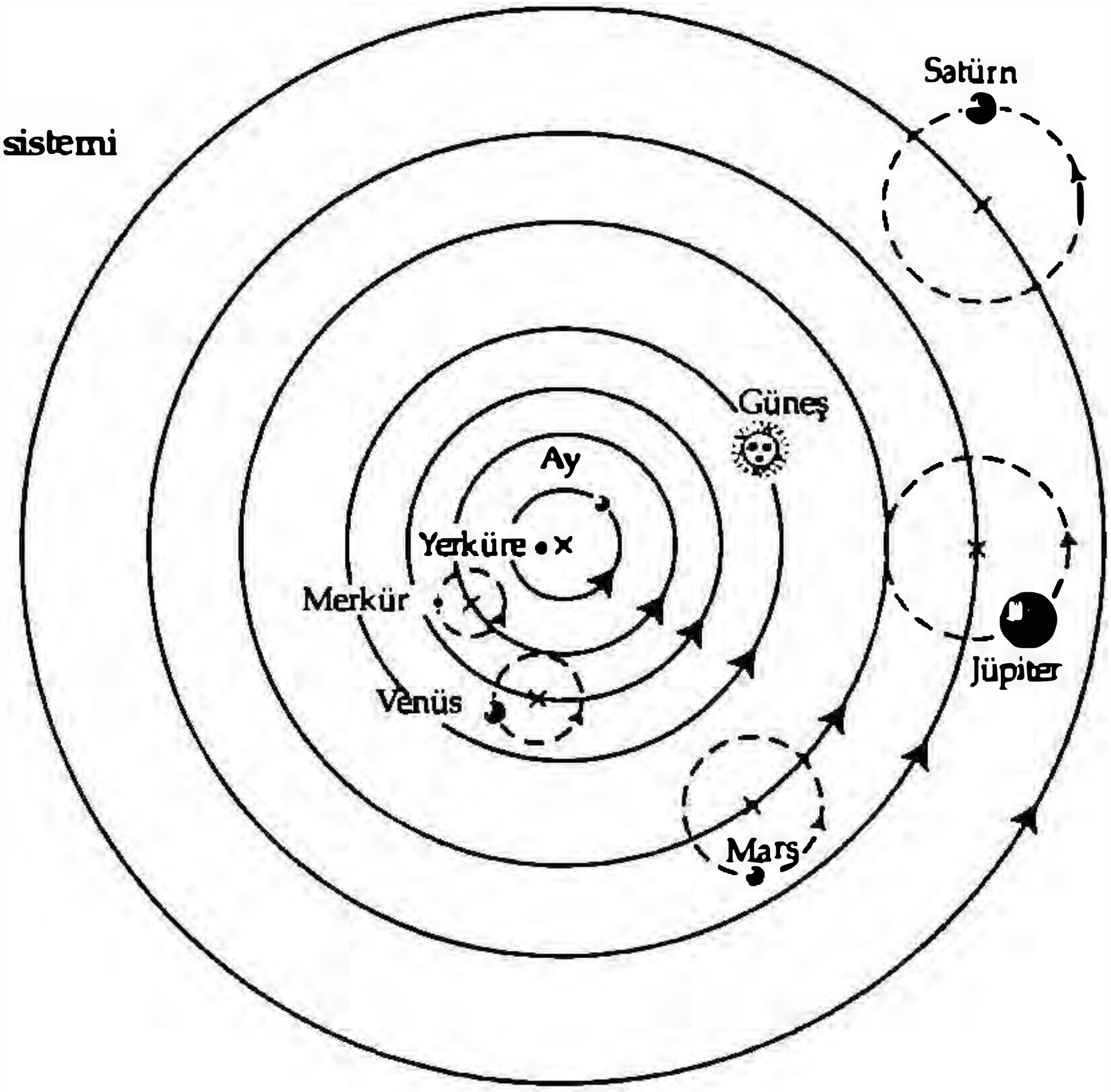
Tycho Brahe'yle çalışmaya gelirken basit bir amacı vardı: Tycho'nun ve sayısız yardımcısının biriktirdiği ve kuşkusuz onun kendi sisteminin, inandığı tek sistem olan "bütünüyle" Güneş merkezli bir sistemin geçerliliğini kanıtlamasını sağlayacak olan binlerce astronomi gözleminin bilgisine erişmek.

Ilk çalışma yılları zor oldu. Bu iki güçlü karakter kafa kafaya çarpışıyordu. Tycho patrondu ama Kepler direniyordu. Kepler, bu zorba ustadan bıkmış, tükenmiş olarak Avusturya'daki ailesine dönmek üzere Bohemya'yı ansızın terk etti. Ama tüm kendini beğenmişliğine karşın Tycho, Kepler'de bir dâhiyi görmüştü. Ona rahatlık ve özgürlük sözü vererek geri gelmesi için yalvardı. Kepler, epeyce kararsızlıktan sonra geri döndü.

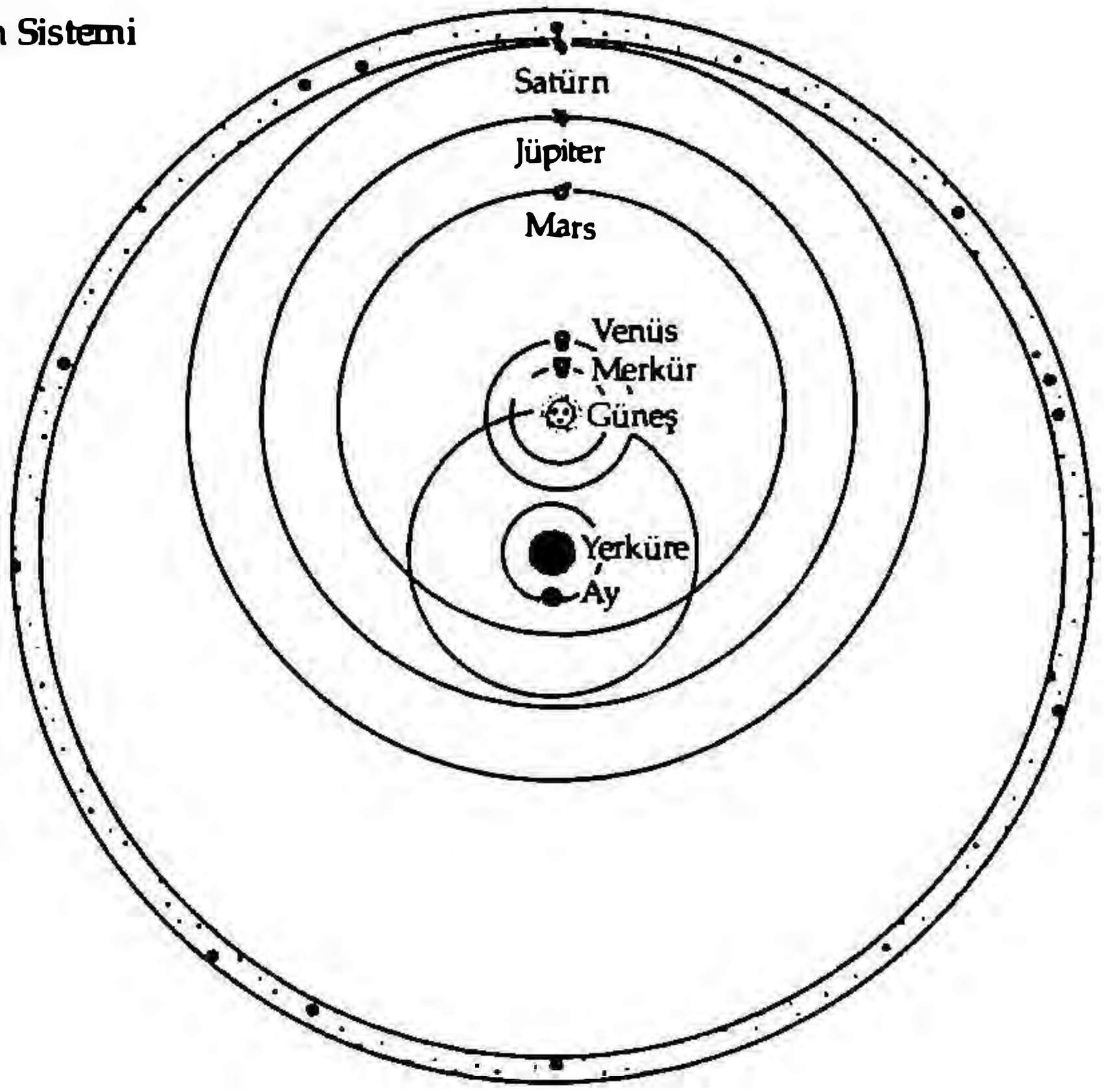
Bundan sonra iki insan arasında büyük bir dostluk oluştu. Tycho, Kepler'i dinlemeye başladı. Tartışıyordu kuşkusuz, ama Kopernik'inkinden daha kesin, daha iyi kanıtlanmış bu Güneş merkezli kuram aklını karıştırıyordu. Aslında kendisi de yerküre dışındaki tüm gezegenleri Güneşin çevresinde döndürerek yolun yarısını almamış mıydı? Gerçek bir düşünsel tutku iki adamı sardı; bu işbirliği üzerine birbirlerinden bağımsız olarak coşkulu sayfalar yazacaklardı. Ne yazık ki bu düşsel dönem kısa sürdü. Tycho, bir idrar birikiminden ansızın öldü. Kepler, imparatorluk astronomu görevinde onun yerini aldı ve Tycho'nun isteğine uygun olarak çok değerli birtakım Gözlem Tabloları ona miras kaldı. Böylece Kepler öncelinin çalışmalarını tamamladı ve 1609'da yayımladı; burada o ünlü yasalarını açıklayıp kanıtlıyordu (Bkz. Şekil 4.6.a). Güneş merkezli sistemin zaferi.

Gezegenler Güneşin etrafında, odaklarından birinde Güneşin yer aldığı eliptik yörüngelerde dönerler.

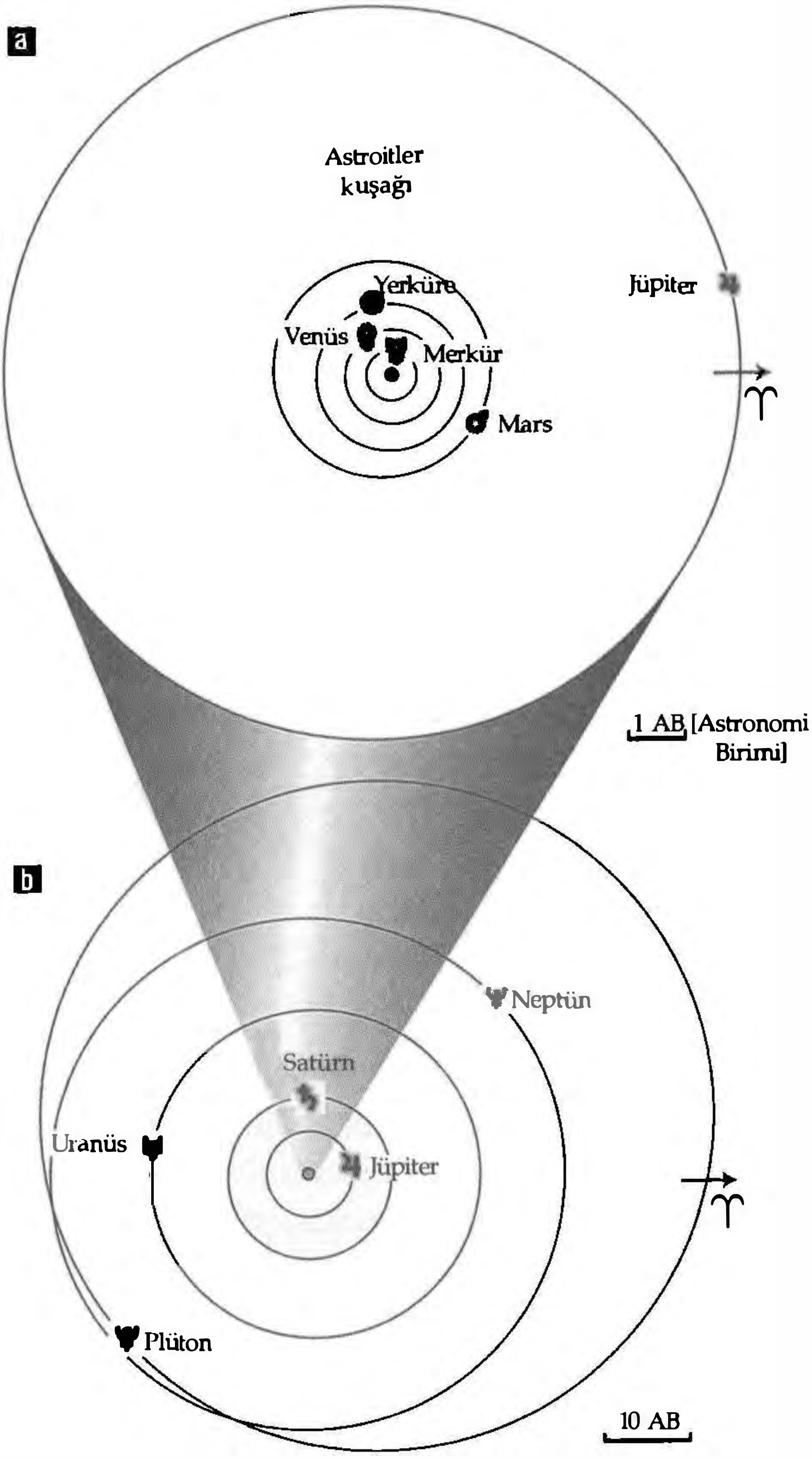
Ptolemaios'un sistemi



Tycho Brahe'nin Sistemi



Şekil 4.6.a
Sırasıyla Ptolemaios ve Tycho Brahe'nin modellerini gösteren şemalar.



Şekil 4.6.b
Kepler modelini gösteren şema.

Gezegenlerin hareketleri değişmez bir ritim izler; Güneşe yakın kısımda bulunduklarında hızlanır, ondan en uzakta olduklarında daha yavaş olurlar (matematik yasalarına daha uygun bir biçimde söylersek, yarıçap vektörü tarafından taranan alanlar –yani gezegeni Güneşe bağlayan doğru– belirli bir zaman birimi için her zaman aynıdır!). Bu, alanlar yasasıdır.

Gezegenlerin dönüş süreleri Güneşe olan uzaklıklarına bağlıdır: ne kadar yakınlarsa, dönüşleri de o kadar hızlıdır. (Kepler, bu bağımlılığın tam formülünü verir.)

Buna şunu ekler: *tüm gezegenler aynı düzlemde, aynı yönde dönerler, ayrıca kendi çevrelerinde de dönerler ve tüm bu dönüşler aynı yönde* olur.

Kitabı, yazılmış en güzel bilim yapıtlarından biridir. Hesap makinesi ve bilgisayar olmadan! Binlerce saat süren elle hesaplamalar. Tüm bunlar bir anahtarı bulmak içindi: yörüngelerin eliptik yapısını. Bugün Kutup Yıldızı'na göre gezegenlerin yörüngelerini gözlemlediğimizde, Kepler'in ünlü elipslerinin aslında neredeyse daireler olduğunu görürüz. Ama değiller.

Bunu görebilmek için deha gerekiyordu. Tüm farkı yaratacak küçük bir fark.

Galilei

Kanımca Galilei'nin rolü, fizikte olduğu kadar astronomide de aynı derecede büyük, hatta muhteşem oldu. Burada ilgilendiğimiz alanda, gerçek bir gök dürbünü icat etti. Önce başka yerde, Paris ya da Amsterdam'da icat edileni geliştirerek. Sonra da onu göğe çevirmeyi düşünerek.

19. yüzyılda biri şunu diyecektir "Galilei dürbünü icat etmedi, ama çok daha önemli bir şeyi icat etti: ondan nasıl yararlanacağımızı."

Bu doğrudur.

Ne var ki bildiğimiz tüm o sıkıntıları başına açan da bu yenilik oldu.

Galilei, Padova Üniversitesi'nde uzun süre, Ptolemaios'-unkinin yanında Kopernik kuramını da öğretti; hiçbirinin tarafını (resmî olarak) tutmadan. 1609'dan itibaren tutum değiştirdi. Bu tarihte astronomi dürbününü "icat" edip onu Jüpiter'e çevirmişti. Büyük gezegenin çevresinde dönen dört küçük uyduyu böyle keşfetti. Doğada küçük gökcisimlerinin büyüklerin çevresinde döndüğünün kanıtı değil mi bu?

Bu andan sonra taraf tutacak ve Kopernik'in kuramını, Güneş merkezli sistemi resmen savunacaktır. Ama yerkürenin kendi etrafında döndüğünü de göstermek gerekiyordu. Bunun için Jüpiter uydularının gözlemlerine, bilimsel dosyasını zayıflatacak olan, yersel gelgitler üzerine tutarsız kanıtlar ekledi. Bilindiği gibi tüm bunlar onun Engizisyon'la epeyce başını derde sokacak ve 1633'te de herkesin önünde Güneş-merkezciliği reddetmek zorunda kalacağı, yankı yapan bir davaya yol açacaktı.[34]

Bugün hayıflanabileceğimiz şey, Galilei'nin Kepler'in kitabını dikkate almamış olmasıdır. Bu kitap 1609'da, tam da Galilei'nin dürbününü göğe çevirdiği yıl yayımlandı. Kepler'in onu övgülü ve sıcak bir ithafla Galilei'ye göndermesine karşın Galilei onu okumadı (söylediğine göre) ve göz ardı etti (bu kesin).

Oysa bunda, gerçeğin patlaması için her şey vardı! Kuramsal astronomiyle (Kepler) gözlem astronomisinin (Galilei) aynı yıl doğmuş olması ne ilginç bir rastlantı!

Daha önce söylediğimiz gibi, ardından Newton gelip her şeyi açıklayacaktır.

34 Bkz. Claude Allègre, *Si j'avais défendu Galilée* (Galilei'yi savunmuş olsaydım), Paris, Plon, 2003.

Astronomlar kendilerini zoologlardan çok daha üstün görürler (tıpkı parçacık fizikçileri gibi).

Ancak parçacık fizikçileri gibi astronomların da ilk kaygısı, gözlemledikleri nesneleri listelemek, ardından da sınıflandırmak oldu. Zoologların yaptığı gibi.

Birçoklarına az gelişmiş akıllara yaraşır "yaya" bir işmiş gibi gelen sınıflama işleminin saygınlığını yeniden kazandırmak isterim.

Karmaşık sistemleri (ve basit sistemleri) ele alan bilimin gelişmesi içinde, bilimsel girişimin gözlemlerin ya da gözlenen nesnelerin sınıflamasıyla başlamadığı tek bir örnek yoktur.

Matematikte geometrik şekiller sınıflandırıldı – doğrular, çemberler, üçgenler, dörtgenler, kareler, vb.; tek, çift, asal, oranlı, oransız sayılar, diferansiyel, parabolik, hiperbolik, doğrusal, doğrusal olmayan denklemler... sınıflandırıldı.

Parçacık fiziğinde artık leptonları hadronlardan, kuarkları da "renklerine" ya da "çekiciliklerine" göre ayırıyoruz.

Zoolojide Linné, Buffon, Geoffroy Saint-Hilaire ve daha başkalarının yaptığı, yaşayan canlıların sınıflandırmaları olmasaydı ne evrim teorisi, ne genetik, ne de moleküler biyoloji olurdu.

Astronomide de aynı şey geçerlidir. Sınıflamalar iyi yapıldığında kuramlara yol açarlar. Bu arayışın bugün hâlâ sürdüğünü bile söyleyebilirim!

Bizim bugün algıladığımız biçimiyle kozmik hiyerarşi üç düzeylidir.

Gezegenler. Belirttiğimiz gibi, bunlar ışık üretmeyen, yani soğuk gökcisimleridir. Doğrudan gözlemlediklerimiz yalnızca Güneşin çevresinde dönenlerdir, ama Güneş sistemi dışın-

da başka yıldızların çevresinde dönen gezegenlerin de var olduğu, yarattıkları oynamalara bakarak, son dönemde dolaylı olarak "keşfedildi": bunlara dış gezegenler adı veriliyor. Bu araştırma alanının gelecek yıllarda patlama yapması gerek.

Güneş sisteminin gezegenleri iki sınıfa ayrılır. *İç gezegenler*, hatta bunlara tellürik [yersel, yeryüzü benzeri] de denir, Güneşe yakındırlar ve yapıları temelde kayalıktır. Bunlar Merkür, Venüs, Dünya ve Marstır. Dünyanın bir uydusu, Ay; Mars'ın iki küçük uydusu, Fobos ve Deimos, vardır. Bu gezegenler katı, sert kayalardan oluşmuşlar, az çok ince atmosferlerle çevrilmişlerdir.

Dış gezegenler. Bazen dev gezegenler olarak adlandırılırlar: Jüpiter, Satürn, Neptün, Uranüs, Plüton.

Bu dev gezegenlerin tümü, büyük ölçüde, az çok sıkıştırılmış gazlardan oluşur. Kimyasal bileşimleri Güneşinkinden pek farklı değildir – Hidrojen, Helyum, biraz Karbon ve Azot. Tüm bu dev gezegenlerin çevrelerinde dönen oldukça yüksek sayıda uyduları ve değişik boyutlarda kayalardan oluşmuş halkaları vardır. Eskiden yalnızca Satürn'ün böyle halkalarla çevrili olduğu sanılırdı; uzay araştırmaları bize bunların yaygın olduğunu gösterdi.

Gerçekten de gezegenlere dair uzay araştırmaları otuz yıl içinde gerçekleşen olağanüstü bir bilimsel serüven oldu. Tüm gezegenler tartıldı, sesleri dinlendi, fotoğrafları çekildi, her açıdan pek çok fotoğrafları çekildi. Artık yerküre, bizim Dünyamız, kardeşleri arasında "yerini alıyor". Bu gezegenler araştırması başlı başına bir konudur... daha sonraya bırakıyoruz.

Yıldızlar. Gezegenlerin tersine, yoğun bir ışık yayan sıcak gökcisimleridir. Güneş, başka yıldızların, birçok başka yıldızın arasında bir yıldızdır.

Evrende yıldızlar o kadar çok sayıdadır ki bunların incelenmesi, sınıflandırılması, bilgisi astronomların karşısına son derece büyük olanaklar çıkardı ve çıkarıyor.

Galaksiler. Bunlar yıldız kümeleri, topluluklarıdır. Bunların yapısını anlamak çok uzun sürdü, çünkü uzaktan gökyüzündeki basit ışıklı noktalar olarak görünürler, resmini bir uydudan çektiğimiz bir kentin ışıklı bir nokta olarak görünmesi gibi.

Yıldızların sınıflaması

Belirttiğimiz bu yapıların sıralamasında yıldızlar merkez konumdadır.

Gezegenler bunların çevresinde dönerler. Galaksileri oluşturan bunlardır.

Ama sayıları o kadar çoktur ki hangisinden başlayacağımızı bilemeyiz. Güneşten, kuşkusuz! Ya sonra?

Gökbilimci, gözlem araçlarına belki de diğer bilim adamlarından daha fazla bağımlıdır.

Tycho çıplak gözle çalışıyordu. Galilei dürbünü icat etti. Newton aynalı teleskopu buldu. Bunsen ve Kirchhoff, bir teleskopun arkasına yerleştirilen bir prizma sayesinde, optik tayf ölçümünün, yani Güneşten ve yıldızlardan gelen ışığın ayrışımının sırlarını açığa çıkardılar.

Bundan sonra, bir teleskopun odağına bir tayfölçer (ilk dönemde prizma, sonraları ağ) yerleştirerek, bir yıldıza odaklanıp bunun ışığını ölçmek olanak kazandı.

Bir ışık iki özellikle belirlenir.

Birincisi yeğinliğidir. Bir ışık az ya da çok aydınlatır (100 vatlık bir ampul bir mumdan daha fazla aydınlatır). Yeğinlik, bu özelliğin sayısal ifadesidir.

İkinci önemli özellik, optik tayfının bileşimidir. Kaç çizgi var? Hangi çizgiler? Baskın renk hangisi?

Bu optik tayf, bizi yıldızın iki önemli özelliği üzerine bilgilendirir. Bir taraftan ısısı, diğer taraftan kimyasal bileşimi. Kimyasal bileşimle optik tayf arasındaki ilişki daha önce açıklanmıştı.

Işıkla rengin ilişkisi herkesçe daha iyi bilinir. Metal bir plakayı ısıtmaya başladığımızda önce solgun kırmızı, sonra kiraz kırmızısı olur, bundan sonra mavi ve son olarak da beyaz olur. Bu renkler sıcaklık dereceleriyle eşleştirilebilir.

20. yüzyılın başında biri Amerikalı (Russell) diğeri Danimarkalı (Hertzsprung) iki gökbilimci, Evrendeki yıldızları iki parametreye göre sınıflandırmaya giriştiler: renk (yani yüzey sıcaklığı) ve ışığın yeğinliği, aydınlatma gücü.

Renk bir tayfölçer (ya da tayfmetre) yardımıyla doğrudan ölçülebilir. Ama Evrende çok uzaklarda bulunan bir yıldızın aydınlatma gücünü nasıl ölçeriz?

Bir cisim ne kadar uzaktaysa o kadar az parladığını biliriz. Öyleyse bu kadar uzaktaki yıldızların aydınlatma gücünü ölçmek için ne yapmak gerekir?

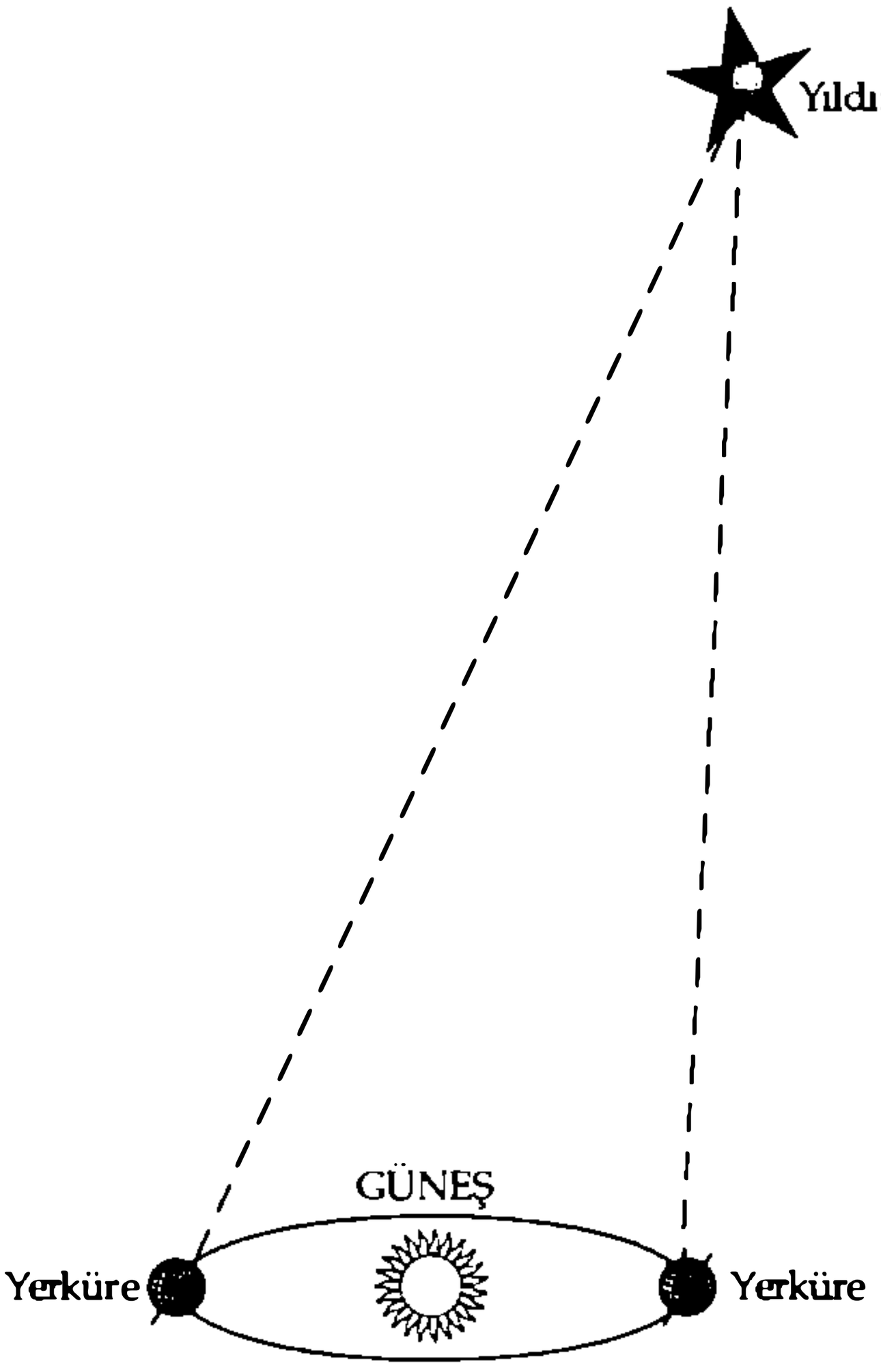
İlk yapılabilecek olan, kuşkusuz, yıldızın uzaklığının ölçülmesidir. Ama nasıl? (Bkz. Şekil 4.7)

Evet, her zamanki gibi üçgenleri kullanarak. Ama bu kez taban çizgisi olarak yerkürenin çapını değil, yerküre yörüngesinin çapını alarak. Öyleyse yıldızı altı ay aralıklı iki günde hedefleyeceğiz (örneğin 21 Aralık ve 21 Haziran), iki hedef çizgisi arasındaki açıyı, ardından da uzaklığı hesaplayacağız.[35]

Ne yazık ki bu "geometrik yöntem"le 100 ışık yılının ötesine ulaşamayız.

Neyse ki 1908'de Amerikalı gökbilimci Henrietta Leavitt çok önemli bir buluş yaptı. Belirli bir yıldızlar grubunu, ken-

35 Yerküre-Güneş uzaklığı = 1 Astronomi Birimi (AB) = 146 milyon kilometre.



Şekil 4.7
Iraklık açısı denilen yöntemle yıldızların uzaklığının ölçümü yöntemi.

dine özgü bir özellik gösteren Sefeitleri inceledi: bunlar parlarlar, kararırlar, yeniden parlarlar, kısacası, çok düzenli titreşimleri olan gerçek yıldızsal ışıklardır.

Henrietta Leavitt bunlardan yirmi beş tanesini inceledikten sonra, en yavaş değişenlerin en büyük ve aydınlatma gücü en yüksek olanlar olduğunu gösterdi. Bu aydınlatma gücünün kesin olarak belirlenmesi, tüm bu Sefeitlerin 100 ışık yılından daha az uzaklıklarda olması ve ıraklık açısı yöntemiyle belirlenebilmesi sayesinde olanak kazandı.

Aydınlatma gücü, uzaklığın karesinin tersiyle orantılı olarak değişir (Bkz. Şekil 2.2). Demek ki uzaklığı bildiğimizde ve aydınlatma gücünü ölçtüğümüzde ışığın kaynağına gidebiliriz.

Bununla, artık araştırmacıların elinde bir yıldızın içsel ay-

dınlatma gücünü (uzaklığın zayıflatmadığı aydınlatma gücünü) ölçmeyi sağlayan bir yöntem bulunuyor. 100 ışık yılından çok daha büyük uzaklıklar için de bu geçerli, çünkü Evrenin çok uzaklarında da Sefeitler bulunmaktadır.

Ayrıca, bir Sefeite yakın bir yıldızın bu içsel aydınlatma gücü, ölçülen aydınlatma gücü ve yakındaki Sefeitin uzaklığının bilgisi kullanılarak hesaplanabilir.

Binlerce yıldız üzerinde yapılan ölçümlerin sonuçları Aydınlatma ve Renk çizelgelerine yerleştirildiğinde (Bkz. Şekil 4.8), rastlantısal olarak dağılmadıkları, birtakım yapılar oluşturdukları görülür.

H-R (Hertzsprung ve Russell'ın baş harfleri) olarak adlandırılan bu çizelgede, yıldızların büyük çoğunluğu ışıklı ve sıcak yıldızlardan daha soluk ve daha "soğuk" yıldızlara doğru giden dalgalı bir çapraz üzerinde yer alır.

Sıradan yıldızların yer aldığı bu çapraz, *Anakol bandı* adını alır. Bu dizide ortanın biraz altında Güneş bulunur, bizim Güneşimiz. Demek ki bizim Güneşimiz sıradan bir yıldızdır.

Üstte sağda, yüksek aydınlatma gücü ve "zayıf" ısı bölgesinde özel yıldızlar var, iri, görkemli yıldızlar: Kırmızı Devler, Betelgeuse gibi.

Altta, solda ise sıcak ve az ışıyan, küçük, cılız yıldızlar vardır: Beyaz Cüceler.

Tüm modern astrofizik bu çizelgeden, daha çok da bunun yorumundan hareketle gelişecektir... nükleer fiziğin tüm kaynaklarını kullanan bir yorumun etrafında.

Çünkü yüzyılın başında H-R çizelgesi sayesinde göğün enginliğine biraz düzen verildiğinde, yıldızların kökenindeki mekanizmalar ve bunların üstün aydınlatma gücü üzerine hiçbir bilgimiz yoktu.

Büyük İngiliz astronomu Arthur Eddington, kraliyet astronomu ve Cambridge'de profesördü; göğe ilişkin ne varsa tümüne ve dolayısıyla yıldızların enerji kaynaklarına ilgi

duyuyordu; meslektaşı Ernest Rutherford'un (Bkz. Bölüm 8) laboratuvarda yarattığı nükleer reaksiyonları keşfettiğinde, ansızın, atom enerjisiyle yıldızların enerjisi arasında bir bağ olabileceği sezgisine kapıldı.

Rutherford'a düşüncesini açıkladığında "Olanaksız, Güneşin ısısı çok düşük" yanıtını aldı. Buna Eddington iyi bir quaker* zekâsıyla cevap vermiştir: "Sizin laboratuvarınızda yaptığınızı Güneşin yapamayacağını düşünemiyorum!"

Ama tüm bunların öyküsü başkadır. Astrofiziğin öyküsüdür.

Galaksiler

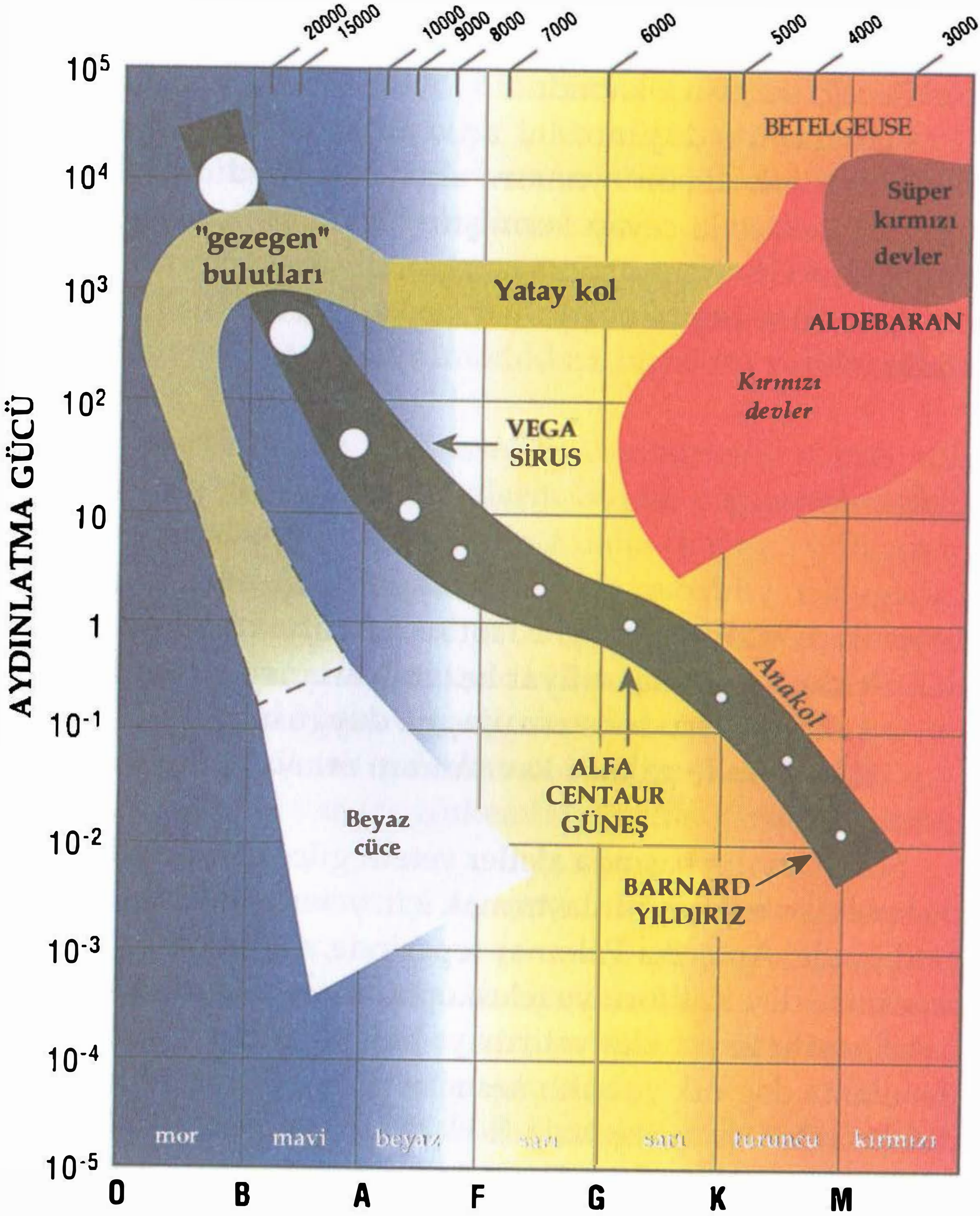
Gezegenler, yıldızlar, galaksiler, Evrenin düzeninde sıralama böyledir. Uzaklıklar milyon, sonra da milyar ışık yılı cinsinden ölçülür... Yıldızlar milyar kez milyarlarla sayılır... Gerçekten uçsuz bucaksız: sonsuza ulaşma duygusu veriyor.

Gökbiliminde galaksi kavramının ortaya çıkması çok zor oldu.

Son yüzyılın başında aletler yeterli güce ulaştığında, ayna düzenekleri ışığı yoğunlaştırmak için yeterince etkili duruma geldiğinde, Amerika Palomar tepesinde, ardından da Wilson tepesinde dev Kaliforniya teleskoplarını kurarak astronomiye hatırı sayılır kaynaklar yatırmaya başladığında, gökbilimciler de uzakta dağınık ve ışıklı nesneler görmeye başladılar. Neydi bunlar?

Bunlara bulutsular adını verdiler. Kimileri bunların bizim galaksimiz Samanyolu ile bağlantılı olduğunu düşünüyordu; başkaları bunların Samanyolu'nun uzantıları olduğunu, daha başkaları da Samanyolu'ndan kaçan gaz bulutları olduğunu söylüyordu.

* Bir Protestan mezhebi. (ç..n.)



Şekil 4.8

Hertzsprung-Russell yıldızlar çizelgesi (not: sola doğru gidildikçe ısı artar).

1920'de Hubble, Andromeda bulutsusunun bizim Samanyolu'muzun bir benzeri olduğunu ama ondan ayrı olduğunu açık ve kesin olarak kanıtladı.

O günden beri gökyüzünde milyarlarca galaksi bulundu. Yakın olanların (göreceli olarak!) yapıları incelenebildi.

Kimilerinin sarmal kolları vardır, kimileri kesif, eliptik, ortasında şişkindir, daha başkalarıysa ikisinin arasıdır.

Zamanı geriye çeviren makine

Bu galaksiler milyonlarca, hatta milyarlarca ışık yılı uzaklıktadır. Bu da ışıklarının bize ulaşması için milyonlarca, hatta milyarlarca yılın geçtiği anlamına gelmektedir! Bu ışık, bize Galakside o çok eski zamanlarda neler olduğunun bilgisini verir.

Güneşi incelerken, ışığın onunla aramızdaki uzaklığı aşması için sekiz dakika geçmiştir. Bu onu neredeyse "gerçek zamanda" görüyoruz demektir. Alfa Centauri yıldızını incelediğimizde, bu yıldızı üç yıl önceki haliyle gözlemlemiş oluruz. Ama Andromeda Galaksisi'ni incelediğimizde, "tanık" olduğumuz olaylar iki milyon yıl önce olmuş olaylardır.

Orta uzaklıktaki galaksileri gözlediğimizde, yüzlerce milyon, hatta milyar yıldan söz etmek gerekir.

Bu haliyle baktığımız gökyüzü artzamanlı bir tablodur. Sanki eski bir freskte birinci planda Üçüncü Cumhuriyet, ikincide XIV. Louis, üçüncüde İngiltere'nin Edward'ıyla tartışan Philippe le Bel yer almaktadır. Dipte de firavun Keops büyük rahip Amon ile tartışıyordur. Hepsi de aynı tuvalin üzerinde.

Uzağı gözlemlemek, önceyi gözlemlemektir. Böyle baktığımızda astronomi tarihsel bir bilim dalıdır. Nedeni de ışığın hızının sonsuz olmayışıdır.

Uzaktaki galaksiler tek tek ışıklı noktalar gibi görünürler; çok uzaktan görünen kentlerin evlerini ya da sokak lambalarını ayırt edemeyip yalnızca ışıltılar görmemiz gibi.

Astronomların artık klasikleşmiş yöntemleri sayesinde, yıldızlar için yaptığımız gibi, galaksileri, bunların renklerini, optik tayflarını inceleyebiliyoruz.

Böylece 1929-1930 yıllarına doğru, Edwin Hubble yeni Kaliforniya teleskoplarından, özellikle Wilson tepesindekinden yararlanarak uzak galaksilerin tayflarını incelemeye girişti ve önemli bir olguyu açığa çıkardı: galaksilerin tayflarındaki çizgiler kabaca yıldızlarınkilerle aynıydı; bu da kimyasal bileşimlerinin onlarınkine yakın olduğu anlamına geliyordu, ama küçük bir farkla. Çizgilerin büyük kısmı büyük dalga boylarının, yani kırmızının yönünde kaymıştı. Astronomi dilinde buna kestirme yoldan, kırmızıya kayma adı verildi. Bunu nasıl açıklamalı?

Hepimizin yaşadığı ve Doppler etkisi dediğimiz bir olaya dayanarak (Bkz. Şekil 4.9). Hepimiz bir tren istasyonunda, yaklaşan bir trenin sesini uzaklaşan bir trenin sesinden ayırabileceğimizi biliriz. Birinci durumda tiz sesler baskındır, ikinci durumda ise pes sesler. Bunun nedeni, bize doğru gelen dalgaların (ses dalgaları) tepe noktalarının birbirine daha yakın, dolayısıyla "dalga boyu"nun daha kısa olması, böylelikle daha yüksek bir frekansı ve daha tiz bir sesi olmasıdır. Tersine, kalkan bir trende olduğu gibi, bizden uzaklaşan dalgaların tepeleri daha aralıklıdır ve ses bundan dolayı daha pestir.

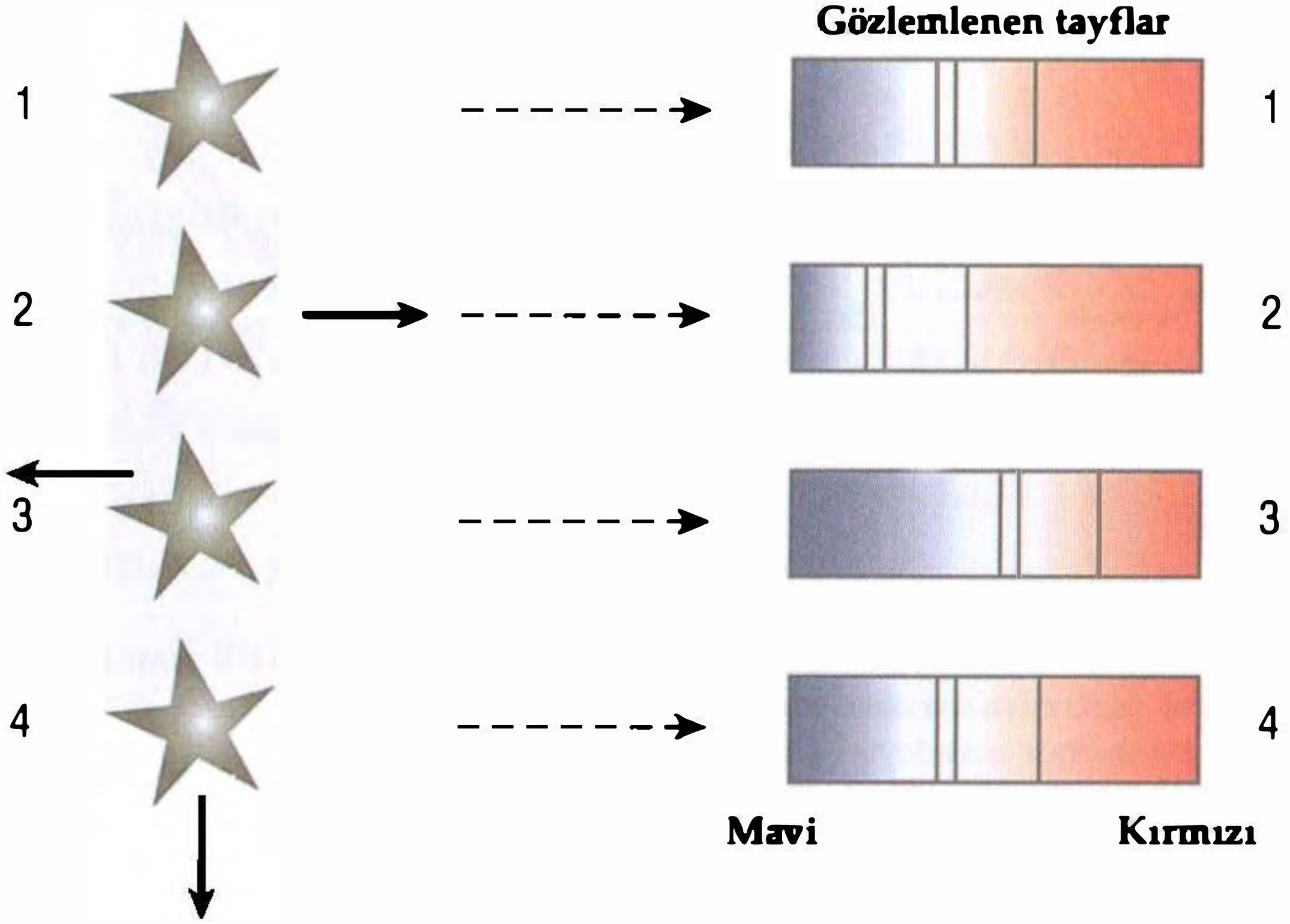
Ses kaynağı yaklaştığında frekansı daha tiz gelir. Ses kaynağı uzaklaştığında bunun tersi olur.

Optikte de durum aynıdır. Bir nesne yaklaştığında renkler mora kayar (dalga boyu daha kısadır, ışık daha "tiz"dir), uzaklaştığında renkler kırmızıya kayar (dalga boyu daha

uzundur, ışık daha "pes"tir). Hubble, sonuçtan hiç kuşku etmiyordu: galaksiler bizden uzaklaşıyordu!

Bu noktada Hubble bu uzaklaşma hızlarını sınıflandırmaya ve başka parametrelere bağlamaya girişti.

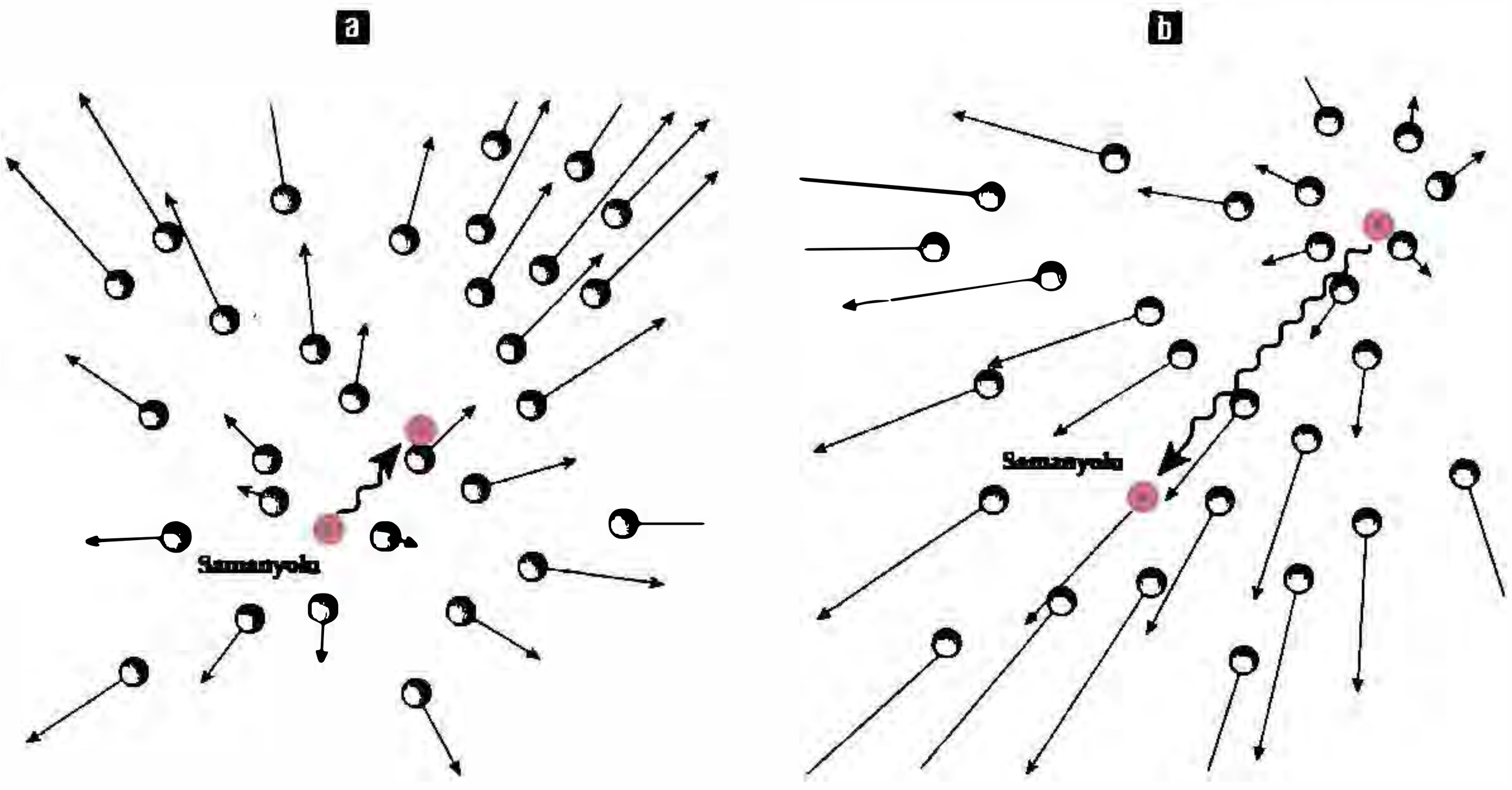
Böylelikle bizden ne kadar uzaktaysa, galaksilerin uzaklaşma hızlarının o kadar yüksek olduğunu saptadı. En hızlı kaçanlar en uzaktakilerdi. Kuşkusuz, bu ilişkinin geçerliliğini gölgeleyen bir belirsizlik vardı, çünkü galaksilerin uzaklıklarının ölçümünde hepsinin başlangıçtaki parlaklık derecesinin aynı olduğu ve dolayısıyla az ya da çok "solgun" oluşlarının, az ya da çok uzak oluşlarını gösterdiği varsayılır. Oysa birçok durum için ölçüm yapıldıktan sonra ilişki kanıtlanmış sayıldı.



Şekil 4.9
Doppler etkisi.
İşte dört yıldız. Yukarıdan aşağıya.
Üstteki sabittir.
Alttaki yıldız bize doğru geliyor.
Sonraki yıldız bizden uzaklaşıyor.
Alttaki yıldız bize paralel olarak yer değiştiriyor.
Her durumda, optik tayfta birtakım karakteristik çizgilerin yer değiştirdiği görülür.

Şimdi de zamanı geri aldığımızı düşünelim.

Olayı açıklamak için adım adım izini sürdüğümüz geçmiş, ancak eskiden, çok eski bir zamanda galaksilerin tüm maddesinin bir noktada toplanmış olduğunu kabul etmemiz durumunda akla yakın oluyor. Daha sonra bu noktadan hareketle birbirlerinden uzaklaştılar; bize en uzak olanlar en hızlılarıydı (ve Şekil 4.10'da görüldüğü gibi, merkeze göre konumumuz ne olursa olsun bu böyledir).



Şekil 4.10
Evrenin genişlemesinin bu çiziminde şunu görüyoruz: Hep hareketli olan konumumuz (renkli olarak gösterilen) ne olursa olsun, galaksiler bizden uzaklaşır.
a) Kırmızı galaksimiz neredeyse tam Big Bang'in olduğu yerde kaldı.
b) Galaksimiz Big Bang'in olduğu yerden epeyce uzaklaştı.

Ama her iki durumda tüm diğer galaksiler de uzaklaşmaktan başka bir şey yapmaz. Dolayısıyla galaksilerin uzaklaşması, büyük Evren genişlemesi olayının içinde bizim galaksimizin konumunu (ve kendi konumumuzu) belirlememize olanak vermez.

Bu gözlemler, Rus Friedmann'ın 1922'de ve Belçikalı başrahip Georges Lemaître'in 1927'de, Einstein'ın Genel Görelilik kuramından hareketle yapmış oldukları birtakım kuramsal savlamalara bir anda içerik kazandırdı. Gerçekten de her ikisi

de dev oranlarda genleşen, genişleyen bir Evren düşüncesini ortaya koymuştu.

Yine de birkaç yıl daha, George Gamow'un şu düşünceyi öne sürmesine dek beklendi: Evrenin başlangıcında tüm madde küçük bir noktada yoğunlaşmıştı ve bu madde, sonradan kötü (ama gösterişli) bir ad, Big Bang adı verilecek olan ani bir olayın etkisiyle hızla uzaklaştı. Kötü bir ad, çünkü bir patlama olduğu izlenimini uyandırıyor, oysa asla değil.

Gamow bu ani, çok sıcak sürecin bugün 3°K derecesinde soğumuş olan bir ışımayı yaratmış olduğunu savladı (daha sonra söz edeceğimiz, Planck'ın ünlü siyah cismi anlamında). Savaştan sonra iki radyoastronom, Penzias ve Wilson o ünlü ışımayı rastlantısal olarak keşfettiklerinde Gamow'un savı doğrulanmış oldu ve ondan sonra Big Bang gerçekliği akıllara yerleşti.

Daha ötesine gidip Big Bang'i, evrelerini, ortaya çıkan enerjiyi düşünmek için modern fiziğin tüm kuramsal araçlarına başvurmak ve kuantik elektrodinamik ve Görelilik denen çetin kuramları bir araya getirmek gerekir.

Buradaki amacımız bu değildir; ışığın ayrıştırılmasının, başka deyişle optik tayfın incelemesinin olanak verdiği şaşırtıcı gelişmeleri göstermektir yalnızca.

5

Enerjinin gizi, ilk serüven

Enerji, iş. Bu sözcüklerin anlamını bilmiyorsak bilimlerden hiçbir şey anlamayız. Günlük yaşamda, bilimdeki kullanımlarından çok da uzak olmayan, çok daha genel bir anlamları vardır. Daha sonra göreceğimiz gibi, enerji krizinden, yapılan işten ya da iş süresinden söz ettiğimizde fizik dünyasından çok da uzakta olmayız aslında.

Bununla birlikte, bugün temel önem taşıyan ve şu ünlü enerjinin korunumu ilkesi gibi sayısız bilimsel düşünüşün kökünde bulunan bu kavramlar ancak adım adım ortaya çıkmıştır.

"Enerji"den ilk söz eden Galilei'dir; tanımını vermeden "energia" sözcüğünü ortaya atmıştır. Buna ilk kesin tanımını 19. yüzyılın başında Fransız Coriolis vermiş gibi görünüyor (özellikle kendi adını taşıyan, dönüş halindeki cisimlerdeki güce ilişkin kavramıyla tanınır). Böylece, bugün mekanikte merkez konumdaki enerji kavramı uzun bir süre bilinmeden –daha doğrusu tanımlanmadan– kaldı. Önemi seziliyordu, ama kullanılmıyordu.

Enerji, fizikteki odak noktalarından biridir, ama yine de bugün bile onu en iyi nasıl tanımlayacağımızı bilmiyoruz. Çünkü enerji kendinde bir bütünlük değildir, yoğunlaşmış

ya da yalıtılmış enerji yoktur. Deneysel olarak ölçebildiğimiz, bir değişiklik olduğunda sistemin enerjisinde meydana gelen oynamadır. İnanması güç ama gerçek. 20. yüzyılın büyük fizikçilerinden, Nobel Fizik Ödüllü Richard Feynman'ı dinleyelim: "Enerjinin ne olduğu üzerine günümüz fiziğinde hiçbir şey bilmediğimizi anlamak, önem taşıyor."

Fiziğin bu merkez kavramı dolaylı yoldan tanımlanır. Nasıl okulun ilk sınıflarında (geometride) temel bir kavram olan açı kavramı kullanılır ama onu çok belirgin olarak tanımlamaktan özenle kaçınılırsa, burada da durum öyledir. Enerjinin, gerektiğinde iş üretebilecek bir şey olduğu söylenir. Kabul edersiniz ki oldukça belirsiz bir tanım bu.

Bununla birlikte, işlevsel bakımdan enerji son derece etkin bir kavramdır.

İş

Bir çukur kazmak için iş yapmak gerekir; bir ağırlığı kaldırmak için de iş yapmak gerekir, bir arabanın yerini değiştirmek için de. Ama bu yer değiştirmenin benzinli ya da elektrikli bir motorla da sağlanabileceğini biliyoruz.

Demek ki hepimizin işe ilişkin sezgisel bir kavramı var. Fizikte iş kesin olarak şöyle tanımlanır: bir güçle, bu gücün uygulandığı nesnenin yer değiştirmesinde katettiği uzaklığın çarpımı.

Ağır bir cismi iterek yerini beş metre değiştirmişsek, genellikle, aynı cismin yerini bir metre değiştirerek yapacağımızdan daha çok iş yapmış oluruz.

Eğer kitaplarla dolu 20 kilo ağırlığında bir kutuyu yerden bir metre yukarıya kaldırırsak, onu iki metre kaldırmış olsaydık yapacağımız işten daha azını yapmış oluruz. Bu durumda uyguladığımız güç, yerkürenin kitap kutusuna uyguladığı ve

kütlesiyle yerçekimi ivmelenmesinin çarpımına eşit olan (20 kilogram x 10 metre/saniye kare) doğal yerçekimi gücüne ters yöndedir (ve yeğinliği biraz daha fazladır).

Buna göre, 20 kilogramlık bir kutuyu 2 metre kaldırmak için yapılması gereken iş 20 x 10 x 2 = 400 jul olur.

Jul, kütle kilogram cinsinden, uzaklık metre cinsinden verildiğinde kullanılan iş birimidir. Bunu yaklaşık olarak saniye karede 10 metre olan yerçekimi ivmelenmesiyle çarpmayı unutmamak gerekir.

Eğer kutuyu iki metre kaldırdıktan sonra bırakırsak yere düşer. Kitap kutusunun yere düşüşü bir enerji (potansiyel enerji) kaybına neden olur; bu, iş üretmek için kullanılabilir.

Yerkürenin uyguladığı çekim, yine 400 jul'e karşılık gelen bir iş yapılmasını sağlamış olur.

Bunun en iyi kanıtı şudur: eğer kutuyu, öteki ucu başka bir kartona bağlı bir makaraya bağlamış olsaydık, birinci kutunun düşüşü ikincinin belli bir yüksekliğe çıkmasını sağlardı.

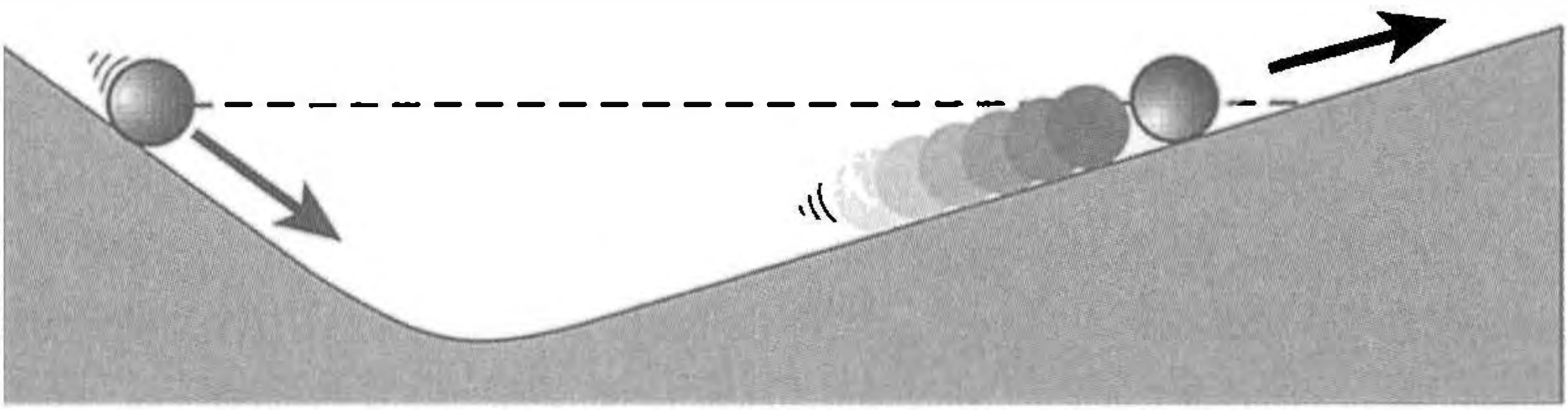
Bunu fizik diline nasıl çevirebiliriz? İlk kutuyu iki metre yükseklikteki bir rafa çıkarttığımızda, yaptığımız işi rafın üzerinde depolanmış ve kutuyu yeniden yere indirmeye kendi başına yetecek bir büyüklüğe dönüştürmüş olduk. Bu durumda raf üzerine konan kutunun *potansiyel enerjiye* sahip olduğu söylenir. Potansiyeldir, çünkü yedekte durur. Bunun gibi, ağırlığı olan her cisim bir potansiyel enerji taşır ve bu da uzaydaki konumuna bağlıdır (bizler için en başta, yerkürenin merkezine olan uzaklığına bağlıdır).

Bu anlamda, enerji, iş yapabilme kapasitesidir. Kutu yere düşerken bu potansiyel enerji *etkin enerji*ye, hareket enerjisine dönüşür; buna *kinetik enerji* denir (kinetik, hareket demektir).

Tuhaf bir nicelik bu; duruma göre ya depolanıyor ya da açığa çıkıyor!

Sır derinleşti.

Galilei eğimli düzlemler üzerinde yuvarlanan bilyeler yardımıyla yaptığı deneylerinde, enerji kavramını ve bu enerjinin korunumu ilkesini gün ışığına çıkarma noktasındaydı. Gerçekten de, ünlü eğimli düzlemlerinden birini ona simetrik başka bir eğimli düzlemle uzatıp bir bilyeyi yukarıdan bıraktığında, bilye ilk düzlem üzerinde yuvarlanıyor ve sonra yolunu ikinci düzlem üzerinde sürdürüp neredeyse başlangıç yüksekliğine dek çıkıyordu. Üstelik eğimli düzlemlerin eğimi ne olursa olsun bu böyleydi (Bkz. Şekil 5.1).



Şekil 5.1
Galilei'nin ikili eğimli düzlem deneyi.
Solda bırakılan top sağda aynı (ya da neredeyse aynı) yüksekliğe çıkıyor.

Modern terimlerle anlatırsak, bir yönde potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştürüyordu, ardından da tersine, kinetik enerji potansiyel enerjiye dönüşüyordu.[36]

Bu olayı daha kolayca inceleyebilmek için, Galilei sarkacı ele aldı: bir ipe asılmış bir kütle. Dinlenme durumunda ip düşeydir, çünkü kütle yerküre tarafından çekilir. Kütleyi biraz yana kaydıracak olursak (ipi gergin tutarak), salınmaya başlar. Düşeyin öteki tarafında yaklaşık olarak başlangıçtaki

36 Bilyenin tam olarak aynı yüksekliğe çıkmaması sürtünmeden dolayıdır.

yüksekliğine çıkar, ardından başlangıç noktasına döner ve bu böyle sürer.[37]

Potansiyel enerji, günün birinde işe çevrilebilecek olan enerjidir, kinetik enerjiyse etkin olarak işe dönüşmüştür. Dikkate değer olan, kuşkusuz, bu iki enerjinin birbirine dönüşebilmesidir. Potansiyel olanı gizli, saklı; kinetik olanı görülür, ele gelir ve ölçülebilir.

Bundan sonra 19. yüzyılın mekanikçileri fiziğin temel bir ilkesini, belki de hepsinin en genelini ortaya attılar.

Enerji korunur. Çeşitli biçimler alır, birinden diğerine dönüşür ama bütününde korunur.

Yoktan var olmaz, yok olmaz; şuradadır, hazırdadır, gizemlidir ve her yerdedir.

Galilei'nin yüz yüze yerleştirilmiş iki eğimli düzlem deneyinde enerji korunmuştur. Şöyle yazılabilir: kinetik enerji + potansiyel enerji = sabit.

Yalnızca işin tanımını ve Newton'ın ivmelenme kanununu kullanarak şunları gösterebiliriz: *kinetik enerji, kütlenin hızın karesiyle çarpımının ikiye bölümüne eşittir; potansiyel enerji ise kütlenin yükseklik ve yerçekimi ivmelenmesiyle çarpımına eşittir*. Bu karmaşık ve sihirliymiş gibi gelebilir, ama aslında bundan daha basit bir şey yok. Ne olursa olsun, bu saptamalar burada pek önem taşımıyor.

Buna karşılık, akılda tutulması gereken, enerjinin o kadar da apaçık bir kavram olmadığı (onu "gizemli" diye nitelerken bunu söylemek istiyorum) ve korunduğudur. Ama hemen arkasından ikinci bir saptama gerekiyor. Galilei'nin deneyinde bilye her geçişte yavaşlar, her yukarı çıkışta daha az çıkar ve en sonunda iki düzlem arasındaki çukurda hareketsiz kalır. Bu olayı nasıl yorumlarız?

37 Galilei, bu hareketin bir kronometrenin özelliklerini taşıdığını ilk anlayan oldu ve onu eğimli düzlemler üzerinde bilyelerin düşüşü deneylerinde bu işlevle kullanmayı denedi.

İlkin, enerjinin bir kısmının sürtünmeler biçiminde değer yitirmesi olgusu vardır. Enerjinin korunumu ilkesini uygularsak bundan sürtünmelerin enerji tükettiği sonucuna varmamız gerekir.

Ardından, bilyenin potansiyel enerjisinin en zayıf olduğu yerde durduğunu saptamak gerekir; çukura bırakılmış bilye orada kalır. Yuvarlanmaz. Fizikçinin diliyle söyleyecek olursak, bilyenin sabit konumu potansiyel enerjinin en düşük olduğu konumdur.

Bu genel bir ilkedir, bir sistem hep potansiyel enerjisinin en düşük olduğu, en az iş yapacağı konuma yerleşir.

Bu, en yüksek tembellik ilkesinin fizikteki uygulamasıdır!

Buhar makinesi

Bilim adamlarının bir yanda işle enerji arasındaki, diğer yanda da sıcaklıkla ısı arasındaki ilişkileri kurmaları hiç kuşkusuz, hayvanlar ve insanlar tarafından yapılan işin yerine başka bir şey koymak ve makineleri işe koşmak içindi.

Bu ilişkiyi anlatabilmek için basit, neredeyse alelade bir gözlemle başlayalım. Bir tencereye biraz su koyuyorsunuz. Tencerenin üzerine bir kapak koyup ısıtıyorsunuz. Belirli bir süre sonra kapak kalkar (genellikle bir gidip gelme hareketiyle yapar bunu).

Su buharı kapak üzerinde bir eylem uygulamış, onu kaldırmış, yer değiştirmeli bir güç uygulamıştır: demek ki ısınmış suyun buharı iş üretmiştir. Su buharının bir kısım enerjisi etkinleşmiştir. Suyun ısıl enerjisi mekanik enerjiye dönüşmüş ve kendisini kapağın titremesinde göstermiştir.

Ardından kuramsal açıklama gelsin. 18. yüzyıla bir dönüş yapalım. O devirde Fransız Mariotte ve İngiliz Boyle bir yasa ortaya koydular; buna göre, bir gazın basıncı sıcaklığa ve

içine sıkıştırıldığı hacmin ölçüm değerinin tersine bağlı olarak değişir. Bu, bir gazın hacmiyle basıncın çarpımının yalnızca sıcaklığa bağlı olduğunu gösteren ünlü formüldür (PV = NRT).[38]

Hacim ne kadar küçükse, basınç o kadar büyüktür, gazı ne kadar sıkıştırırsak o ölçüde çeperleri iterek karşılık verir.

Öyleyse kapağın hareketlerinin nedeni gazın sıcaklığının artmasıdır. Ama gazın sıcaklığını arttırmak için onu ısıtmak, yani ona ısı vermek gerekti. Demek ki bütününde, *işi üreten ısı oldu* ve bunu su buharının aracılığıyla yaptı.

Enerjinin korunumu ilkesi, ısıyla işin birbirine dönüşebildiğini, bunların enerjinin iki etkinleşme biçimi olduğunu açıkça anlatır ("harcanan ısı artı yapılan iş" toplamı sabit kalır). Tersini de iyi bilirsiniz, ısıtmak için ellerinizi birbirine sürttüğünüzde...

Kinetik enerjiyle potansiyel enerji arasındaki dönüşüm sırasında enerjinin korunduğundan söz etmiştik; burada mekanik enerjiyle ısıl enerji, işle ısı arasındaki dönüşümü görüyoruz.

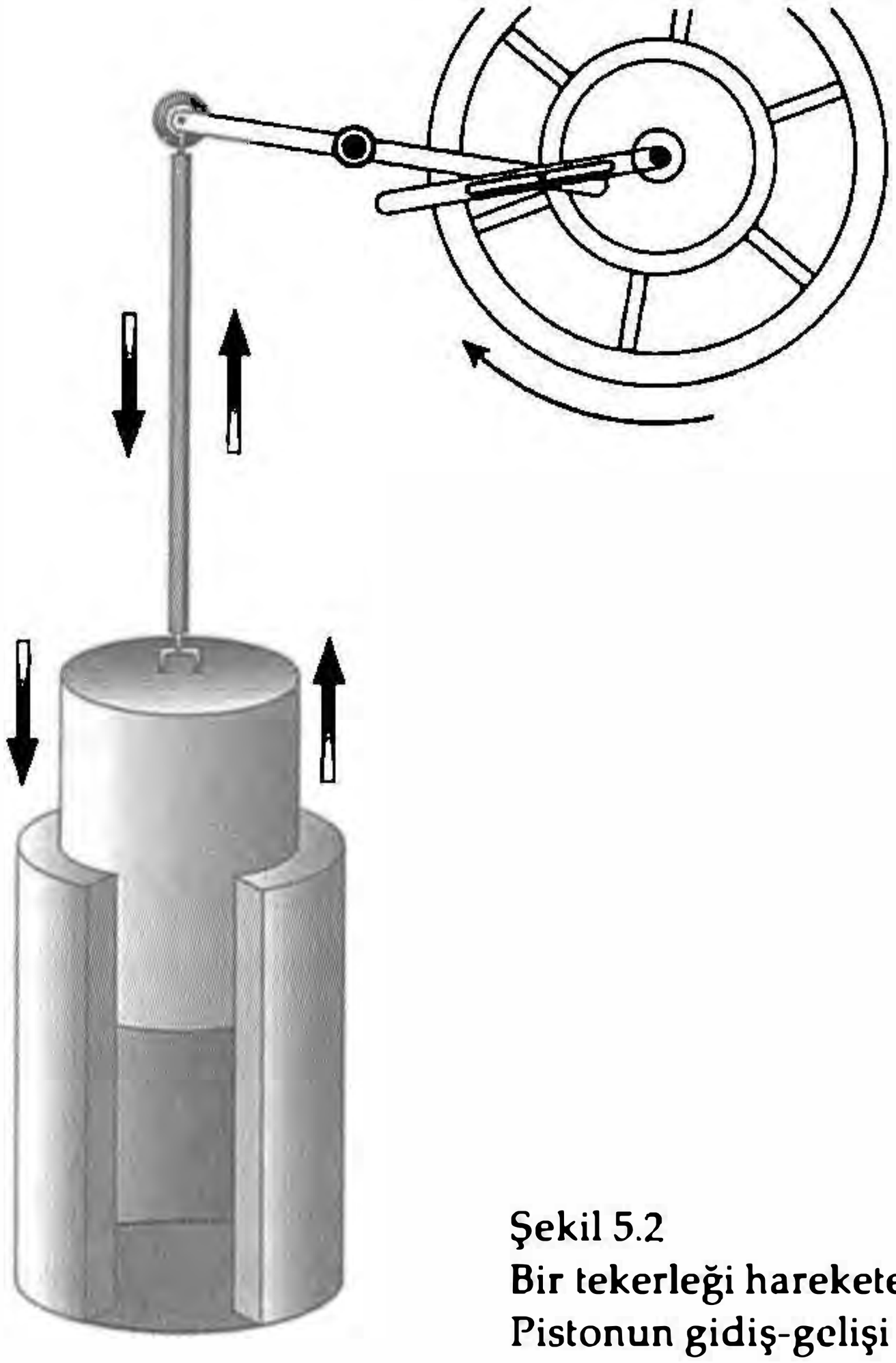
Ama ilkinde olduğu gibi, burada da kayıplar vardır. Isının bir kısmı, tencerenin metalini, ardından da onu çevreleyen havayı ısıtmaya yarar.

Ama bu kayıplar da enerji harcar, demek ki doğrusu, "ısı + iş + kayıplar" toplamının aynı kaldığıdır.

Piston

Isıyla iş arasındaki ilişkiyi simgeleyen araç pistondur, yani açık bir silindir içerisinde kayan kapalı bir silindir (Bkz. Şekil 5.2). İçi gazla doldurulabilir, dışı bir tekerleği döndüren bir

38 Burada R bir sabit, N ise moleküllerin sayısıdır.



Şekil 5.2
Bir tekerleği harekete geçiren pistonun işleyişi.
Pistonun gidiş-gelişi tekerleği hareketlendirir.

kola bağlıdır. Gazın genleşmesi pistonu hareketlendirir. Isıl enerji mekanik enerjiye dönüşür.

Tekerlek döner, pistonu sürükler, piston başlangıç noktasına döner. Sistemin işleyebilmesi için, pistonun içine sıcak gaz sokabilmek, pistonun yerini değiştirerek işi ürettiğinde ve dolayısıyla soğuduğunda da pistonu çıkararak boşaltabilmek gerekir. Supapların yaptığı budur. Bu, buharlı lokomotif ilkesidir. Otomobilde gazın gücü, patlama yaratılarak arttırılır. Piston aniden itilir, gaz boşaltılır ve işe yeniden başlanır.

Piston bu ısı-iş dönüşümünün ve ilk endüstri devriminin o derece yerleşmiş bir simgesidir ki büyük mühendislik okullarımızın en eskilerinden biri, École Centrale des Arts et Manufactures [Sanatlar ve Zanaatlar Merkez Oku-

lu] amblemi olarak pistonu benimsemiş ve nasıl Politeknik Okulu mezunlarına X (denklemlerde bilinmeyenin sembolü!) deniyorsa, bu okulun eski öğrencilerine de Piston adı verilmiştir.

Termodinamik

Daha temel bir düzeyde, bu ısı-iş dönüşümünün, ardından da genel olarak enerji dönüşümlerinin etrafında bir bilim geliştirildi ve adına Termodinamik dendi.

Bu dal, özellikle klasik biçimiyle, kesinlikle en ilgi uyandırıcı olanlardan biridir: çok genel birkaç basit ilke üzerine kurulmuştur, çok somut sonuçlar çıkarmaya ve çok kesin hesaplar yapmaya olanak verir.

Nedir bu ilkeler? Bunlar çok basit, neredeyse apaçıktır. Enerji korunur, ısı sıcaktan soğuğa akar ve asla tersine akmaz, tüm dönüşümlerde kayıplar vardır – öyleyse sonsuz süreli bir hareket olanaksızdır.

Ama buradan hareketle, iyi bir matematikle ve epeyce de ustalıkla, güçlü bir enerji biliminin kuruluşu gerçekleştirildi. Yüzyılın başında mühendis Walras'ın yapmak istediği gibi, kimi ekonomistler kendi alanlarını bir bilime dönüştürmek istediklerinde, birtakım basit ilkelerden kalkarak Termodinamiği taklit etmeye çalıştılar (örneğin: "her ekonomik etmen doyumunu en yükseğe çıkarmaya ve harcamalarını en düşüğe indirmeye çalışır", vb.)[39]

39 İlginç sonuçlar elde ettiler, ama bilindiği gibi, bunları gerçek yaşamda etkin olarak uygulamakta güçlüklerle karşılaştılar, çünkü birçok ekonomik ilke gerçeğe pek uymaz ve Termodinamikte son derece yararlı olan denge kavramı ekonomide daha da sorunludur...

Enerjinin kökenini araştırmayı sürdürelim. İş üretmeyi sağlayan bu ısıl enerji nereden geliyor?

Kömürün yanmasından!

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ gibi kimyasal reaksiyonlar enerji üretir. Bir ısıtma kazanında olduğu gibi, bedenimizde de![40] Başkalarıysa enerji tüketir. 19. yüzyılın ortasında bu keşfedildi.

Bir kısım kimyasal reaksiyonlar enerji (ısı) üretiyorken başkalarının da enerji yuttuğu, tam da kimyasal reaksiyonların ürettiği ısının kalorimetre[41] denen aletlerle ölçülmesi sırasında anlaşıldı. Bilim dilinde birinci gruba *ısıveren reaksiyonlar* denir (ısıtmak için kullanılırlar). Kömürün yanması bu duruma bir örnektir. İkincisine ise *ısıalan reaksiyonlar* adı verilir (bunlar da soğutmak için kullanılır).

Marcellin Berthelot, atomlara inanmayan adam, 19. yüzyılın sonlarında kimyasal termodinamiğin Papası haline gelecektir. Parlak, aktif ve etkili, işlerin o kadar da basit olmadığını gösteren bir Papa.

Yüzlerce incelikli ve çeşitli deneyden sonra Marcellin Berthelot bir ilkeyi açıklar: *kimyasal maddeler, bir kimyasal reaksiyon sırasında değiş tokuş edebilecekleri bir enerjiyi içlerinde taşırlar.*

Ardından bir ikincisini ortaya atar: *sonuçta elde edilen toplam enerji, bir araya gelen maddelerin başlangıçtaki enerjilerinin toplamından küçükse kimyasal reaksiyon oluşmuştur,* başka deyişle reaksiyon, enerji yani ısı açığa çıkarmışsa.

40 Süreç aynıdır. Enerjimizi elde etmek için birtakım karbonlu maddeleri "yakarız", tıpkı buhar makinesinin enerji üretmek için kömür yakması gibi. Ama biyolojik yanma, daha sonra inceleyeceğimiz enzimler sayesinde, düşük sıcaklıklarda olur (iyi ki öyle).

41 Özellikleri hep aynı kalan maddelerin sıcaklık artışını ölçmeye olanak verirler.

Buna göre, mekaniğin şu ilkesini kimyaya uygular: her sistem, potansiyel enerjisi en az olduğunda durgun bir dengededir.[42]

Kimyasal maddelerde bulunan iç enerji, kimyasal reaksiyonlar sırasında açığa çıkmaya hazır bir potansiyel enerji değil midir? Buhar olup giden bu enerjiden kaybettiğimizde bir potansiyeli yitirmiş oluruz, eğimli düzlemde aşağı kayan bilyenin durumuna geliriz.

Atomlar ve moleküller kuramını benimseyenler (Berthelot'- nun tersine), maddenin bu enerji açığa çıkarmasına mikroskobik, mekanik bir yorum getireceklerdi.

Atomlar moleküller oluşturmak üzere birbirlerine bağlıdırlar. Bu kimyasal bağlantılar, bağlar da denebilir, bir enerjiyi işin içine sokar. Atomları serbest bırakmak için *bu bağları kırmak*, bunun içinse enerji sağlamak gerekir: bu nedenle, bir cismi parçalamak ve onu oluşturan atomları serbest bırakmak için onu, örneğin, kuvvetlice ısıtmak gerekir.

Dışarıdan sağlanan enerji atomları titreştirir ve eğer yeterli miktardaysa, titreşimler kimyasal bağlantıları koparark atomları serbest bırakır.

Bu biçimde anlatılınca kimyasal dönüşümler, kimyasal reaksiyonlar, aynı zamanda birer enerji dönüşümü süreci olarak görünmektedir. Şurada bağlar kırılıp enerji açığa çıkıyor, burada enerji emen bağlar oluşuyor. Her defasında sonuç bir eksi ya da bir artıyla gösteriliyor. Isıtan reaksiyonlar ve ısıtılması gereken reaksiyonlar var.

Duyumsuyoruz, seziyoruz, madde, büyük bir enerji deposudur. Maddenin bu enerjisini insan, iki aşamada kullanacaktır: atomları birbirine bağlayan ve yanmada kullanılacak olan kimyasal enerji ve daha sonra kısaca yine değineceği-

42 Bu ilkenin kimyasal reaksiyonları öngörmek için yeterli olmadığını daha sonra göreceğiz.

miz, daha gizemli olan, atomların merkezinde bulunan, nükleer enerji.

Enerji kavramı, birbirinden çok uzakmış gibi görünen mekanik, termodinamik, kimya gibi alanları birbirine yaklaştırmamızı sağladı. Bu bile hayranlık verici, ama defteri kapatmamıza daha çok var! Çünkü hâlâ, enerjinin ne olduğunu bilmiyoruz. Dönüşümlerini, depolanmalarını hesaplayabiliriz, ondan hareketle düşünce yürütebiliriz, ama hep aynı noktadayız: onu hâlâ, bir dizi karmaşık dönüşüm yoluyla *iş üretmeyi* sağlayan olarak kavrıyoruz.

Enerjinin ölçüsü nedir?

Enerjiyi ve dönüşümlerini ölçmeyi bildiğimizi söyledik ve yineledik. Enerjinin birimi nedir?

Birimler sorunu fiziğin yaralarından biridir ve bence öğrencilerin bu alandan kaçınmalarında göz ardı edilmeyecek bir rol oynar. Aslında her şey çok basittir kuşkusuz, tanımlara bağlı kalmak yeterlidir. Evet, ama işte, zaman içerisinde ölçüm birimleri değişti. Öyle ki, enerji için yer yer *erg*, *kalori*, *newton x metre*, *kilovat-saat* kullandık – bugünse resmî birim *jul*. Aklımız karışıyor!

Geçerli sistem, uzunlukların metre, kütlelerin kilogram, zamanın saniyeyle (MKS) ölçülmesi üzerine kurulmuştur, oysa eski sistem SGS (santimetre, gram, saniye) üzerineydi.

İşte alışkanlıkların diretmesinden dolayı sürüp giden bir karışıklık kaynağı: örneğin, kimyacılar enerjilerini kaloriyle hesaplamaya devam ediyorlar ve eski kitaplar SGS'ye göre yazılmış. Hele Anglosakson birimlerinden (pound, feet vb) hiç söz etmeyelim.

Jul, 1 kilogramlık bir kütlenin, dikey olarak 1 metrelik yer değiştirmesiyle yapılan iştir (dolayısıyla açığa çıkan enerji).

Bu formülün hızdan bağımsız olduğunu belirtelim – zamanı işin içine katan, güçtür. Bu *gücü* saptamak için bir birim türetildi: *birim zamanda yapılan iş*. Güçlü adam, az zamanda çok iş üretebilendir. Bu güç vat cinsinden ölçülür.

Buna göre, bir birim zaman başına güç demek olan enerji, vat x saniye ya da kilovat x saat olarak da anlatılabilir. Bu, enerjinin daha yaygın kullanılan bir birimidir (elektrik faturanızı öderken gördüğünüz gibi).

Bu gizemli büyüklükle bu ilk karşılaşmamızdan şu iki temel noktayı akılda tutalım.

Enerjinin farklı biçimleri (iş üretebilme kapasitesi) birbirlerine dönüşürler.

Enerji durmaksızın azalır ve özellikle tüm dönüşümlerde enerji dağılması olur. Bu nedenle tüm teknoloji çalışmaları enerji kaybının en aza indirilmesi, enerji tasarrufu ve verimi arttırma amaçlarına odaklanmıştır.

Enerji tasarrufu mu? Bu size bir şeyler anımsatıyor olma-

lı...

6

Elektrik perisi

Elektrik, kuşkusuz 19. yüzyılın en olağanüstü, en umulmadık ve en önemli buluşudur. CNRS'in eski başkanı Édouard Brézin'in dediği gibi, elektriğin keşfi mumla nasıl daha iyi aydınlanabileceğimizi araştırırken olmadı!

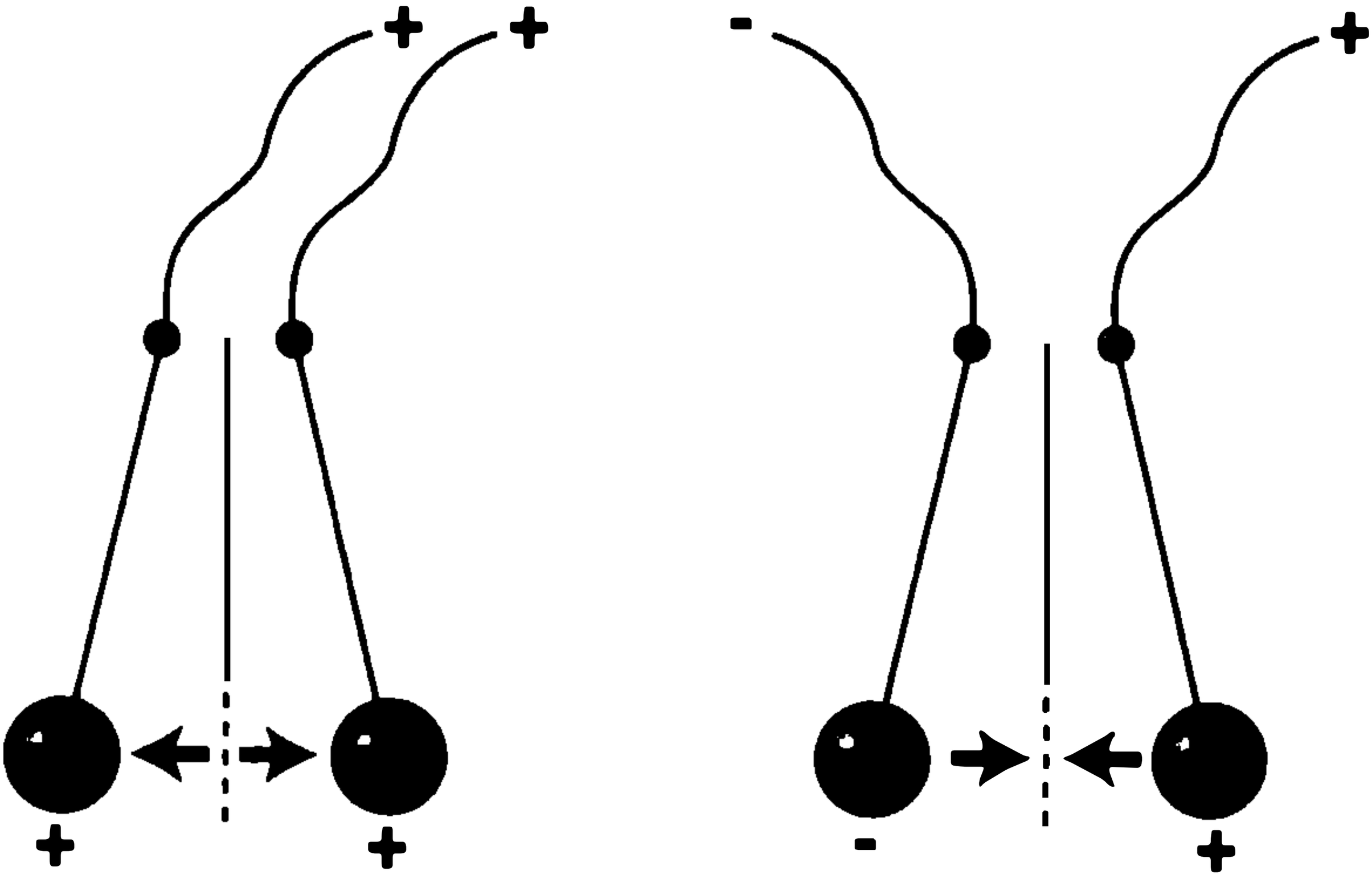
Yine de elektrik, radyoaktivite ya da lazer gibi modern bir buluş değildir. Yunanlardan beri biliniyordu!

Bir amber çubuğu bir kedi derisine sürterek o anda tozları ya da küçük mürver ağacı yongalarını çekebileceğimizi biliyorduk. Aynı deney bir cam çubukla yinelendiğinde daha başka tozlar çekiliyordu; öyle ki bir süre cam elektriğinden ve reçine elektriğinden söz edilir oldu. Daha önce değindiğimiz Benjamin Franklin, reçine elektriği yüklü cisimlerin cam elektriği yüklü cisimleri çektiğini gördü, zıtların birbirini çekmesi olgusundan hareketle pozitif elektrik ve negatif elektrikten söz etti ve elektriğin eksik ya da fazla nicelik gösteren bir özelliğe sahip bir tür akışkan olduğu düşüncesini ortaya koydu (sonuçta, yanlış değil bu).

Bu elektrik akışkanının yapısını anlamak için 18. yüzyılda deneyler arttırıldı. Bu olgunun araştırılmasında belli başlı ilerlemeyi İtalyan Alessandro Volta'nın elektrik pilini icat edişi sağladı. Volta, az ölçüde asidik bir sıvı emdirilmiş bir kumaşla birbirinden ayrılmış ve iki elektrik teliyle birbirine

bağlanmış çinko ve gümüş levhaların elektrik ürettiğini gösterdi. Bu elektriği kolayca gösterebiliriz, bunun için iki teli bir ipe asılmış iki küçük bilyeye bağlamak yeterli olur. Gerçekten de iki bilye o anda birbirlerini çekerler. Tersine iki bilyeyi pilin aynı çıkışına bağlarsak, bu iki bilye birbirini iter.

Artı ve eksi olmak üzere bu iki elektriğin varlığının kanıtını Benjamin Franklin zaten vermişti. Elektrometrenin, yani elektrik tarafından yaratılan gücü ölçmeye yarayan aletin ilkesi de bu deneyde yatar: bunu bulmak için, iki ipin sapma açılarını ölçeceğiz (Bkz. Şekil 6.1).



Şekil 6.1
Elektrometrenin ilkesi.
Birbirinin aynı metal bilyelere bağlanmış iki ip olsun. Bu iki bilyeyi pozitif ya da negatif pil uçlarına bağlamamıza göre bunlar birbirlerini çeker ya da iterler.

Volta pilinin önemli özelliği, gittikçe daha "yoğun" elektrik üretmek için bunlardan bir dizi yapıp birbirlerine ekleme olanağıdır (buna seri bağlama denir).

Bu noktadan sonra elektrik üzerine incelemeler André-Marie Ampère'in, ama belki daha çok Michael Faraday'ın çalışmaları sayesinde hatırı sayılır bir sıçrama yaptı.

Michael Faraday

19. yüzyılın ortalarında, devlette ciltçi çırağı olarak çalışan ve Davy'nin Kraliyet Enstitüsü'nde işe aldığı, bilimsel eğitimden yoksun, her fizikçinin bilmesi gereken matematiği kullanmaktan aciz bu adam, bilim tarihinin hem deneysel, hem de kuramsal en üstün bilimsel yapıtlarından birini gerçekleştirdi. Modern fiziğe, elektriği kavrayışımıza ve teknoloji devrimine kapıyı açan odur.

Önsel olarak, elektrik kavramı gizemlidir. Elektrikle yüklü iki madde parçası yüklerinin aynı ya da ters olmasına bağlı olarak birbirlerini iter ya da çekerler! Ne var ki bu ölçüt bunların birbirlerini çektikleri ya da ittikleri olgusunu dile getirmekten başka bir şey yapmıyor!

Bu özelliğin kökeni gerçekten de bir sır gibidir. Nedir elektrik yükü? Nereden gelir?

Elektrik yüklerinin karşılıklı eylemini işaretlerine göre belirleyen bu temel özellikten hareketle Faraday, katı cisimlerin iki sınıfa ayrılabileceğini ortaya koydu: elektriği iletenler, yani elektrik yüklerini aktaranlar (bir telin ucunu negatif –ya da pozitif– yüklersek, öbür ucu da aynı şekilde yüklenir); bunları iletken olarak adlandırırız, bir de elektriği geçirmeyen, yalıtkan olarak adlandırdıklarımız.

Bu ayırım temel önemdedir. Elektrik sisteminiz için bakır teller kullanılır, altın teller de kullanılabilirdi (ama pahalı olur), ama asla naylon değil! Naylon elektrik iletkeni değildir!

Bu noktadan sonra, elektriğin iş üretip üretemeyeceği sorusu soruldu.

Eğer biri pozitif, diğeri negatif yüklü iki plaka arasına pozitif elektrikle yüklü bir küçük parçacık yerleştirirsek, parçacık negatif plaka tarafından çekilir. Bu çekim öyledir ki parçacık negatif plakaya doğru ivmelenerek gidip ona yapışır. İvmelenme dediniz...

Demek ki parçacığı çeken elektrik, bir güç uygulamaya yetkindir. İki elektrik yükü arasındaki bu güç, matematiksel olarak yerçekimi gücünün benzeridir: iki elektrik yükünün çarpımıyla doğru, uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.[43] Bu Coulomb'un keşfettiği yasadır.

Eğer elektrik bir güç geliştiriyor ve bir yer değiştirmeye yol açıyorsa, bu bir iş yapabiliyor olmasındandır; demek ki nasıl *kimyasal enerji* ya da *mekanik enerji* varsa, bir *elektrik enerjisi* de vardır.

Aslında enerjiye ilişkin karşımıza çıkan tüm büyüklükler elektrikte de geçerlidir. *Elektriksel iş*, elektrik yükünün, hepimizin sezgisel olarak bildiği bir büyüklükle, *"voltaj"*, yani *elektrik potansiyeli farkıyla* çarpımıdır (110 volttan 220 volta geçeriz).

Elektrik potansiyeli farkının birimi volttur, bir türetmeyle, alışık olduğumuz "voltaj" adını almıştır.[44]

Güç olarak adlandırılan, *bir zaman birimindeki iştir*, bunu belirttik; birim zamanda aktarılan yük miktarına *elektrik akımının yeğinliği* adını veririz. Bunlara göre, demek ki elektriksel güç, basitçe, voltajın yeğinlikle çarpımına eşittir (P = V.I). Güç, vat ya da kilovat (1.000 vat) veya megavat (bir milyon vat) cinsinden ölçülür, yeğinlikse amperle ölçülür. Öyleyse, 1 vat = 1 volt x 1 amper.

Elektrik yükleri maddenin içerisinde, geçirgen denen maddelerde bile, elektrik yüklü iki plaka arasındaki boşlukta

43 Yine uzaklığın karesinin tersi yasası, yani etki alanı yasası.

44 Bu potansiyel, yükleri harekete geçirerek de gösterilebilir. Bu durumda voltaj, bir birim yük tarafından yapılan iştir.

hareket ettikleri kadar kolay hareket etmezler. Fizik dersinde hepimiz Om kanununu öğrendik. Bir geçirgenden geçen elektrik akımının yeğinliği, voltajın dirence bölümüne eşittir. Ünlü V = R.I formülü.

Elektrik akımıyla, dökülen bir akışkan arasında benzetme yapabiliriz. İki depoyu birbirine bağlayan bir borudaki bir akışkanı ele aldığımızda, depoların arasındaki düzey farkı ne derece büyükse ve borudaki direnç ne kadar düşükse, çeperlerdeki sürtünme ne kadar azsa vb., bu akışkan o kadar hızlı akar. Büyük bir direnç varsa akışkan zor geçer: çeperlere sürtünecek ve enerji kaybedecektir.

Elektrik için de durum aynıdır. Düzey farkı, voltajdır; akışkanın akma hızı, akımın yeğinliğidir. Bir elektrik akımının yaydığı güç, akımın yeğinliğinin karesine ve geçirgenin direncine bağlıdır.[45]

Eğer yayılan bu güç büyükse, elektrik telini ısıtacaktır: önce kırmızıya, sonra beyaza dönerek ışıklı bir hale bile gelebilir. Elektrik lambasının kaynağı budur.

Fiziğe daha uygun bir deyişle elektrik akımı, elektrik yüklerinin *dağılımındaki, voltaj* olarak belirtilen *simetrisizliği* kapatmak üzere bu yüklerin harekete geçmesidir.

Elektron

Burada keşifleri tarih sırasına koymuyoruz, çünkü bu gereksiz uzatmalara neden olurdu.

Bu nedenle biraz erken davranarak, atomların artı elektrik yüklü çekirdeklerden ve bunların çevresinde dönen eksi yük taşıyan çok küçük parçacıklardan, elektronlardan oluştuğunu söyleyelim. Elektronlar, elektrik akımının etmenleridir.

45 Bu kolayca kanıtlanır: V = R.I ve P = V.I olduğuna göre V'nin yerine kendi değerini koyalım: P = RI2.

Bir katı maddedeki atom çekirdekleri üç boyutlu simetri kurallarına uygun biçimde sabit konumlarda bulunurlar (kristaller için sözünü ettiğimiz üç boyutlu "boyalı kâğıt"). Elektronlarsa çekirdeğin çevresinde dönerler. Kimi maddelerde elektron-çekirdek bağları güçlüdür, elektronlar bağlı oldukları çekirdekten çok uzaklaşamazlar. Bu maddeler elektrik yükü yayamazlar. Bunlar yalıtkanlardır.

Buna karşılık, başka katılarda kimi elektronlar (çekirdeğe göre çok dışta) çekirdeğe zayıf olarak bağlıdırlar. Biraz hareket edebilirler... yükleriyle birlikte. Elektrik yüklerinin taşınmasına olanak veren bu maddeler elektrik iletkenleridir (bunlara kısaca iletken denir).

Elektrik, tüm maddelerde dengededir. Başka bir deyişle, artı ve eksi yükler genellikle birbirine yakındır, eşit miktardadır ve birbirlerini sıfırlarlar. Eğer bir eksi yük (elektron) bir yönde uzaklaşırsa o noktadaki dengeyi bozar ve bir anda yersiz bir artı yük ortaya çıkarır. Sanki bir artı yük elektronun ters yönüne göç etmiştir.

Elektrik akımı budur. Geçirgenin içinde elektronların her biri küçük bir yolculuk yapar (ve ne tuhaf ki oldukça yavaş yapar bunu, yaklaşık saniyede 1 milimetreden az bir hızla) ama adım adım diğer elektronları "iterler" – bir çizgiye dizilmiş toplardan bir uçtakine vurduğumuzda sarsıntının tüm toplara aktarılacağını biliyoruz (yine dalgalarla karşı karşıyayız...). Üstelik dalgalar yüklerden daha hızlıdır!

Artı yük bunun tersi yönde yol alır.

Elektrik akımının yayılma hızı, "dalga"nın[46] sarsıntı hareketidir ve bu çok hızlıdır.

Hareket eden elektronların sayısı ne kadar fazlaysa, akımın yeğinliği o kadar çoktur. Om yasasında gördüğümüz elektrik direnci bu hareketlere engel oluşturur; atom çekirdek-

46 Bu dalga, iletkenin dışında ışık hızıyla yayılan bir elektromanyetik dalgadır (ileride göreceğiz).

lerinin elektronlar üzerine uyguladığı ve bunların hareketini güçleştiren çekim kuvvetidir. Yer değiştiren elektronlar komşu atomlarla çarpışırlar ve bu çekim, yayılmayı etkileyen bu engel, dağılan ve iletkeni ısıtan bir enerji kaybıdır, Galilei'nin deneyindeki sürtünme gibi. Demek ki elektriğin iletilmesinde neredeyse hep bir kayıp vardır. Ancak...

Yalnızca Kurşun, Cıva, Tantal veya Kalay gibi bazı metaller çok düşük, mutlak sıfıra[47] yakın (– 273° santigrat yani 0° Kelvin) derecede soğutulduklarında elektrik akımına sıfır direnç gösterirler.

Bunlara *süper iletkenler* adı verilir. Süper iletken bir halkadan elektrik geçirilirse sonsuza dek döner. Enerji depolamak için mükemmel bir yöntem! Evet, ama çok düşük sıcaklıklar elde etmek için enerji harcamak, çok enerji harcamak gerekir ve sonuçta pek yararı da olmaz. Bundan on yıl kadar önce, mutlak sıfırdan çok daha yüksek sıcaklıklarda (+ 130° mutlak ya da Kelvin) süper iletken olan bileşikler keşfedildi. Bu çalışmalar büyük umut uyandırıyor. Ama gerekli sıcaklıklar hâlâ fazla soğuk ve fazla pahalı (enerji olarak, dolayısıyla para olarak), ama araştırmalar sürüyor, çünkü oda sıcaklığında süper iletken olabilen maddeler üretmeyi başarırsak, elektrik enerjisi depolamak için kusursuz bir yöntem elde etmiş oluruz.

Çünkü sorun burada: enerjiyi üretiyoruz, taşıyabiliyoruz, ama onu çabucak kullanmak gerekiyor, yoksa kayboluyor, dağılıp gidiyor...

Ama bunlar henüz çok uzak hayaller!

Manyetizma

Elektrik enerjisinin güzellikleri ne olursa olsun, onun elektrikten çok daha gizemli bir olguyla (göreceğimiz gibi, aynı

47 Bunu daha sonra tanımlayacağız.

özden bir olgu) ilişkisini keşfetmiş olmasaydık, bu enerji endüstrinin gelişmesi içinde bu derece önem kazanamazdı; manyetizmadan söz ediyorum.

Mıknatıslı taşların, bir başka deyişle doğal mıknatısların özellikleri uzun zamandır biliniyor. Yunanistan'da, Büyük Yunanistan'ın Magnezi kenti yakınlarında bu tür taşlardan bulunuyordu. Kimilerine göre, manyetizma adı buradan gelir. Bunun bir demir oksit minerali olduğunu biliyoruz: manyetit, Fe_3O_4. Bu taşların özellikleri, antik çağlarda (bilinen ilk inceleme Piramitlerden ve teoremden bildiğimiz Thales'e aittir), Yunanistan'da, Mısır'da ve özellikle Çin'de incelenmişti. Bu alanda Çin'in Avrupa'ya göre çok daha ileri olduğu anlaşılıyor.

Batı'da, manyetizmanın anlaşılmasında sonuç verici adım, 13. yüzyılda Pierre de Maricourt, ardından da Kraliçe I. Elizabet'in doktoru ve 1600'de birçoklarının modern deneysel fiziğin ilk yapıtlarından biri olarak gördükleri ünlü yapıtı *De Magnete*'yi yayınlayan William Gilbert tarafından atılmıştır.

Manyetizmanın birkaç basit ilkesini anımsayalım.

Mıknatıs, özelliği, demir tozunu ya da daha basitçe, terzinin iğnelerini çekmek olan bir nesnedir. Mıknatıslandırılmış bir çubuğun bir kuzey bir de güney kutbu vardır. Eğer iki mıknatısı yaklaştırırsak, kuzey kutuplar birbirini, güney kutuplar birbirini iter, ama kuzey kutuplar güney kutupları ve güneyler kuzeyleri çekerler. Zıtların çekimi.

Mıknatıslandırılmış küçük bir iğneyi yeryüzünde bir destek üzerine oturtursak, kuzey ucu aşağı yukarı coğrafi Kuzey Kutbu'nu[48] gösterir. Bu bir pusuladır.

48 Gerçekte manyetik kutup, yerkürenin dönüşüne göre belirlenen coğrafi kutba 1.300 km. uzaklıktadır. Mıknatıslanmış iğneyle coğrafi Kuzey Kutbu arasında herhangi bir yerde oluşan açıya *sapma* denir.
Bir diğer küçük incelik: belirttiğimiz gibi, karşıt işaretli kutuplar birbirlerini çektiklerinden, mıknatıslanmış iğnenin kuzey kutbu yerkürenin güney manyetik kutbu tarafından çekilir. Öyleyse, coğrafi Kuzey Kutbu'na yakın olan, yerkürenin manyetik güney kutbudur!

William Gilbert daha 1600'lerde, yerkürenin sanki merkezinde dev bir mıknatıs varmış gibi davrandığını anlamıştı. Mıknatıslanmış iğneyi yönlendiren bu mıknatıstır, pusulanın açıklaması budur.

Pusula hangi tarihte icat edildi?

Çinlilerin bunu yaklaşık iki bin yıl önce bildikleri anlaşılıyor, ama bunu denizcilikte kullanmaları çok daha sonradır (M.S. 850-1050 arasında). Pusulanın Avrupa'ya girişiyse ancak 1190'da Alexandre Neckham[49] tarafından sağlanmıştır.

Çinlilerin coğrafi kutupla manyetik kutup arasındaki aralığı, yani sapmayı da M.S. 9. yüzyılda keşfettikleri ve 11. yüzyılda mıknatısların birçok özelliğini anlamış oldukları görülüyor.

Ama deneyimize geri dönelim. Mıknatıslanmış bir çubuğu, kuzey kutbu tarafındaki kısmını güney kutbu tarafındakinden ayırmak amacıyla ikiye bölersek, bu boşuna bir çaba olur. Bu biçimde oluşan çubukların her birinde yeniden bir kuzey ve bir güney kutbu belirir.

Her bir çubuğu yeniden kesersek yine aynı şey olur ve bu sonsuza dek böyle gider.

Kuzey kutbu güney kutbundan ayrılmaz, biri olmadan öteki var olmaz. Fizikçiler tek manyetik kutupları onlarca yıl aradılar... ve doğal olarak, başaramadılar! Zaten Pierre de Maricourt bu olguyu 13. yüzyılda açığa çıkartmıştı!

Mıknatısların diğer temel özelliği: eğer bunları belli bir sıcaklığa kadar ısıtırsak mıknatıslıklarını ansızın kaybederler. Bu sıcaklığa Curie sıcaklığı adı verilir, çünkü Batı'da bunu anlayan ve ayrıntılı olarak inceleyenler, 19. yüzyıl sonunda Pierre Curie ve kardeşi Jacques oldu.

Aslında Çinlilerin bu olguyu daha 11. yüzyılda ve Pierre de Maricourt'un 13. yüzyılda saptadıkları anlaşılıyor!

49 *Quand la Chine nous précédait* (Çin bizden ileriyken), Robet K. G. Temple, Bordas, 1987.

Kuşkusuz bunların yanında bir de, günün birinde hepimizi şaşırtmış olan bir deney var.

Bir kâğıt yaprağının altında bir mıknatıs. Kâğıdın üzerinde demir tozu. Kâğıda hafifçe vuruyoruz ve demir tozları şu çok tipik "çift kulak" biçimini çizerek Kuzey Kutbu'ndan Güney Kutbu'na giden çizgileri oluşturuyor (Bkz. Şekil 6.2).

Bu deneyi şu benzersiz ama tanınmamış Pierre de Maricourt 13. yüzyılda yapmış, 16. yüzyılda Gilbert bunu yinelemişti; daha önce 10. ya da 11. yüzyılda Çinliler de bunu yapmış olmalılar.

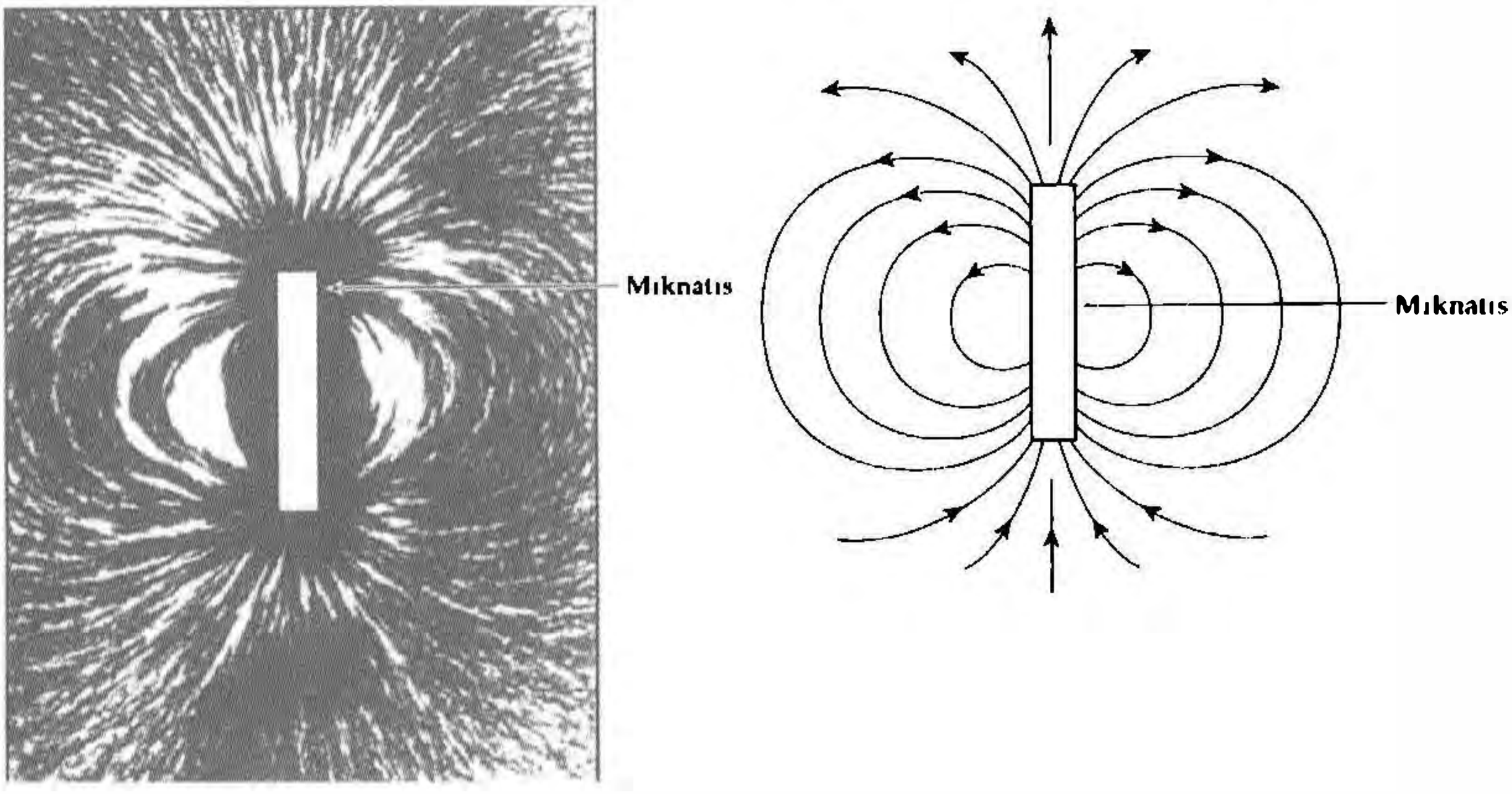
Bu deney etkileyici olmasının yanında özellikle temel niteliktedir, çünkü dâhi Faraday'ın Batı'ya tanıttığı *kuvvet alanı kavramı*na kapıyı açan odur (bunu da Çinliler çok önceleri keşfetmiş ve kullanıma koymuştu).

Kuvvet alanı

Faraday, mıknatıs ve demir tozu deneyini yineleyerek şu düşünceyi geliştirecektir:

Demir tozlarının kıvrımlarını bir kalemle kâğıda çizelim, ardından demir tozlarını kaldıralım. Kâğıdın çeşitli yerlerinde hazır duran, maddesel olmayan ama bu yüzden daha az gerçek de olmayan, olanak bulduğunda her an etkinleşebilecek bir potansiyel güç bulunur.

Örneğin, küçük bir demir iğne alır ve onu kâğıdımın üzerine, mıknatıs hep altta aynı yerde durmak üzere yerleştirirsem, iğne çizilen çizgiler doğrultusunda yönlenecektir. Bu, maddesel olmasa da, gücün orada hazır bulunduğunu kanıtlar. Mıknatıs, uzayı maddi olmayan bir güçle doldurur (aslında uzayın tümünde bir güç alanı oluşturur).



Şekil 6.2

a) Manyetik alanın ne olduğunu göstermeye yarayan klasik deney. Çubuk biçimindeki bir mıknatısın üzerine bir kâğıt konur ve kâğıdın üzerine demir tozu serpilir. Bu tozlar burada gösterilen şekli çizerler.

b) Demir tozlarının çizdiği çizgileri çizdik ve mıknatısı bıraktık. Bu çizgiler güç alanının çizgileridir.
Kâğıdın herhangi bir yerine bir dikiş iğnesi koyarsak, alanı gösteren okların doğrultusunda gider.

Doğal olarak, manyetizmanın kuralları uyarınca, mıknatıstan uzaklaştığımızda bu güç azalacaktır (bu kez uzaklığın küpüyle ters orantılı olarak).

Bu durumda Michael Faraday şunu düşünür: peki neden bu elektrik alanı düşüncesini elektrik yüklerine uygulamayalım?

Gerçekten de, bir elektrik yükünün çevresinde, içerisine konacak her türlü elektrik yüküne etki edebilecek bir güç alanı bulunuyor olmalıdır. Güç çizgileri yüke göre simetrik olmalı ve yeğinlikleri yükten uzaklaştıkça azalmalıdır (uzaklığın karesinin tersi yasasına göre). Bir noktaya bir elektrik yükü koyduğumuzda, bu güçlerin kendilerini gösterdiğini görürüz. Güç etkinleşmiştir. Eğer yerleştirilen yük, merkezdeki yükle aynı işaretliyse bir itişle karşılaşırız. Ters işaretlilerse birbirlerini çekeceklerdir.

Bu noktadan hareketle Michael Faraday, çift kutbun, yani aralarında belirli (küçük) bir uzaklık bulunan bir artı ve bir eksi yükün oluşturduğu elektrik alanı üzerine düşünecektir (Bkz. Şekil 6.3). Evet işte, alan çizgileri bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alan çizgilerine çok benziyor. Mıknatısta olduğu gibi, alan çizgilerinin bulunduğu kısma bir elektrik yükü (elektrik yüklü bir parçacık) etkin olarak yerleştirildiği anda bunlar belirecektir. Buna daha sonra dönmemek için hemen ekleyelim, bizim kâğıt yaprağı üzerinde gördüğümüz, iki boyut üzerinde bir sadeleştirmedir ve gerçekte güç çizgileri uzayın üç boyutunda gerçekleşirler.

Faraday'ın manyetizma ve elektrik için geliştirdiği bu alan kavramı, kuşkusuz, başka fizik olaylarını da kapsayacak biçimde genişletilebilir.

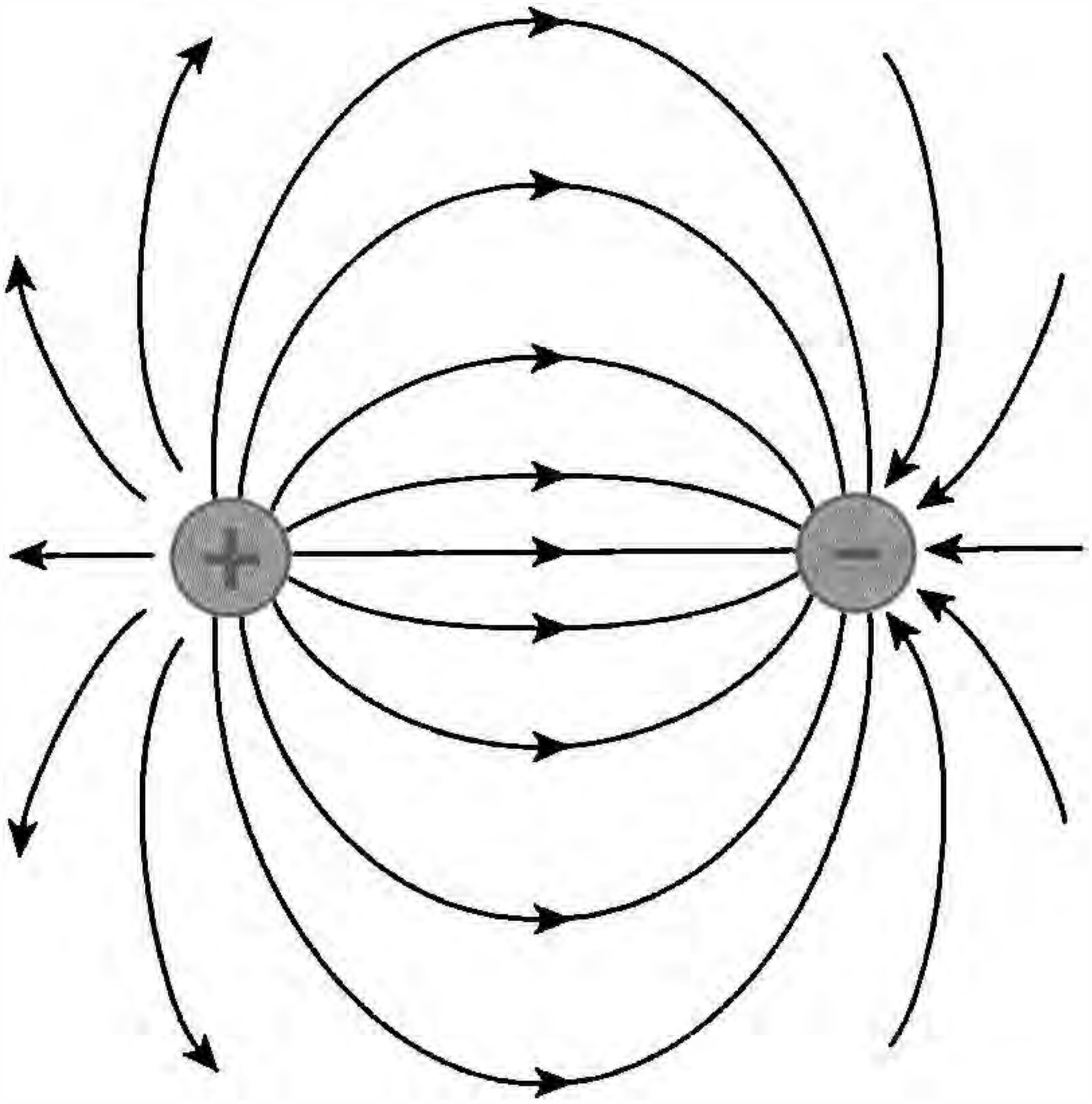
Uzaktan etkili başka bir güç olarak en basiti ve ilk akla geleni, kuşkusuz, kütle çekimidir, Newton'ın evrensel yasasıdır. Kütlesi olan bir nesnenin çevresinde bir çekim alanı tanımlanabilir, yani bu alan içerisine yerleştirilecek bir birim kütleye yerçekiminin uyguladığı çekim değerlerine göre saptanıp belirlenecek bir uzam.

Ama bu kuvvet alanı düşüncesi başka bir biçimde de anlatılabilir: potansiyel enerji düşüncesine ya da daha genel olarak potansiyel düşüncesine başvuruyla.

Alanın güç çizgilerini çizmek yerine, güç üretebilecek enerjinin sabit olarak bulunduğu yüzeyleri gösterebiliriz (buna *en iyi benzetme* suyun bir yüzey üzerinde akışındaki eşit yüksekliklerdeki eğrilerdir).

Bu yüzeylerde bir gücül enerji depolanması vardır: bir güç alanı, aynı zamanda bir potansiyel alanıdır.

Bunda tuhaf bir yan var: bu alan hem gücüldür, çünkü ancak içerisine bir yük verilirse (elektrik potansiyeli için) ya da kütle konursa (kütle çekim potansiyeli için) kendisini gösterir; aynı anda da gerçektir, oradadır, potansiyel olarak



Şekil 6.3
Mıknatısa benzer biçimde, bir artı ve bir eksi elektrik yükünü yan yana koyarsak, çift kutup alanı adı verilen bir elektrik alanı çizebiliriz.

etkindir. Yalnızca kendisini göstermeyi bekler. İşte uzaktaki güçlerin büyük gizemi burada.

Bizse burada, olanağını bulurlarsa bizi etkileyecek, şu önemli özelliğe sahip çok sayıda alanın ortasında duruyoruz: aynı yapıdaki tüm alanlar birbirine eklenebilirdir. Yani eylemleri (güçleri) birbiriyle toplanır.

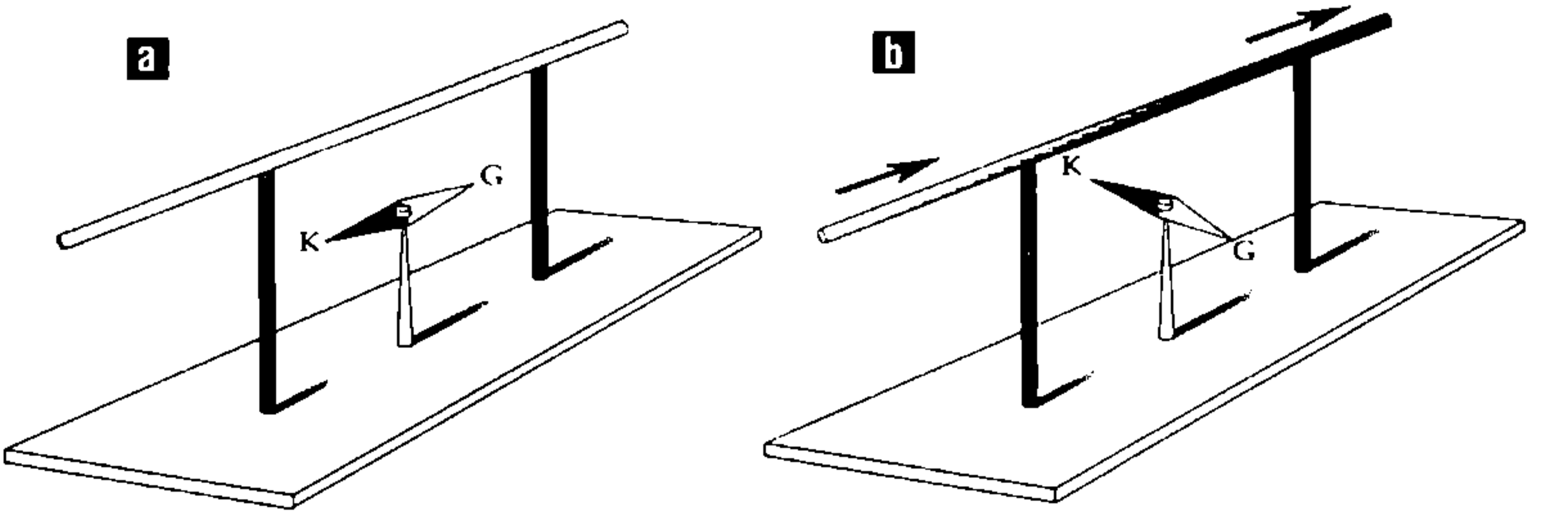
Toplam alan, tüm alanların vektöryel[50] toplamıdır.

Havuçlarla şalgamlar toplanmaz kuşkusuz. Kütle çekim alanları kütle çekim alanlarıyla, elektrik alanları elektrik alanlarıyla, manyetik alanlar manyetik alanlarla toplanır, ama bunlar birbirlerini karşılıklı etkileyebilirler...

50 Uzaydaki çeşitli yönelimler göz önüne alınıp birleştirilerek alınan toplam.

1820'de Hans Œrsted (1777-1851) adlı Danimarkalı bir fizikçi olağanüstü bir buluş yaptı.

Düşey bir elektrik telinden bir elektrik akımı geçirdiğinde bunun, yakınındaki yatay duran bir pusulayı saptırdığını gözlemledi (Bkz. Şekil 6.4).



Şekil 6.4
Œrsted'in temellendirici deneyi.
Bir pusula, bir elektrik teli; telden elektrik geçiriliyor ve mıknatıslı iğne tele dik olarak yönleniyor.

Elektrik akımı mıknatısa etki eder. Demek ki elektrik akımının kendisi bir manyetik alan yaratır. Bu manyetik alanın kuvvet çizgileri, merkezleri telin üzerinde olan dairelerdir.

Doğal olarak, bunun tersi de sorulur: bir mıknatıs, üzerinden elektrik geçen bir tele etki eder mi? Yanıt yine olumludur.

Eğer biraz "güçlü" bir mıknatısı üzerinden elektrik geçen bir tele yaklaştırırsak, tel hareket eder.

Tele etki eden gücün yönünü, mıknatısın ve telin yönüne göre belirleyen kesin kurallar vardır. Öyleyse elektrikle manyetizma birbirini karşılıklı etkiler.

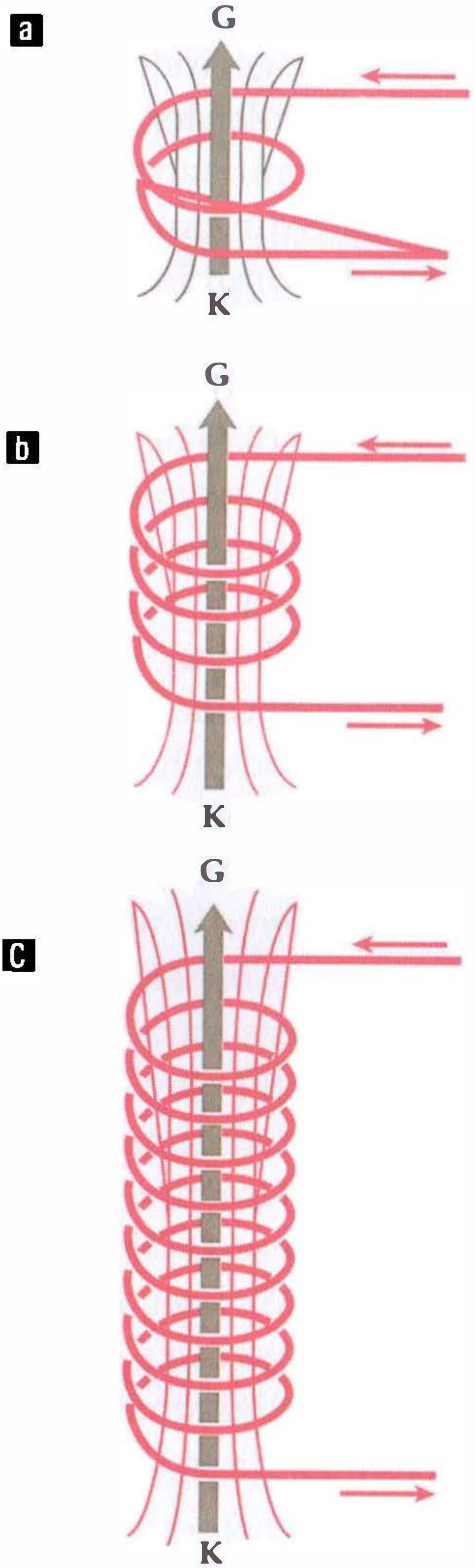
Ama üçüncü bir deney var ki daha da şaşırtıcıdır: birbirine paralel iki telden elektrik geçirelim. Akımlar aynı yöndeyse teller birbirini çeker. Akımlar ters yöndeyse teller birbirini iter. Elektrik akımları birer mıknatıstır!

Sonuçlandırıcı deneylerdir bunlar, çünkü dünyanın geçirdiği ikinci endüstri devriminin kökeninde bunlar yatar. Üzerinden akım geçen bir elektrik teli düşünelim, ama halka şeklinde olsun. Halkanın yarattığı manyetik alan, bir kuzey kutbu ve bir de güney kutbu olan bir mıknatısınkine benzeyecektir (Bkz. Şekil 6.5). Eğer teli birçok kat sararak bilim dilinde solenoid deneni oluşturursak gerçek bir mıknatıs yapmış oluruz, ama güçlü bir mıknatıs olur bu. Bobine ne kadar çok kat sarılmışsa alan o kadar güçlü olur.

Bu dört deneye, aynı derecede gizemli ve şaşırtıcı bir beşincisini eklemek gerekir. İçinden hiçbir akım geçirmediğimiz bir tel alalım. Teli bir mıknatısa yaklaştıracak olursak ondan bir elektrik akımı geçtiğini görürüz. Burada devre kapalıdır. Böylece, *etkin durumdaki manyetik* alanların kendileri de bir elektrik akımı ve dolayısıyla bir elektrik alanı yaratabilirler. Bu elektrik alanı bir mıknatıs yaratır, ama manyetik alanın kendisi de bir akım yaratır. İki olay karşılıklı etkileşir ve birbirini etkiler. Bu, *indükleme* dediğimiz olaydır.

Elektromanyetizmanın temelini atan bu beş deneyi bir yandan André-Marie Ampère (1775-1836), diğer yandan da 1820-1840 yılları arasında Michael Faraday gerçekleştirdi.[51] Bundan, bu iki alanın, manyetik ve elektrik alanın karşılıklı etkileştiği, birbirini değiştirdiği ama her birinin kendi kimliğini koruduğu sonucuna vardılar. Özdeş değiller; birbirlerine çok yakından bağlılar.

51 Bir akımın yarattığı alanın keşfi çoğunlukla Ampère'e atfedilirken, indükleme olaylarının Faraday tarafından keşfedildiği söylenir. Gerçek durum bu kadar açık değil ve iki girişim büyük ölçüde iç içe geçmiştir.



Şekil 6.5
a) Bir akım halkası bir manyetik alan, yani bir mıknatıs yaratır.
b) Üç akım halkası ilkinin iki katı bir mıknatıs yaratır.
c) Akım halkalarının sayısı arttırılarak daha yoğun bir alan yaratılır.

Tüm bu deneylerin kuramsal olarak formüle dökülmesi, Ampère, Faraday ve sonradan gelip "parsayı toplayan" bir başkasının, Maxwell'in çalışmalarının üst üste konması sonucunda olmuştur.

André-Marie Ampère, Fransız, Politeknik Okulu'nda matematik profesörüydü, içedönük, suskun, insanlardan uzaktı. Œrsted'in ilk deneylerinden hemen sonra, temel ilkeyi o ortaya koydu. Mıknatıslar ve elektrik akımları aynı olaya bağlıdır. Buna göre, doğal mıknatısların, iletkenlerdeki elektrik akımlarında olduğu gibi, manyetik alanlar oluşturan birtakım küçük elektrik akımlarını kendi içlerinde taşıdıklarını düşündü. Her iki durumda da elektrik yüklerinin akımları söz konusudur, ama bunlardan bir kısmı maddenin içinde gezinmektedir. Manyetik alanlar ancak hareket halindeki elektrik yükleri tarafından yaratılırlar. Durgun durumdaki elektrik yükleri ancak elektrik alanları oluştururlar. Hareket halindeki elektrik yükleri elektrik alanları *ve* manyetik alanlar oluştururlar. Ampère, tüm bunları, Amper yasaları adı verilecek denklemlere döker.

İkincisi, Michael Faraday, en büyük fizik kuramcılarından biridir. Ancak matematiği kullanmaz. Bilimsel eğitimi olmadan kendini eğitmiş, üstün eğiticilik yeteneğine sahip bu kişinin fiziği herkesçe anlaşılır biçimde anlattığı halk konferansları tüm Londra'yı kendine çekiyordu. Salt mantıksal bir girişim sayesinde elektromanyetizmanın temellerini attı. Şaşırtıcı, hatta garip olan, bu eşsiz bilgin ve eğitimcinin ne bir çırağı, ne de bir öğrencisinin olmasıdır.

Son olarak, üçüncüsü, İskoç, Cambridge'de profesör olan James Clark Maxwell, diğer ikisinin çalışmalarının dâhiyane bir sentezini yaparken onlara olan saygısını ısrarla belirtecektir.

Maxwell, ahlakta olduğu gibi bilimde de büyük bir inceliğe sahipti. Dikkatli bir matematikçi olarak, öncellerinin tüm gözlemlerini (biz yalnızca en önemlilerinden birkaçını anımsattık) özetledi ve Ampère'in yazdığı denklemleri dört yeni denkleme indirdi: bugün bunlara Maxwell denklemleri deriz. Bunlar açık, kesin, öz ve şıktır.

Elektrik alanlarının ve manyetik alanların özellikleri iki ayrı denklemle anlatılır.

Diğer iki denklem Ampère ve Faraday'ın sezinledikleri ya da gördükleri biçimiyle iki alanın, elektrik ve manyetik alanların etkileşimini anlatır (tartışmasız en ilginç kısmı da bu).

Bu denklemlerden çıkan önemli ve beklenmedik sonuç, *bir elektromanyetik ışımanın* varlığıdır. Maxwell'in özgün ve temel katkısı da budur.

Radyo

Ansızın bir akım oluşturursak (ya da bir akımın yeğinliğini değiştirirsek), bir manyetik alan yaratmış oluruz. Yaratılan bu alan telden kademeli olarak uzaklaşır, yavaş yavaş yayılır. Ama bu manyetik alanın kendisi de "ikincil" bir elektrik alanı oluşturur, bu alan da oluştuğu sırada telden uzaklaşacaktır. Bu yaratılmış olan "ikincil" elektrik alanı da yine bir manyetik alan oluşturur ve bu da yine bir elektrik alanı oluşturur ve böyle sürer. Böylece yavaş yavaş bir dalga yayılacaktır. Bunlar radyo alıcımızda yakaladığımız radyo dalgalarıdır. Verici, çok yoğun bir akım dalgalanmasıdır. Alıcı, bir zarı titreterek bu dalgaları duyulabilir bir sese dönüştüren araçtır.

Peki bu dalgalar hangi hızla yayılır?

Maxwell, Fizeau'nun ışık hızı için ölçtüğü değere yakın bir değer hesapladı.

Tam o anda aklında bir ışık çakıverdi: *"Eğer dalgalar ışık hızıyla yayılıyorsa bu rastlantı değildir, ışığın kendisi de bir elektromanyetik dalgadır."*

İşte ışığın dalgalı yapısının açıklaması bu, dedi Maxwell kendi kendine: ışık, ses gibi mekanik bir titreşim değildir, kendisini ortaya çıkaran elektrik ve manyetik alanların yayılmaları nedeniyle yayılan bir titreşimdir.

Önceleri, Huygens'in çok tuttuğu, her yeri (boşluğu bile) dolduran ve göremediğimiz imgesel bir ortam olan etere yeniden geçerlilik tanır; ardından eteri bırakır ve bu dalgaların her yerde, boşlukta bile dağıldığını kabul eder.

Bugün mekanik, görelilik ya da kuantum mekaniğiyle birlikte en iyi tamamlanmış fizik yapıtlarından biri olarak kabul edilen bu hayranlık uyandırıcı çalışma, olduğu gibi hemen o anda kabul görmedi.

Etrafında birçok kuşku dolaşıyordu. Şu değişen elektrik akımlarının dalgalar yaydığı düşüncesi pek kuşkulu görünüyordu. Bunlar nerede görülmüştü? Neredeydiler?

Bunun deneysel ispatını Ekim 1886'da, Maxwell'in ölümünden (kırk dokuz yaşında kanserden öldü) yedi yıl sonra bir Alman, Heinrich Hertz (1857-1894) yaptı.

Kıvılcımlar üreten bir elektriksel çift kutup (verici) yardımıyla, birkaç metre uzaklıktaki bir halkada (alıcı) bir elektrik akımı doğurdu. Bundan sonra alıcı halkayı adım adım uzaklaştırdı: "alınan" elektrik gittikçe zayıflıyordu. Hertz, Maxwell'in o ünlü dalgalarının üretilebileceğini, havada ilerletilebileceğini (boşlukta bile) ve minik bir elektrik akımı biçiminde somutlaştırılarak uzaktan alınabileceğini kanıtlamıştı.

Deney her zaman haklıdır ve bu radyo dalgalarını bugün "Maxwell dalgaları" diye değil de "Hertz dalgaları" diye adlandırmamız hakçadır. Ama yine de belirtmek gerekir ki Maxwell bunları kendi denklemlerinden çıkarmış ve keşfedilmelerinden önce öngörmüştü.

Bununla birlikte, adil olmak için başarı sıralamasını tam olarak yazmamız gerekir: Œrsted (kısa ama önemli bir çalışma), Ampère ve Faraday, Maxwell ve Hertz. İşte destan. Kahramanların her biri kendi açısından önemli bir rol oynamıştır.

Bu başrol oyuncularının büyük kısmı, birbirlerinin çağdaşı ve birbirlerinin hayranı insanlardı. Bu onları kendi özgünlüklerini ortaya koymaktan alıkoymadı. Michael Faraday'ın James Maxwell'e yazdığı ve pek çok modern fizikçinin kimi kuramcılara yazabileceği türden bir mektup bunu gösteriyor:

"Size sormak istediğim bir şey var. Fiziksel eylemlerin ve sonuçların incelemesine girişmiş bir matematikçi bulgularına vardığında, bu bulgular gündelik dille de matematiksel formüllerdeki kadar eksiksiz, açık ve kesin olarak anlatılamaz mı? Evetse, böyle hiyerogliflerinden başka bir dile çevrilmiş olarak, üzerlerinde deneylerle çalışabileceğimiz biçimde anlatılması, benim gibileri için bir fırsat olmaz mı? Bence böyle olmalı, çünkü bana vargılarınız hakkında son derece açıkça bilgi verdiğinizi düşünmüşümdür hep; bunlar zihinsel sürecinizin aşamalarını tam olarak anlamama olanak vermiyorsa da, bana bunların sonuçlarını gerçeğin ne ötesinde, ne de gerisinde veriyor ve öylesine açıkça veriyor ki bunlardan hareketle düşünebiliyor ve çalışabiliyorum. Bu olanaklı değilse, bu konular üzerinde çalışan matematikçiler sonuçlarını kendilerine özgü biçimlerinin yanında bir de bu kullanışlı, yararlı ve halk için olan biçimde verseler iyi olmaz mı?"

Işık ve enerji

Maxwell denklemleri yardımıyla ışıkla enerji arasındaki o ünlü ilişkiyi de anlayabiliriz. Işık, elektromanyetik enerji taşır; bu nedenle, ışık bir cismi aydınlattığında onu doğrudan, aracısız ısıtır.

Burada, elektrik ve manyetik alanlarla taşınan enerji söz konusudur.

Böylece ışığın enerjisi, titreşimiyle etki ettiği nesneye aktarılmış olur (bu enerjinin nereden geldiğini daha sonra göreceğiz). Bu titreşim maddeye ulaştığında onunla karşılıklı etkileşir, onu da titretir ve ısıtır. İşte ışık enerjiyi böyle taşır ve ateş bile yakabilir.

Bu konuda, bugün François Mitterrand'ın adını taşıyan Bibliothèque de France binasının yapımıyla ilgili küçük bir anımı anlatmadan geçemeyeceğim. Jacques Attali'nin tasarladığı bu projeyi gerçekleştirmek için bir mimarlık yarışması yapıldı ve maketlerin incelenmesinden sonra François Mitterrand mimar Dominique Perrault'nun projesini seçti.

Bu projenin kapsamında bugün gördüğümüz dört devasa cam kule vardı.

O dönemde Milli Kütüphane'nin yöneticisi olan Emmanuel Le Roy Ladurie'nin, cam duvarlar arkasına kitaplar depolamanın uygun olmadığını belirtmesi çok zaman almadı. Buna karşılık mimar her türlü önlemi aldığını, kulede havalandırma olacağını söyledi.

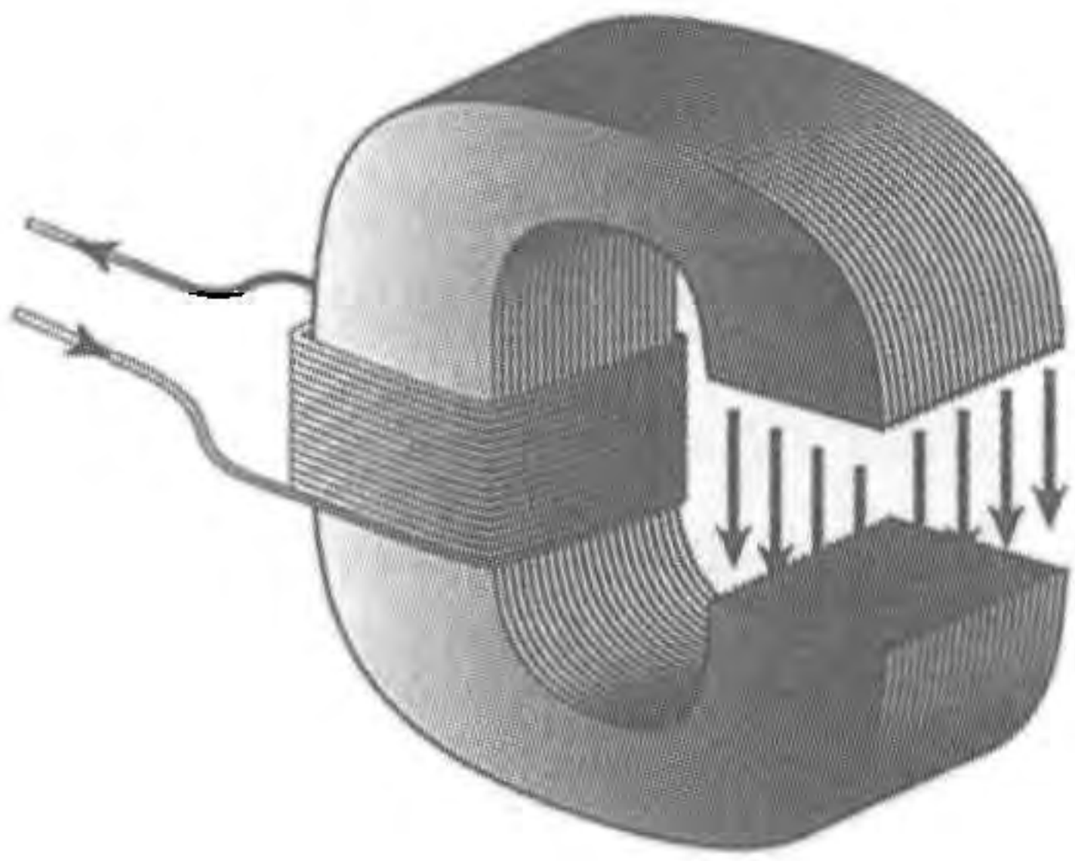
Fizikçiler meselenin bu olmadığını, ışığın ışıma yoluyla doğrudan enerji taşıdığını, dolayısıyla mekân havalandırmalı bile olsa kitapları ısıtacağını ona anlatmaya çalıştılar...

Mimar vazgeçmiyor ve camlarını saydam istiyordu! Aradaki olayları atlıyorum.

Sonucu bugün görebilirsiniz. Saydam camların arkalarına koyu renk tahtadan yapılmış yönlendirilebilir levhalar koymak zorunda kalındı... Gördüğünüz estetik sonuçla!

Demek ki ışık ısı taşıyorsa, bu bir *elektromanyetik enerji*dir.

a



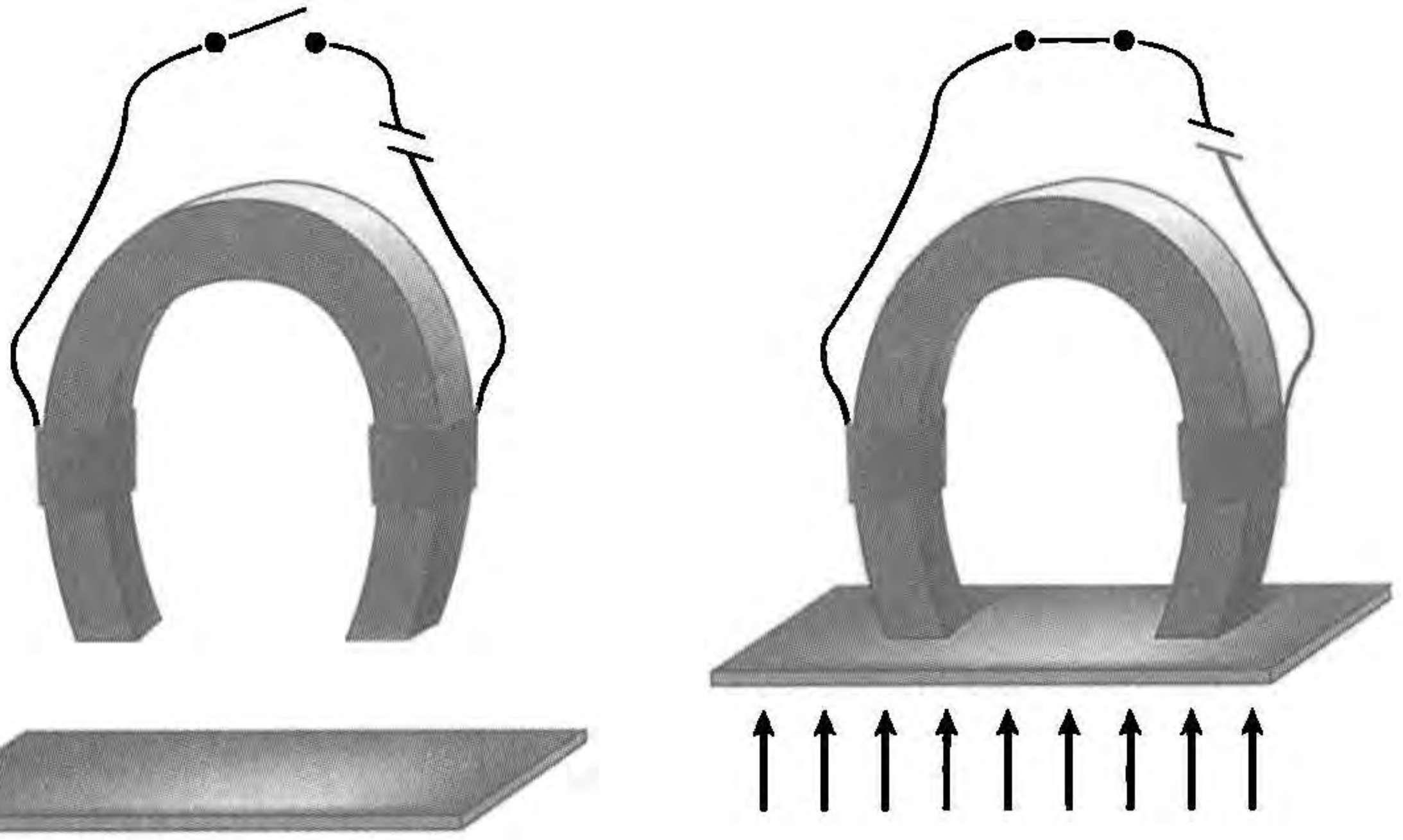
K

G

b

Açık devre

Kapalı devre



Şekil 6.6

a) Elektromıknatıs, bir demir parçasının etrafına birçok halka oluşturacak biçimde elektrik telleri sarılıp bu demirin eğilmesiyle oluşur. Telden bir akım geçirdiğimizde iki metal ağız arasında bir manyetik alan yaratırız.

b) Bununla metal parçalarını, çok ağırlarını bile kaldırabiliriz.

İki ünlü alıntıyla başlayalım.

Biri Michael Faraday'dan; İngiliz Başbakanı Gladstone ona sorar: "Tüm bu buluşlarınız neye yarayacak?" (Bugünkü siyasilerimizin yadsımayacağı ve sormanın haksızca olmadığı bir soru.)

Faraday yanıtlar: "Merak buyurmayınız Sayın Başbakan, tüm bunlardan yakında vergi toplayabileceksiniz!"

İkincisi Lenin'in ünlü sözüdür: "Komünizm, Sovyetler artı elektriktir." İlkinin ikincisinden daha çabuk kabul gördüğü söylenir...

Evet, tüm bunlar iyi kabul gördü: elektrik 20. yüzyılda endüstriyel gelişmenin anahtarı oldu ve Yeni Dünya'nın ekonomik egemenliğini sağladı.

Çünkü elektriğin destanı, özünde olağanüstü olduğu gibi, endüstriyel gelişmenin de temeli oldu.

Temel bir keşif, *elektromıknatısların* keşfiydi.

"Mantar burgusu" biçimindeki bir elektrik telinin bir mıknatısa eşdeğer olduğunu söylemiştik. Ama olağanüstü olan şu ki bir elektrik telini bir çelik ya da yumuşak demir parçasının etrafına sarar ve içerisinden elektrik geçirirsek, çelik çubuğun kuzey ve güney kutuplarıyla donanmış güçlü bir mıknatısa dönüştüğünü görürüz. Yüksek bir indükleme olayı ile karşı karşıyayız: elektrik akımı bir manyetik alan oluşturdu; bu manyetik alan da yumuşak demirde bir manyetik alan doğurarak onu böyle mıknatıslaştırdı.

Eğer demir çubuğu bükersek, kuzey ve güney kutuplar arasında dar bir alan (hava aralığı) yaratırız (Bkz. Şekil 6.6). Bu aralıkta *yeğin bir manyetik alan* hüküm sürer; bu alanı birçok biçimde, örneğin ağırlıklar kaldırmak (ve elektriği kesmekle de kolayca indirmek) için kullanabiliriz.

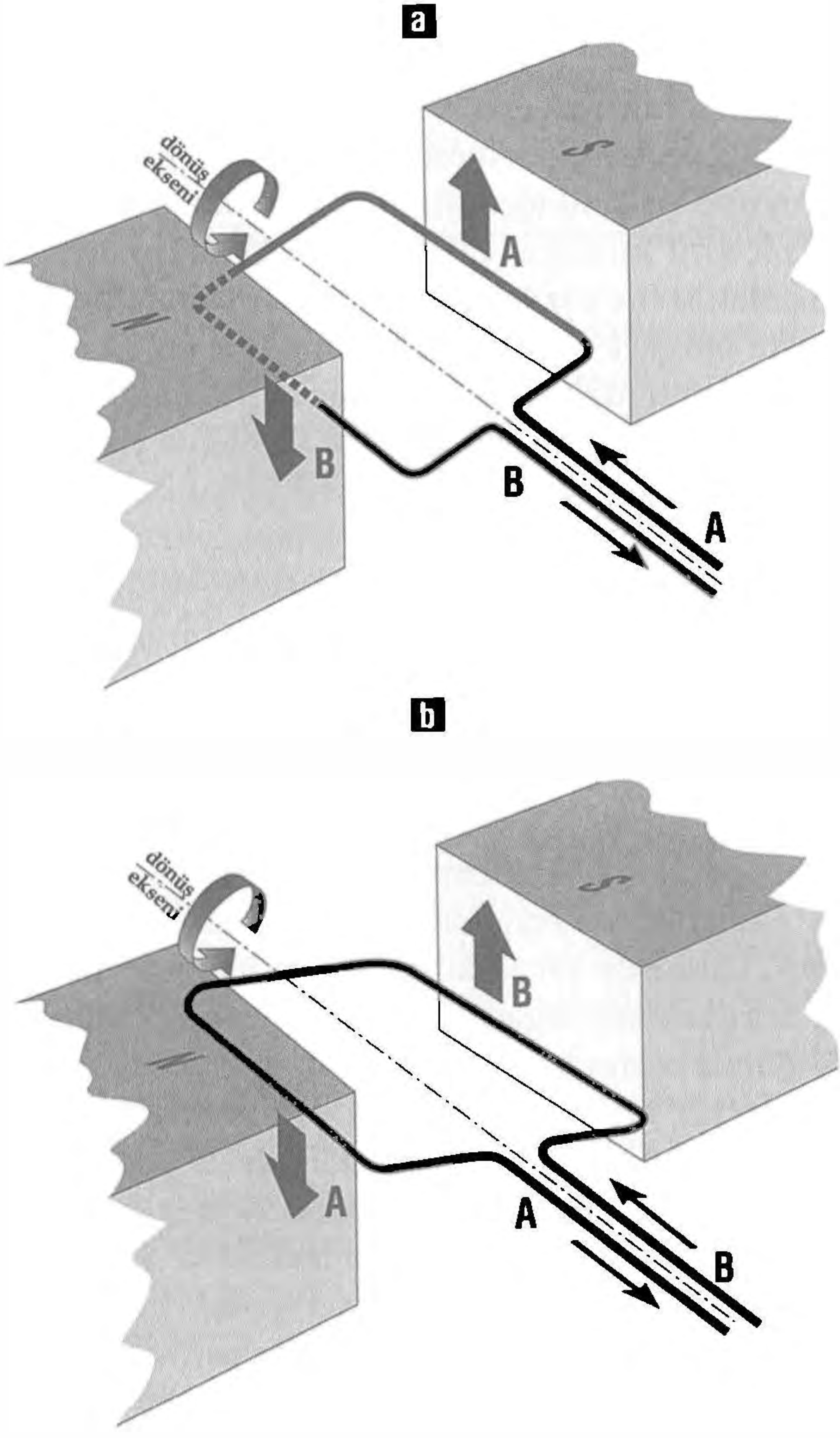
Bu deneyimden hareketle bir elektrik motoru yapmak artık yalnızca zaman sorunuydu. Bu noktaya gelene dek elektrikte, elektriğin incelenmesinde, özellikle de kullanımında, jeneratörlerin gücünün zayıf olmasından dolayı çok zorluk çekilmişti. Önceleri, kedi derisine sürtünen süpürgeler taşıyan bir tür tekerlekler kullanılmıştı. Elde edilen elektrik hiç de yeğin değildi. Ardından Volta ve pili ortaya çıktı. Bununla işler belirgin derecede daha iyi gitti; özellikle, daha önce belirttiğimiz gibi birbirleriyle toplanabilen, 300 ya da 1.000 ünitelik piller yapmaya yetecek para varsa. Zaten Paris'ten Marsilya'ya Volta pilleriyle üretilmiş elektrik göndermeyi düşünmüyorsunuz herhalde!

Kısacası elektrik, laboratuvar kapsamında kalıyordu. Faraday'ın elektrik motorunu keşfinden sonra durum çok değişecektir.

Üzerine elektrik telleri sarılmış bir çerçeveyi bir mıknatısın hava boşluğunda döndürdüğümüzü düşünelim. Çerçevede bir elektrik akımı üretiriz (Bkz. Şekil 6.7). Bu dönüş sırasında üretilen akım her yarı dönüşte bir yön değiştirecektir, çünkü üretilen alanlar tersine dönecektir. Bir akım jeneratörü yaratmış oluruz, ama yüklerinin hareketi kiminde bir yönde, kiminde tersi yönde hareket eden bir alternatif akım jeneratörü olur bu.

Ustaca bir mekanik düzenekle, çerçeveden çıkan tellerin dış devreyle bağını her yarı turda bir tersine çevirirsek, bir doğru elektrik akımı üretiriz; ama süreci bir alternatif akım üretmeye de bırakabiliriz.

Elektrik motoru da bir manyetik alanda dönen bir elektrik bobinidir!



Şekil 6.7
Üzerine tel sarılmış bir çerçeveyi döndürdüğümüzde, elektrik akımını gösterilen yönde alırız, yani her yarım dönüşte bir yön değiştirir.

Bu noktadan sonra, modern tarihin en eşsiz teknik ve kapitalist savaşı cereyan edecektir. Alternatif akıma karşı doğru akım.

Bu oyunun ilk aktörü Amerikalı Edison'du (1847-1931). Derste çok soru sorduğu için fen hocaları tarafından okuldan atıldığı anlatılır (ne yazık ki bu tehlikeyle karşılaşabilecek pek az Fransız öğrenci var; genç yaştan başlayarak onları buna teşvik ediyor muyuz ki?) On iki yaşında boş kalınca, o sıralarda ABD'de hızlı bir gelişme yaşayan trenlerde gazete satarak ilk işini kurar. Aynı zamanda bilime tutku derecesinde ilgi duyuyor ve Faraday ve Maxwell'in kitaplarını okuyordu.

1880'de, boş bir ampul içine yerleştirdiği bir karbon telinden (yani yüksek dirençten) alçak basınçlı bir akım geçirerek pratik elektrik lambasını[52] icat etti.

Elektrik ampulünün destanı neredeyse bir yüzyıl sürecektir. Bu dâhiyane buluşun kabul görmesi zaman alacaktır.

1811'de Humphry Davy, birbirine yaklaştırdığı iki kömür parçası arasında ışıklı kıvılcımlar oluşturmayı başarmıştı. Yüzyılın ortasına doğru Léon Foucault (sarkacın Foucault'su, yine o!), yanma süresince yanan kömürün yerine yenisinin konarak ışıltının korunmasını sağlayan sarkaç yapılı bir düzenek düşünmüştü. Bunun ardından, aydınlatmak için düşük bir elektrik direnciyle, yani yüksek bir yeğinlikle çalışan, dolayısıyla tehlike yaratan bir lamba icat edilmişti. 1880'de durum böyleydi.

Buna paralel olarak gaz lambası ortaya çıkmış, eski mumun yerini almıştı: kentlerde gaz lambaları yaygınlaşmıştı. Kısacası, elektriğin aydınlatma aracı olarak kullanımı sınırlıydı ve güçlü bir rekabetle karşı karşıyaydı.

Eski filmlerde gördüğümüz, 20. yüzyıl başı kentlerindeki sokak lambalarını anımsayın.

52 Bunu aynı dönemde Sir Joseph Swan da icat etti, ama daha az başarı kazandı.

Edison, 110 voltluk doğru akımla çalışan akkor lambayı icat etti. Bu lambaların paralel[53] bağlanabilme avantajı vardı. Böylece bir lambayı söndürmek için tüm lambaları söndürmek gerekmiyordu (daha önceki lambalar seri olarak bağlanıyordu).

Binalar gitgide 110 voltluk enerji üreten elektrik motorları edinmeye başladılar.

Bu sıralarda, dönen solenoidler [bobinler] sayesinde üretimi daha kolaylaşan alternatif akımın özellikleri inceleniyor, bu alternatif akımın bir ampul içindeki telleri doğru akımın yaptığı kadar iyi akkorlaştırdığı gözlemleniyordu. Hareketli elektronlarla atom çekirdekleri arasındaki "elektriksel sürtünme" doğru akımda ve dönüşümlü gidip gelmede birbirinin aynıydı.

ABD'de alternatif akımın kullanımının savunucusu, genç bir Sırp göçmen olan Nicola Tesla'ydı (1856-1945).

Böylece doğru akımın yandaşlarıyla (Edison) alternatif akımın yandaşları arasında zorlu bir savaş başladı. Yatırımcı Westinghouse'u projelerine inandıran Tesla, tüm statik enerji ve ev aydınlatma biçimlerinin yerine elektriği koymayı önerdi.

Bunun için ölçek değiştirmek gerekiyordu. Westinghouse'un desteğiyle, Tesla ilk elektrik santrallarını yaptırmaya girişti.

Dönen motor ilkesinden hareketle, Niagara şelaleleri gibi büyük nehirlerin doğal düşüşlerini kullanan elektrik santralları inşa edildi. Bunlar yapıldığında 1895'e geliniyordu.

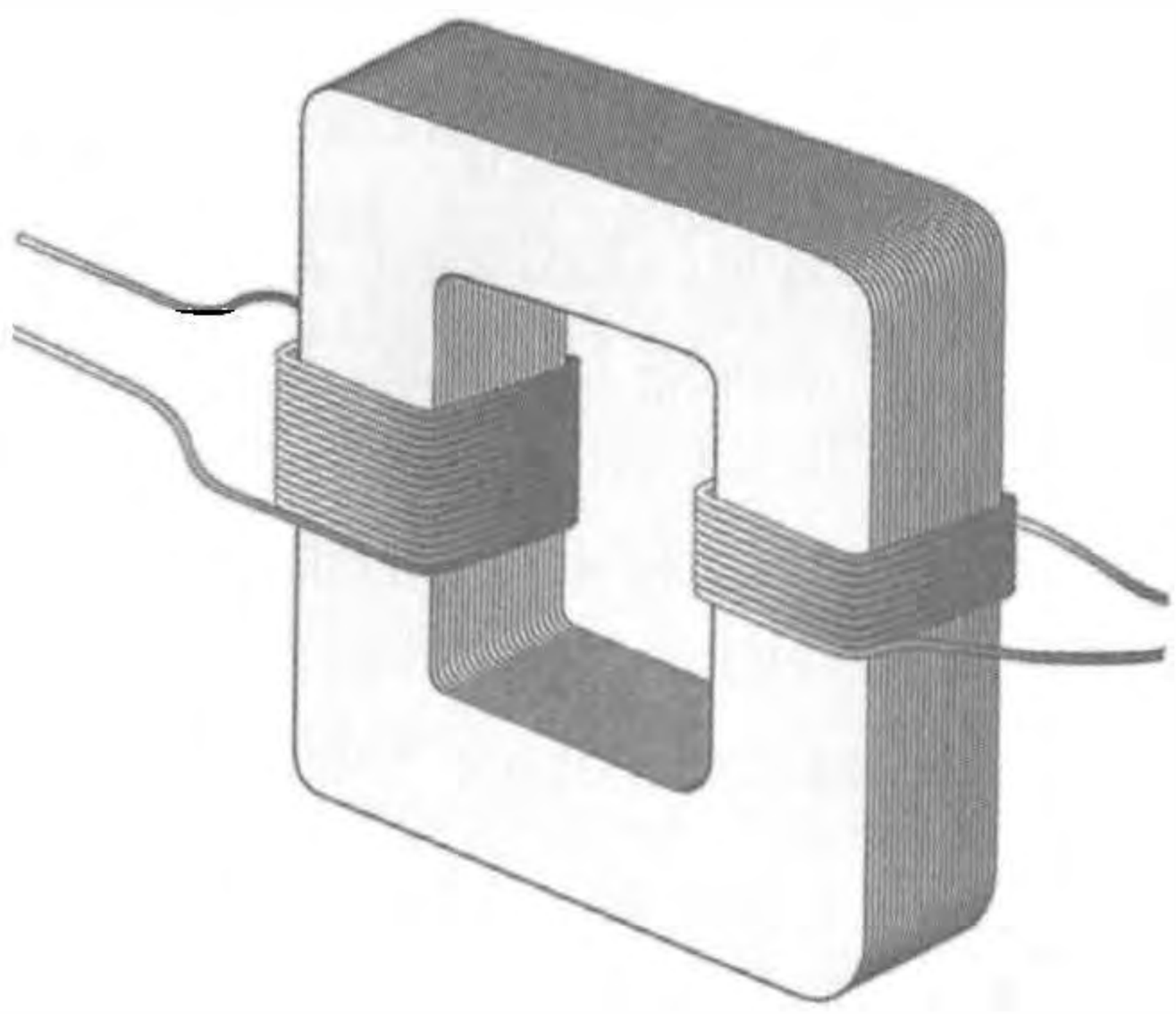
Karşılaşılan teknik problem çok yeniydi: artık büyük şehirlere ulaşmak için yüksek miktarlarda elektriği çok büyük uzaklıklara taşımak gerekiyordu: Buffalo'ya, ardından New York'a veya Boston'a.

53 Edison'un ampulünün başarısının püf noktası, karbon telinin paslanmaması için boşluğa yerleştirilmesi ve paralel bağlanmasındaydı.

Doğru akım böylesine bir talebi karşılamakta zorlanıyordu. 110 voltluk bir akımı verecek megavatlar taşımak için oldukça büyük yeğinlikler gerekiyordu (100.000 amper!). Ne var ki böyle bir yeğinlikte teller ısınıyordu ve iletimde çok enerji kaybediliyordu.

Alternatif akımsa güzel bir çözüm oluşturuyordu, çünkü üstün bir araç icat edilmişti: transformatör [akım dönüştürücüsü].

Yumuşak demirden bir çerçevenin etrafında iki sargı tel: gerilimi bir yönden diğerine dönüştürmek için başka bir şey gerekmez (Bkz. Şekil 6.8). İki taraf arasındaki gerilimlerin birbirine oranı, sargıların sayısının oranına eşittir.

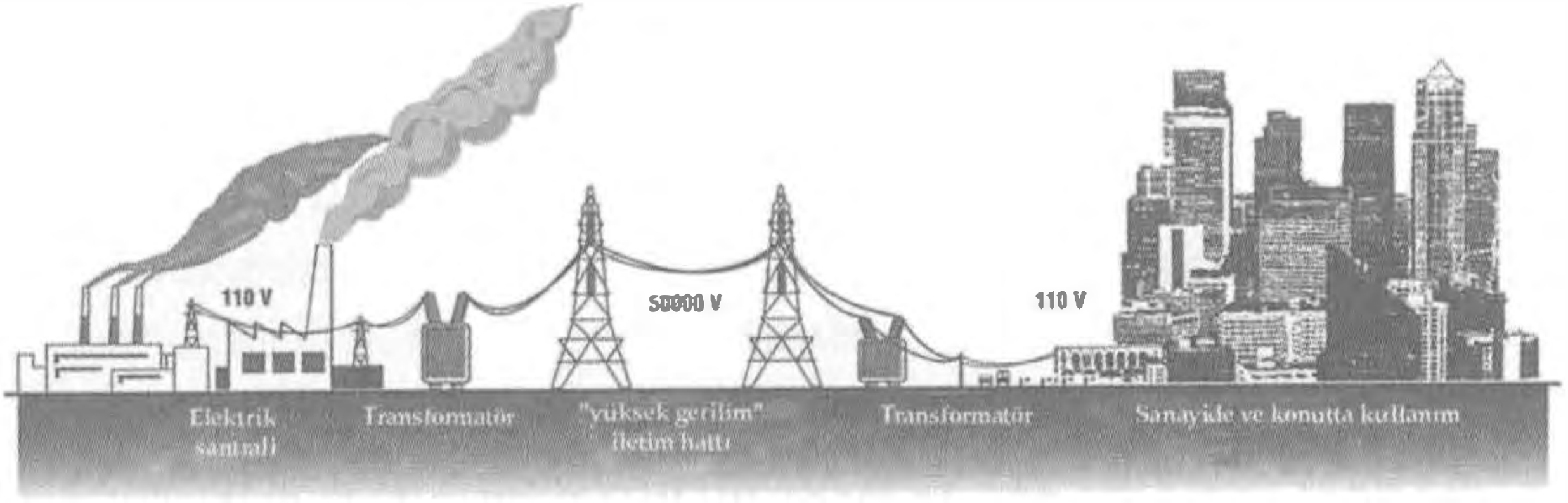


Şekil 6.8
Transformatörün prensibi.
Mıknatıslaştırılmış kapalı bir çubuğun etrafına teller sarılır.
Bobinlerden birinden bir alternatif akım geçirilir.
Öteki bobinde bir alternatif elektrik akımı üretilmiş olur.
Voltajların birbirine oranı, sargı sayılarının birbirine oranına eşittir.
Ne kadar çok sargı varsa, voltaj o kadar yüksek olur.

Santralın çıkışındaki birkaç kilovoltluk bir akım 500 kilovoltluk bir akıma dönüştürülerek, düşük yeğinlikle bir kablo üzerinde iletilir ("yüksek gerilim hattı" deyimi buradan gelir); ardından, varış noktasında başka bir transformatör bu akımı 110 volta geri dönüştürür ve kullanıcılara dağıtır. Edison'un tasarladığı lamba bundan daha iyi aydınlatamazdı elbette...

Demek ki alternatif akımın zaferi Amerika topraklarının genişliği sayesinde oldu (Bkz. Şekil 6.9). Ama Tesla'nın başarısı ve Westinghouse'un serveti de bunda rol oynadı.

Enerji konusuna bu hızlıca (ama temelden) göz atışı tamamlarken modern ilerlemelerin bu alandaki verileri değiştirmediğini de belirtelim.



Şekil 6.9
Bir elektrik santralıyla bir büyük kent arasında alternatif akımla elektrik iletiminin şeması. Bu taşıma için transformatörün özellikleri kullanılır.

Termik santrallarda türbinleri döndürmek için elektrik üretmek üzere kömür ya da petrol yakılır.

Nükleer santrallarda suyu ısıtarak türbinleri döndürüp elektrik üretmek için nükleer enerji kullanılır.

Hidrolik santrallardaysa elektrik enerjisine dönüştürülen, suyun düşüşünün potansiyel enerjisidir.

Zincirin öteki ucunda süreç tersinedir. Elektrik enerjisi ya ışık enerjisine (aydınlatma), ya mekanik enerjiye (motor), ya da ısıl enerjiye (ısıtma) dönüştürülür.

Dikkat edersek, hiçbir durumda enerji *üretimi* olmadı. Bir enerji türü başka bir enerji türüne dönüştürüldü, hemen her durumda elektrik enerjisi evrensel vektör olsa da.

Bir tek alan var ki elektrik enerjisinden geçmeksizin ısıl enerji-mekanik enerji dönüşümü aşamasında kalınır: ulaştır-

ma. Günümüze dek elektrik enerjisi, trenlerin dışında, pek işin içine girmedi. Biraz sabırlı olalım, o da olacak...

Öte yandan, Maxwell'in öngördüğü ve Hertz'in 1887'de keşfettiği radyo dalgaları konusunda da ilerlemeler hızlı oldu.

1895'te Marconi ilk kablosuz telgrafı icat etti. 1901'de ilk Atlantik ötesi bağlantıyı gerçekleştirdi.

Radyo dünyası, sonrasının televizyonu, ilerliyordu. Tüm bunları, kedi derisine amberi sürtüp küçük kâğıt parçalarını çeken Benjamin Franklin gibi kişilerin başlatacağını kim bilebilirdi...

Bilimsel araştırma budur işte.

Neye yarar?

Önce anlamaya, sonra da... beklenmeyeni keşfetmeye!

Amerika'nın büyüklüğü

Amerika'nın büyüklüğü, bunu anlamış, bu düşünceyi uygulamaya koymuş olmasındadır.

Bugünkü duruma bakalım. Bilgi-işlem devrimi nereden geliyor? Karmaşık katılarda elektrik akımının nasıl yayıldığını anlamaya çalışan bir araştırmacılar grubunun transistörü bulmasından, ardından da Bill Gates adlı eski bir Harvard öğrencisinin girişimi sayesinde "yazılım"ın geliştirilmesinden.

Amerika, bu noktaya herkesten önce ulaşmak için gerekli donanıma sahipti. Güçlü bir destekle, sanayicilerin de desteğiyle ve anlık getiri beklentisi olmadan yapılan bir bilimsel araştırma sayesinde.

Ekonomik getirisi en yüksek buluşların en beklenmedik buluşlar olduğu unutulmuyordu. Bu nedenle üniversitelerdeki temel araştırmalar kesintisiz destekleniyordu.

Tüm bilim adamlarında çok gelişmiş bir teknoloji kültürü vardır. Birçok Amerikalı bilim adamı arabayı ya da elektrik motorunu onarmayı bilir; hepsinin de amacı, araştırmalarını yararlı buluşlara dönüştürmektir.

Yeni buluşları en çok kollayanlar sanayiciler değildir, çünkü Avrupa'daki gibi burada da genellikle büyük şirketlerde bürokratik hantallık vardır, üniversite öğretim üyeleri ve doktora öğrencileridir; bunlar hep buluşlarını kullanıma koyma kaygısındadırlar. Icat eder, yaratırlar, büyük şirketlerse bu buluşları geliştirir.

Gerisi ülkenin büyüklüğündendir; yani yenilikleri seven bir pazarın varlığı sayesinde buluşlar arasından seçim ve en önemlilerinin hızla geliştirilmesi.

7

Şans atomlarla moleküllerden yana

Bilim adamları kimyasal bileşiklerin algılanan koku, renk, sertlik gibi özelliklerinin moleküllerin özellikleri tarafından belirlendiğini söylediklerinde, beklenebileceği gibi, onlara hemen sorulan soru, moleküllerin yapısından, bunların temel özelliklerinden şu gördüğümüz, dokunduğumuz "büyük cisimler"in özelliklerine nasıl geçildiğidir, hele molekül boyutundan "duyulur" boyuta geçmek için bunların boyutunu 10^{24} gibi çarpanlarla çarpmak gerektiği bilinirken. Mikroskobik bir özellik, "makroskobik" bir boyuta nasıl aktarılabilir?

Bunu yapmak için, görebildiğimiz boyutlara varıncaya dek iki molekülün, üç molekülün, dört molekülün, on bin..., bir milyar..., bin milyarının özelliklerini hesaplayıp toplamaya çalışmak gereksizdir. En büyük bilgisayarlar bin yıl boyunca gece gündüz çalışsalar bile bunu başaramazlar.

Öyleyse nasıl yapmalı?

Yanıt: olasılık hesabını ve ondan türeyen istatistiği kullanarak. Olasılık hesabına ve istatistiğe dayalı bu yaklaşım, kuşkusuz, fiziğin icat ettiklerinin en özgün, en güçlü olanlarından biridir.

Olasılıklar hesabı

Eski Mısır firavunlarının hazinelerinde zarlar (hileli zarlar bile) bulunmuş olmasına karşın, Batı'da olasılıklar hesabının başlangıcı Pascal'a dayandırılır. Birçok tarihçi bize bunun çok daha önce –Hindistan'da ve Araplarda– kullanıldığını söyler, bu kuşkusuz doğru olmalı. Pek sık anımsanmayan, Arapların Hintlilerin bilgisinden önemli ölçüde yararlandığıdır.

Mahabharata'yı okursak (kısaltılmış baskıları bile zaman alır) "olasılıkçı" bir toplumun nasıl olduğunu açıkça görürüz. Yalnızca kadınların, krallıkların ve özgürlüğün zar atılarak alınıp verilmesinden değil; serüvenin kendisi tümüyle olasılığa dayanır ve bundan dolayı, sürekli sadelik arayışındaki "Grek" kafalarımız için belirsiz, değişken, beklenmedik, açıkçası yoldan saptırıcıdır. Öyleyse Hintlileri ve onların karmakarışık ve olasılıkçı dünya görüşlerini istemeyerek de olsa bırakıp Pascal'a dönelim.

Bir olayın olasılığı, sonucu "tümüyle" belirsiz ve şans dediğimize bağlı olan bir deneyde, gerçekleşen durumların sayısıyla gerçekleşmesi olanaklı sonuçların sayısı arasındaki bağlantıdır.

Örneğin havaya bir demir para atarsam "tura" gelme olasılığı nedir? Gerçekleşen durum sayısı birdir (yazıdır ya da turadır), gerçekleşebilecek durumların sayısı önsel olarak ikidir. Yazı (ya da tura) elde etme olasılığı

$$\frac{1}{2} = 0{,}5\text{'tir.}$$

Yeter ki param hileli olmasın ve dolayısıyla olasılıklar tümüyle eşit olsun.

Bir zar atarsam altı elde etme olasılığım nedir? Gerçekleşen durum sayısı birdir. Olanaklı durumların sayısı altıdır. Olasılık

$$\frac{1}{6} = 0{,}166\text{'dır.}$$

Demir parayla yapılan birinci deney, zarla yapılan deneyden daha az *belirsiz*dir. Belirsiz, olasılık hesabında önemli bir sözcüktür, kesin olmayanla hemen hemen eşanlamlıdır.

Doğal olarak, herhangi bir deneyde tüm olasılıkların (gerçekleşebilecek tüm durumların) toplamı bire eşittir. Öyleyse olasılık, 0 (olanaksız) ile 1 (kesinlik) arasında değişen bir sayıdır.

Pascal, Daniel Bernouilli ve birkaç başkası, olasılıklar hesabını düzenleyen kuralları koydular.

İstatistik düşüncesi buradan doğdu. Çok sayıda etmeni (topluluk ya da yığın dediğimiz) işin içine sokan çok sayıda olayla karşılaşırsak, olayların nasıl meydana geldiğini ve değişebilirlik derecelerinin ne olduğunu pek kestiremiyorsak, bu sistemi, bu topluluğu olasılıklar hesabının yardımıyla anlatamaz mıyız?

Olasılıklar yasasını uygulayarak toplulukların davranışı üzerine güvenilir öngörülerde bulunabileceğimiz düşüncesi kendisini inceden inceye kabul ettirdi. Pascal ve Leibniz, parasal yatırımları optimuma getirme çabası içinde bunu zaten söylemişlerdi.

Böylece yavaş yavaş, çok sayıda "bireyin" bulunduğu bir sistemde bütünün davranışının, bütünün bir kısmının "rastgele" *örneklenmesi,* bu örneğin incelenmesi ve elde edilen sonuçların topluluğun tümüne genellenmesi yoluyla saptanabileceği düşüncesi doğdu.

Buradan da adım adım, İstatistik düşüncesi ortaya çıktı.

İstatistik, karmaşık olayların etkisi altındaki bir nesneler yığınının ortalama özelliklerini tanımlamaya çalışır. Bunu başarmak için üç parametre kullanır:

a) *Ortalama değer,* başka deyişle ortalama öğe ve özellikleri.

b) Bu ortalamanın etrafındaki *yayılma,* başka deyişle değişkenlerin, orijinallerin oranları ve bu kategorilerden her birinin ortalamadan uzaklıkları.

c) Ortalamanın etrafındaki *simetrisizlik.* Değişkenler, ortalamanın iki yanında aynı sayıda ve aynı uzaklıkta mıdır?

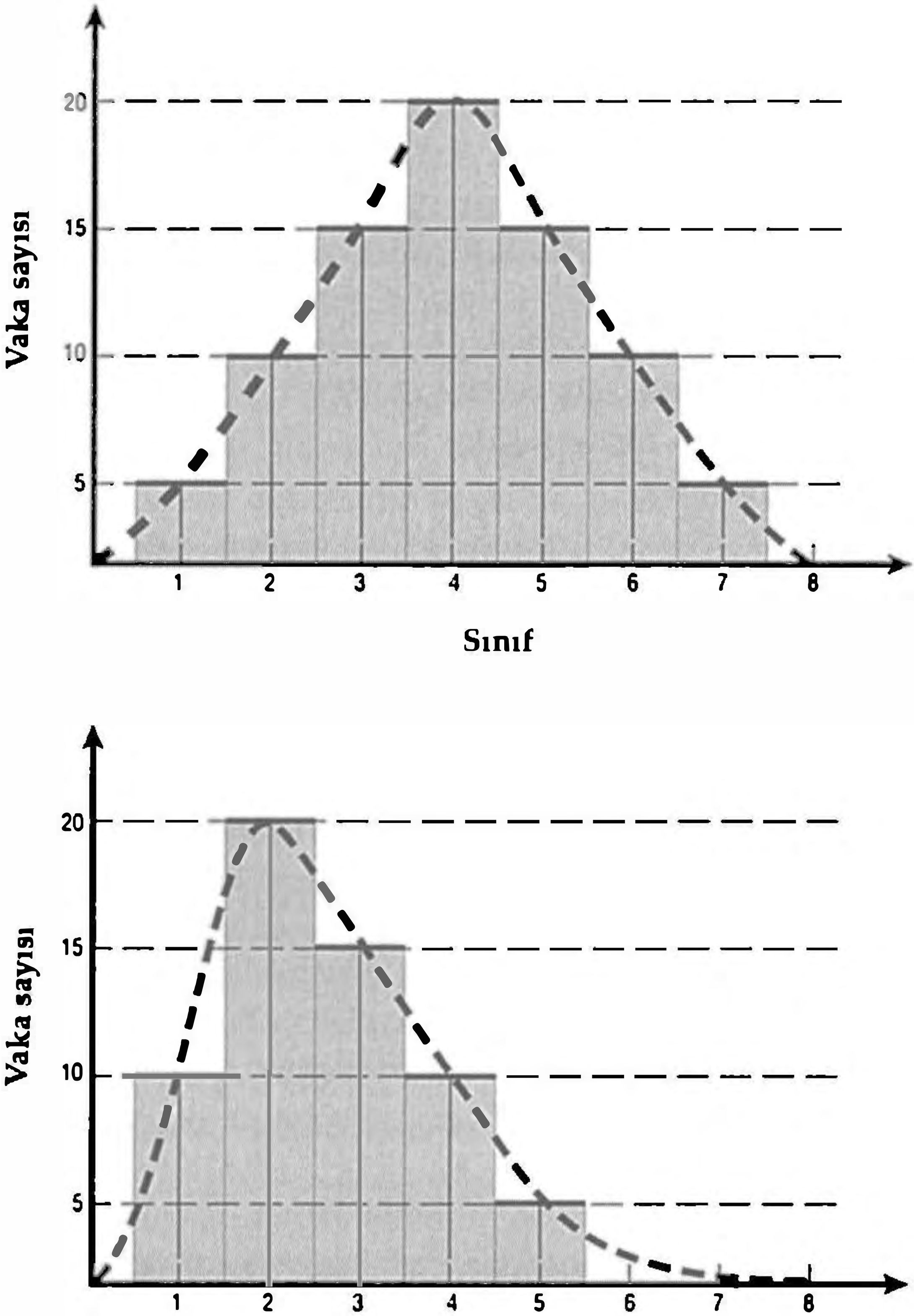
Tüm bunları tanımlamak için evrensel bir grafik tasarım olan histogram kullanılır (Bkz. Şekil 7.1). Matematikte, sınıfları çok küçük olan histogramlar kullanılır; bu durumda *dağılım* söz konusu olur.

Histogramı oluşturmak kolaydır: ölçmek istediğimiz çeşitli büyüklükleri belirler ve her biri için o değeri taşıyan öğe sayısını saptarız.

Histogram ortalamayı, yayılmayı ve simetrisizliği ortaya koymaya olanak verir.

Doğal olarak, bu histogram aracılığıyla gerçeğin bir tahminini elde etmek için tüm topluluğun rastgele alınmış (burada rastgele sözcüğü kuşkusuz temel önemdedir, bunu sürekli yineliyoruz) bir örneği incelerken bu örneğin temsil edici olduğunu, başka deyişle, toplumun bütününün özelliklerini gerçekçi bir biçimde yansıttığını savlarız. Bunun için sonuca ne derecede güvenebileceğimizi incelemek, yani şu veya bu biçimde örneklerken yapabileceğimiz hatanın payını saptamak gerekir.

Günümüzde kamuoyu yoklamalarında uygulamaya konan, bu düşüncedir. Çünkü şu veya bu kanının ya da şu veya bu davranışın olasılık derecelerini gösteren bu örneklerden hareketle bütünün davranışını tahmin ettiğimizi, yani şu veya bu özelliğini saptamak istediğimiz topluluğun bütününün özelliklerini anladığımızı umabiliriz.



Şekil 7.1
İki histogram (dağılım).
Rastgele bir değişkene göre birey sayıları.
Üstte simetrik dağılım.
Altta simetrisiz dağılım.

Doğal olarak, örnek ne kadar büyükse gerçekçi olması şansı o kadar çoktur (kesin olmama I, I/√N oranında azalır, ama büyüklük yeterli bir ölçüt değildir, örneğin kendisi de şans eseri seçilmiş olmalıdır), ve eğer topluluk kategorilere bölünmüşse örnekleme bunu dikkate almalıdır.

İstatistiksel bir fizik düşüncesi böyle doğdu. Zaten istatistiksel yöntemler için yüz, bin, on bin bireyin değil, milyarlarca milyarların söz konusu olduğu atom ya da molekül yığınlarından daha iyi bir örnek olabilir mi?

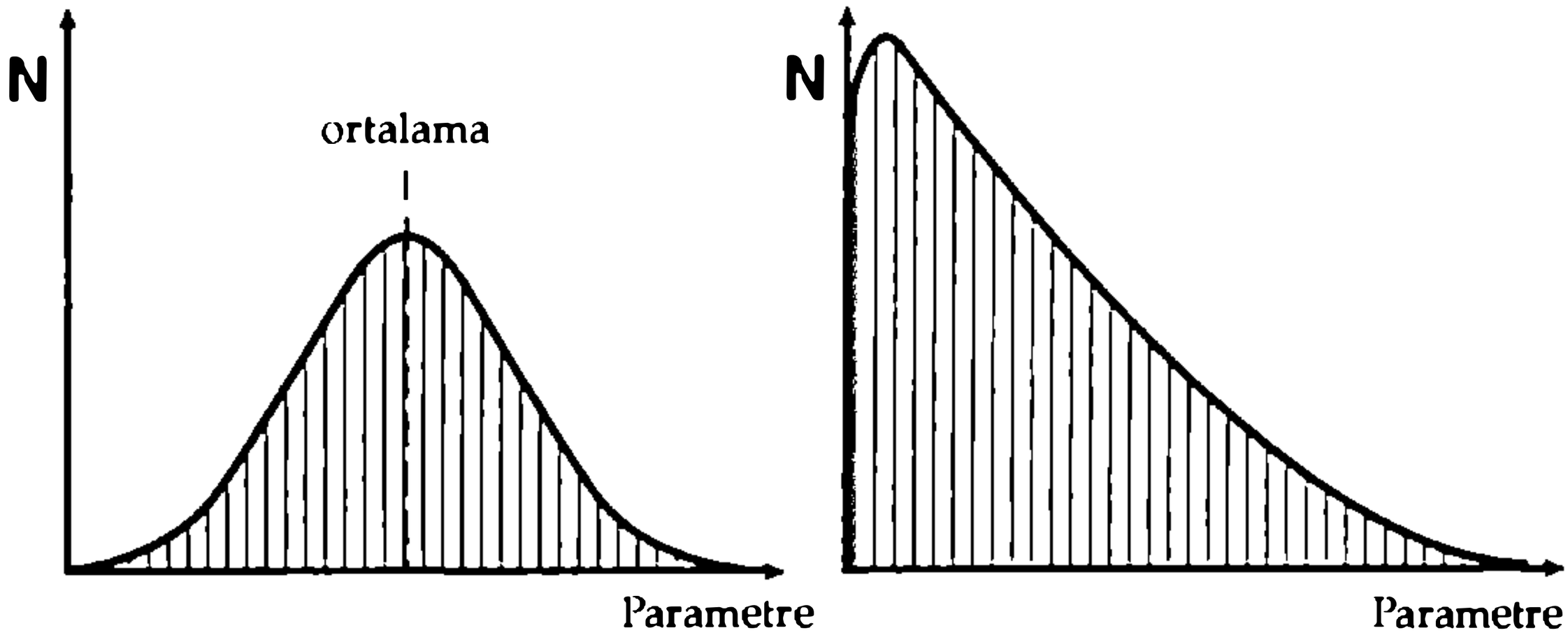
Klasik fizik hesaplarında sonuç bir sayıdır. İstatistiksel fizik hesaplarında sonuç davranışların bir dağılımıdır. Yani bir (ya da birçok) histogramdır. Öyleyse histogramlar üzerinde temel işlemleri (toplama, çıkartma, daha karmaşık kombinasyonlar) yapmayı öğrenmek gerekir. İki histogramın toplamı ne sonuç verir? Sonuç rakamlarla olduğundan daha karmaşıktır ama gerçeği daha iyi anlatır, çünkü yalnızca ortalamayı değil, bu ortalamanın hesabındaki hata payını ve sapmaların oranını da bilmemizi sağlar. Istatistik, doğanın çeşitliliğini hesaba katmaya olanak verir!

Bunun basit örneklerini daha sonra göreceğiz.

Çan eğrisi

Birçok istatistiksel dizide yığınların özelliklerinin dağılımı, yaygın olarak "çan eğrisi" ve bilimsel terimlerle (onu tanımlayan ve inceleyen biri Fransız, diğeri Alman iki yazarın adlarıyla) Laplace-Gauss dağılımı denen bir yasaya uyar.

Bu eğri bir 19. yüzyıl jandarma şapkası biçimindedir. Ortalamanın etrafında simetriktir ve yayılmanın az ya da çok oluşuna göre az ya da çok basıktır (Bkz. Şekil 7.2).



Şekil 7.2
Çok önemli iki kuramsal dağılım.
– Solda Laplace-Gauss dağılımı.
– Sağda Poisson-Boltzmann dağılımı.

Bu, eğriye neredeyse evrensel bir karakter veren, *Merkez Limit Teoremi* adlı bir istatistik teoremidir; kuşkusuz en güçlüsüdür ve aynı zamanda da en az bilinenlerden biridir; buna göre, herhangi yapıdaki herhangi birden fazla dağılımı toplayacak olursak, eğer yeterli sayıda dağılım varsa, elde edilecek dağılım bir çan eğrisidir.

Bu tam anlamıyla şaşırtıcı, ama gerçek!

Bir uzunluğu, örneğin masanızınkini ölçüp, aynı işlemi birçok kez yinelediğinizde, bir çan eğrisi elde edersiniz: ortalama değer size en iyi tahmini verir ve bu ortalamadan uzaklaşmalar bu tahminde yaptığınız hatayı anlamanızı sağlar.

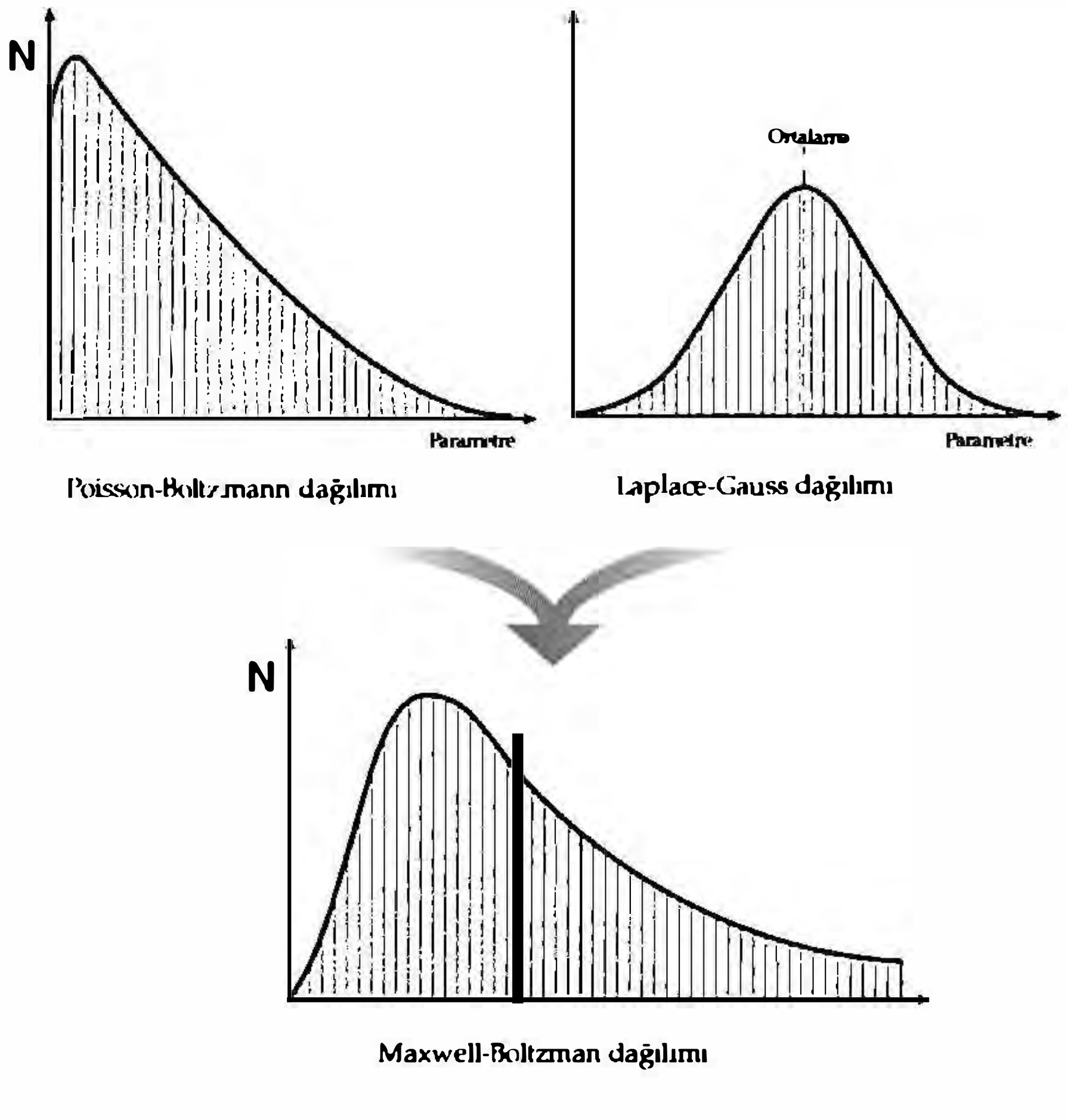
Zenginden daha çok fakir var

Evrensel bir yasa olacak kadar iyi bilinen ve ne yazık ki insanlar ve servet dağılımı için geçerli olan ikinci bir dağılımı ele alalım: fakirlerin sayısı zenginlerden çok daha fazladır ve hangi topluma bakarsak bakalım, doğal olarak parametreler farklıdır ama eğrinin biçimi kabaca hep aynıdır.

Bunun gibi, yer sarsıntılarında büyüklerden çok daha fazla küçük sarsıntı vardır (iyi ki böyle), 100 metreyi 15 saniyede koşanlar 10 saniyede koşanlardan çok daha fazladır, vb., ve herhangi bir gazda büyük bir enerjiye sahip moleküllerden çok daha fazla zayıf enerjili molekül vardır. Bu, Poisson dağılımı denen dağılımdır.

Moleküllere ilişkin dağılıma, istatistiksel fiziğin kurucularından biri olan Boltzmann'ın adı verilir.

Boltzmann dağılımıyla Laplace-Gauss'unkini birleştirebiliriz. Bunları birbiriyle çarparak (terimi terimle), Maxwell-Boltzmann adını alan başka bir simetrisiz dağılım elde ederiz; bu dağılım örneğin, bir gazdaki moleküllerin hızlarının dağılım yasasını gösterir (Bkz. Şekil 7.3).



Poisson-Boltzmann dağılımı

Laplace-Gauss dağılımı

Maxwell-Boltzman dağılımı

Şekil 7.3
Gauss ve Poisson-Boltzmann dağılımlarını birleştirirsek, Maxwell-Boltzmann dağılımı adını verdiğimiz simetrisiz bir çan eğrisi elde ederiz. Bu, örneğin, oldukça seyreltilmiş bir gazın hareket hızlarının dağılımıdır.

İstatistiksel fiziğin iki temel işlemiyle ilgili kısmın sonuna geldik: dağılımların toplamları ve çarpımları.

Atom kimyasının ve fiziğin imdadına
olasılıklar hesabı yetişiyor!

Demokritos, atomların düzensiz biçimde her yönde titreşerek sürekli hareket halinde olduklarını öne sürmüştü.

Kimileyin, demişti, çarpışırlar ve birbirlerini göçerten iki kamyon gibi birbirlerine vururlar; karşılaşma kiminde bir birleşmeyle son bulur ve bu durumda katı ya da sıvı "maddeler" doğururlar.

Daha önce belirttiğimiz gibi, gazların davranışlarına ait temel yasalar 19. yüzyılın sonlarına doğru keşfedildi; nasıl birleştikleri, karıştıkları, çeperler üzerine yaptıkları basınç, vb.

Öyleyse, tüm bu özellikleri anlamak için o dönemde yeni yeni ortaya çıkan atom ve molekül düşüncesine dayanılmış olması doğaldır; kısacası Demokritos'un düşünceleri derinleştirilmeye çalışıldı, ama biraz daha kesin, biraz daha niceliksel olacak biçimde.

Eğer madde, bu durumda gaz, milyar kez milyar parçacıktan ya da atomdan oluşmuşsa, bunların varsayılan özelliklerinden çıkarak kimyacıların gözlemlerini nasıl açıklayabiliriz? Başka deyişle, maddenin mikroskobik betimlemesinden, moleküllerin temel yapılarından hareketle, Gay-Lussac'tan, Dalton'dan geçerek Avogadro'ya ve bugünkülere kadar kimyacıların üzerinde çalıştığı makroskobik özellikleri anlatacak bir kuramı nasıl oluşturabiliriz? Kimyasal formüllerden, yeni ürünler sentezleyen kimyacıların kaplarına nasıl geçebiliriz? Başa dönmek gerekiyordu.

Saygın bir bilimsel hanedanın üyesi, Cenevreli Daniel Bernouilli[54], 18. yüzyılın sonunda yolu açtı.

Olasılıklar hesabı olarak adlandırılan bu yeni matematik dalının uzmanı olan Daniel Bernouilli, çok yüksek sayıdaki bir atom grubunu incelemek için en iyi yöntemin bunların davranışlarını istatistiksel olarak modellemek ve böylece ortalama bir atomun davranışını tanımlamak olacağını çabuk anladı. Ama konuyla ilgili ilk düşünceleri o yürütmüş olsa da, çalışması kesin bir sonuca ulaşmadı.

İstatistiksel fiziğin gerçek anlamda gelişmesi, ancak 19. yüzyılın sonlarına doğru, heyecanlı ve entelektüel açıdan oldukça fırtınalı tartışmalardan sonra oldu.

Çünkü bu istatistiksel fizik akıllarda iyice kök salmış iki önyargıyı tümden altüst ediyordu. Bunlardan birincisi, daha önce anlattığımız gibi, onları gözle göremediğimiz bahanesiyle atom ve molekül düşüncesine karşı çıkılmasıydı. İkincisiyse, olasılıklar hesabının reddedilmesiydi. Yasaları tümüyle açık, tam belirli olan doğa nasıl olur da, daha sonra büyük Fransız olasılıkçı Émile Borel'in şakayla karışık, "cehaletimizin şu ayıp örteni" diyeceği olasılık hesaplarına, rastlantıya boyun eğer?

Üçü de üstün, ama birbirlerine benzemez üç adam bu istatistiksel fiziği kuracaklardır.

James Clark Maxwell, elektromanyetiği birleştiren devasa kuramın yaratıcısı, Cambridge'in İskoçyalı beyefendisi, fiziğin efsane kahramanlarından biri. Bir gazın parçacıklarının hızlarının dağılımını hesaplayarak başlangıç işaretini veren

54 Genellikle tüm anketlerin yaklaşık 1.000 kişilik bir örneğe dayandığını görmüşsünüzdür. Bu durumda matematikçi, sonuca etki eden hata payının yaklaşık $1/\sqrt{1000} \sim \%\ 3$ olduğunu söyler bize. Cumhurbaşkanlığı seçimi ikinci turunda size A (% 51), B'nin (% 49) önünde gidiyor denirse, bu ± % 3 yaklaşıklıkla söylendiğine göre aslında hiçbir şeyden emin olmadığımız anlamına gelir. Buna karşılık A, B karşısında % 54'lük (% 46'ya karşı) bir oranla galipse, bu durumda "hata sınırlarından çıkmaya" başlarız.

odur. Üstün bir matematikçi, ruh halleri olmayan bir atomcudur. Ne yazık ki savaşın ortasında, 1918'de ölmüştür.

Ludwig Boltzmann, hayranlık ve saygı duyduğu Maxwell'den daha genç bir Avusturyalıdır. Değişken bir karakter, parlak bir matematikçi, entelektüel yönden hırslı, hem hayal gücüne, hem de tekniğe sahip ama aynı zamanda aşırı duygusal, sıkça kararsızlık gösteren (büyük fizikçi Helmholtz'un ders verdiği Berlin'de profesörlük görevini üç kez kabul edip sonra da geri çevirir, hepsi de iki yıl içinde), sosyal ilişkilerinde dobra –kimilerine göre fazla patavatsız– bir adamdır. Ama temelleri atan odur.

Josiah Willard Gibbs. Bir Amerikalı (Amerikalı bilim adamları bugün onun ilk Amerikalı "büyük bilim adamı" olduğunu söylerler... Peki ya Benjamin Franklin?). Yale'de profesördür. İçe kapanık, uzak duran bir kişidir –anlatıldığına göre bir gün bir meslektaşıyla konuşurken, Yale profesörlerinin ücretli olduklarını öğrenir, bunu bilmiyordur!– ama istatistiksel fiziği yerine oturtan ve termodinamikle birleştiren odur. Gibbs ve Boltzmann'ın hiç karşılaşmamış olmaları, bu fırsatı iki kez kaçırmış olmaları gerçekten yazık olmuş. Çünkü anlaşılıyor ki Gibbs, Boltzmann'ın makalelerini anlamış olan ender çağdaşlarından biridir. Boltzmann'ın makaleleri öylesine karmaşık ve içine girilmezdi ki bu büyük bir matematik uzmanlığı ve aynı anda da güçlü bir zihin açıklığı gerektiriyordu.

Gazların kinetiği kuramı

Milyonlarca küçük parçacık (atom ya da molekül?) bir kutuya hapsedilmiş olup her yönde hareket ettiğinde (bu biraz da trafiğin yoğun olduğu saatlerde bir tren istasyonunun görüntüsüdür) birbirlerine çarpar, yön değiştirir, yine çarpışır, geri sıçrar; böylece toplamda düzensiz bir hareketlilik görüntüsü verir.

Böyle bir sistemin davranışını anlamak için, her parçacığı birer birer tanımlamak düşüncesini bir kenara bırakıp, ortalama bir parçacığın davranışlarının ve bundaki sapmaların istatistiksel bir tanımını yapmayı yeğlemeliyiz.

Bunun içindir ki ortalama bir parçacığın davranışıyla ilgileneceğiz. Örneğin, belirli bir boyuttaki bir hacim içinde belirli bir sayıda parçacık varsa, rastgele hareketlenmiş bir parçacığın başka bir parçacığa rastlayana dek katedeceği ortalama doğrusal yol ne olur? Bilimsel terimlerle buna "ortalama serbest yol" adı verilir. Şu soru da ilgimizi çekecektir: bir parçacık saniyede kaç çarpışma yapar? vb. Ortalama parçacığın ne derece temsil edici olduğuyla, başka bir deyişle, bu ortalama davranıştan sapan parçacıkların sayısıyla da ilgileneceğiz. Başka bir soru: kaç molekül başkalarına çarpmadan yer değiştirir? (çok değil!)

Tüm bunları değerlendirmek için olasılıklar hesabına başvurulur; başka bir deyişle, bir olayın gerçekleştiği durumların, gerçekleşme olasılığı bulunan durumlara göre yüzde oranı hesaplanır.

Atomlar istatistiğinin aydınlattıkları

Bu tür bir yaklaşımın yardımıyla Boltzmann, gazların özelliklerini hesaplayacaktır; bir parçacıklar topluluğunun davranışlarının tanımına dayanarak gözlemlenen ve ölçülen özellikler (kiminde atomlar, kiminde moleküller söz konusudur, önemi yok). Pek de fena değil.

Ama daha fazlasını da yapacak, 19. yüzyıl sonu kimyacı ve fizikçilerinin kapsamını tam bilmeden iyi tanıdıkları birtakım kavramlara anlamlarını verecektir: basınç, sıcaklık, ısı. Bu bildik kavramların tanımlanmasında epey güçlük çekiliyordu.

- **Bir gazın basıncı**

Gazın basıncı olarak adlandırdığımız, moleküllerin bir kabın çeperleri üzerine (çeperler kuramsal olabilir) vurduğu darbelerin tümünün toplamıdır. Mekanikte basınç, bir birim yüzeye düşen güçtür. Raptiye bu ilkeye dayanarak icat edilmiştir. Düz kısmına bastırılır, ama güç yalnızca küçük bir yüzeye etki eder; dolayısıyla basınç büyük olur. Bir moleküller topluluğu söz konusu olduğunda, basınç, moleküllerin bir çepere uyguladığı gücün toplamının bu çeperin yüzölçümüne bölümüdür. Günün birinde bir yönde ilerlemek için "iten" bir kalabalığın arasında kısılıp kalmış olan herkes bunu kolayca anlayabilir. Bu benzetmede içimizden her biri bir atomdur, kalabalıksa gaz. Ne var ki bizler genellikle bir araya toplanmış birkaç bin kişiyken, gazların içinde milyarlarca milyar parçacık vardır!

- **Sıcaklık**

İnsanın ateşi keşfinden, hatta kuşkusuz daha öncesinden beri, sıcakla soğuğu ayırt edebiliyoruz.

Sıcaklığı ölçmek için termometre yapmayı 17. yüzyıldan beri biliyoruz.

Ama sıcaklığın kendisi neyin nesidir, bunu tam bilmiyoruz. Sıcaklık ve ısı kavramları anında koyu bir bulanıklığa bürünüverirler. Birçok genç için ve daha az genç olanlar için de bugün hâlâ bulanıktırlar. Herkes rahatlasın. Bunun için kimseye akılsız denemez. Bu bulanıklık iki yüz yıl sürdü. Üstelik tartışmalar sırasında 18. ve 19. yüzyılın en büyük beyinleri yanılgıya düştü. Kısacası, eğer ısıyla sıcaklık arasındaki farkı iyi anlamadıysanız, bunun nedeni en başta, bu farkın kolay anlaşılır olmamasındandır!

Boltzmann açıkça şunu söyler: "Sıcaklık, atomların titreşimlerinin ölçüsüdür." Yüksek sıcaklıklarda atomlar çok hareketlidir, düşük sıcaklıklarda daha sakindirler. Ateşiniz olduğunda normal durumunuza göre daha hareketlisinizdir (burada salt

makroskobik ölçek değil, mikroskobik ölçek de söz konusu!). Atomlar ne kadar hareketliyse o kadar büyük bir basınç uygularlar. Hacim ne kadar küçükse çeperler üzerine uygulanan basınç da o kadar büyük olur. Sizi on metrekarelik bir odaya kapatsalar, duvarlara Versay'ın camlar galerisine "kapatıldığınızda" çarpacağınızdan daha sık çarparsınız. Az ya da çok hareketli atomlar, az ya da çok geniş hacim, az ya da çok atom sayısı... Üçüncü bir parametre eksik: moleküllerin sayısı. Bunlardan ne kadar çok varsa basınç o kadar güçlüdür.

Görüldüğü gibi olaylar İstatistiğin yardımıyla daha basitçe açıklanabiliyor: basınç, sıcaklık ve bunların arasındaki, *Mariotte'un ideal gazlara* ilişkin ünlü yasasıyla tanımlanan, daha önce gördüğümüz ilişki (PV = nRT). P basıncıyla V hacminin çarpımı, veri bir n molekül sayısı için, yalnızca sıcaklığa (T) bağlıdır. R sabitine ideal gazlar sabiti denir.

Bunu daha az bildik ama daha kullanışlı bir biçimde anlatalım. Basınç, sıcaklığın hacme bölümüdür, bir tür, birim hacim başına titreşimdir. Başka her şey aynı kalmak koşuluyla, moleküllerin sayısı arttırılırsa, basınç artar. Son olarak, sıcaklık (titreşim) arttırılırsa, basınç artar (düdüklü tencerede yapılan budur). Bunu böylece alıp bir kalabalığın davranışını anlamak için kullanabiliriz...

Isı, bir titreşimin yayılma biçimidir, yani bir iştir, ama moleküllerin, atomların ölçeğinde. Atomlar ne kadar çok çalışırsa ısı o kadar artar!

Boltzmann'ın istatistiksel bakış açısı, enerjiye ilişkin olarak daha önce değindiğimiz iş ve ısı arasındaki dönüşümü açıklamaya olanak verir.

Isının işe dönüştürülmesi düşüncesi basitçe, *mikroskobik işin makroskobik işe dönüştürülmesidir*.

Mikroskobik işi makroskobik işe çevirdiğinizde kayıplar olur. Bir pistonun içine kapatılmış bir gazın molekülleri, piston ısıtıldığında delicesine titreşerek pistonu ittiğinde, aynı

anda pistonun çeperlerinde atomların hareketlenmesine de neden olur; atomlar birbirlerine "toslar", başka deyişle burada bir enerji kaybı olur. Tüm bunlar bu enerji-ısı dönüşümü sırasında kayıplar olduğunu anlatmak içindi. Hiçbir şey kusursuz değildir. *Nobody is perfect*. Isıyla iş arasındaki dönüşüm de kusursuz değil.

Mutlak sıfır

Sıfır kavramı mutlakla, saflıkla, hiçlikle o denli bağdaşır ki mutlak sıfır sözü gereksiz bir tekrar gibi geliyor.

Hintlilerin matematikte sıfır kavramını bulmasının yüzyıllar sürdüğü söylenir.

Fizikçilerin de sıcaklık ölçeklerinin ilk başvurum noktası ya da başlangıcı olan ısıl mutlak sıfırı tanımlamaları yüzyıllar aldı.

Bir sıcaklığı ölçtüğünüzde termometre kullanırsınız, yani sıvıların sıcaklıkla genleşme özelliğini.

Sıvı cıvanın hacmi sıcaklıkla artar; böylece, dar bir tüpün içinden, bedeninizin ortalama sıcaklığını saptamaya olanak verir.

Uzun bir süre, genleşmenin sıcaklıkla orantılı olarak arttığı savına dayanılarak, bir sıcaklık ölçeği arandı.

Alışılmış ölçek (santigrat ölçeği dediğimiz) bildiğimiz sıfırı buzun, 100 dereceyi ise kaynayan suyun durumuna sabitleyerek tanımlanmıştır. Bu iki nokta arasındaki aralık 100'e bölünür. Hiçbir şeyi başkalarının yaptığı gibi yapmayan İngilizler, Fahrenheit ölçeğini tanımladılar ve günümüzde bu derecelemeyi yalnızca Amerikalılar kullanıyor – sizi CNN'in hava raporlarını izlemekten alıkoyan da bu (hayır, dönüşüm formülünü vermeyeceğim, çünkü artık Amerikalılar da herkes gibi yapsınlar diye bekliyorum).

Fizikçiler uzun bir süre bir mutlak sıcaklık ölçeği tanımlamaya çalıştılar. Lord Kelvin bu probleme el atan ilk kişi oldu.

Mariotte kanununa göre, veri hacimdeki gaz ve veri sayıdaki molekül için basınçla sıcaklık arasındaki ilişkiyi incelersek, bir doğru ilişki elde ederiz. Bu durumda şu soru soruldu: basınç sıfır olduğunda sıcaklık ne olur?

Deney farklı gazlarla tekrarlandığında hep aynı sıcaklık bulundu: bilinen ölçekle (santigrat): – 273.

Bu sıcaklıkta basınç sıfırdır, çünkü atomlar hareketsiz, hemen hemen durgundur. Pek fazla titreşmezler, neredeyse mutlak dinginliktedirler (yalnızca elektronları hareketlerini sürdürür). Bu, tüm cisimler ve tüm maddeler için aynı olmak üzere mutlak sıfırdır. Bundan hareketle sıcaklık için mutlak bir ölçek tanımlanabilir.

Belirtmek gerekir ki 20. yüzyıl başı fizikçilerinin öngördüğü ve tanımladığı bu mutlak sıcaklığa yüzyılın başında Hollandalı Kamerling Onnes sayesinde derecenin binde biri kadar yaklaşılmıştı; bugünse ona derecenin milyonda biri kadar yaklaşılabiliyor ve durgun maddenin durumu, uç durumların fiziği incelenebiliyor; lazerler sayesinde. Bu Claude Cohen-Tannoudji'ye Nobel Ödülü getirecektir, ama bu başka bir öykü.

Şu gizemli entropi

Belirttiğimiz gibi, mekanik sistemler en düşük enerji durumuna doğru giderler. Bir kulenin tepesinden kendimizi atsak, aşağıya düşeriz (en düşük enerji durumuna), Galilei'nin bilyesi hareketsiz durgunluğa ancak eğimli düzlemin altında erişir, vb. Öyleyse bu ilkeyi "parçacık kitleleri"ni kapsayacak biçimde genelleştirmek ve tüm parçacık topluluklarının "doğasal olarak" en düşük enerji durumuna doğru gideceğini söylemek doğru olur.

Her parçacık kendi enerjisini minimuma indirmeye çalıştığına göre milyarlarca parçacığın hepsi aynı şeyi yapacaktır.

Oysa Boltzmann, bir gazın davranışını anlamak için minimum enerji ilkesinin yeterli olmadığını gösterir. Buna başka bir parametreyi, *entropi* adı verilen başka bir büyüklüğü eklemek gerekir. Bunu Boltzmann'dan önce Alman Clausius (1822-1888) gibi bilim adamları, gazların davranışını (ve bir gaz lokomotifinin nasıl işlediğini) anlamak için hesaplara katmıştı, ama bunun asıl niteliği pek iyi anlaşılmıyordu.

Boltzmann, entropinin mikroskobik boyutta, yani moleküller ve atomlar boyutunda, moleküllerin ya da atomların *düzensizliğinin* ölçüsü olduğunu gösterdi. Entropi düzensizliktir, entropiyi arttırmak demek, düzensizliği arttırmak demektir!

Boltzmann açıklar: Evrenin düzensizliği sürekli artar. Ayrı ayrı her sistem kendiliğinden düzensizliğe yönelir. Entropi artar (bu ilke birçok şey için geçerli gibi görünüyor: politika dünyasında olduğu gibi, başka örgütlenme biçimlerinde de görülür bu. Düzen "doğaya ters"tir, hep "başka şey" ister!).

Boltzmann açıklar: Doğanın kendiliğinden istediği, düzensizliktir. Düzen, yerleşmişlik, bunlar "doğa karşıtı"dır.

Bu son açıklama bu bilim adamına, ardından da zincirleme bir etkiyle atom kuramına karşı büyük bir öfke uyandıracaktır. Nasıl olur da doğa düzensizliği "sevebilir"?

Çok geçmeden tüm bilim dünyası Boltzmann'a karşı çıkar. En sert olanı da Mac 1 ve 2'nin icatçısı, Boltzmann gibi Avusturyalı olan Mach'tır. Ama Boltzmann'ın arkadaşı ve onu Graz'da (burada Boltzmann üniversite rektörüydü) ziyaret eden kimyacı Ostwald ve daha da fazlasıyla Maxwell, evet şu saygıdeğer örnek adam, sürekli artma eğilimindeki entropiye inanmayan Maxwell, ve dahası, "kendiliğinden" kuantum kuramının kurucusu durumuna gelen ve bunu yaparken Boltzmann'ın hesaplarını kullanan Max Planck da Boltzmann'ın görüşlerine sertçe karşı çıkacaktır. Parlak, güçlü

olan Max Planck bu zor adama, alışılmadık ama açık yürekli, üstelik de her konuda haklı çıkan Boltzmann'a iyi davranmaz hep. Söyledikleri onu popüler yapmaz, ama gerçektir! Üstelik deneyle doğrulanır.

Gerçekten de suyla şarabı bir araya koyduğumuzda karışmaları, entropi ilkesindendir. Karışım, birbirinden ayrı duran iki sıvıdan daha düzensizdir.

Bir yanda şarabın, diğer yanda suyun olduğu düzenli bir sistemden çıkarak düzensiz bir sistemi, pembe karışımı elde ederiz.

Böylece de Demokritos'a ve temel önemdeki deneyine geri dönmüş oluruz!

Ama Boltzmann Avrupa'da hiç kimseyi ya da neredeyse hiç kimseyi inandıramaz. Her sistem bir minimum enerji durumuna gider, deniyordu. Nokta, hepsi bu.

Problemin çözümünü Gibbs bulacaktır.

Gibbs, bir sistemin evriminin birbiriyle çoğunlukla çelişen iki "itki" tarafından yönetildiğini gösterir. Bunlardan biri minimum enerji durumuna, diğeriyse düzensizlik durumuna olan eğilimidir.

Doğada durum karmaşıktır; minimum enerji ve düzensizlik bazen bir aradadır, bazen birbirine karşıttır. Bu son durumda, güçlü olan kazanır.

Gibbs'in söylediği, Termodinamiğin yalnızca molekül davranışlarının basit bir toplamı olmadığı, bunların düzenlenişinin de göz önüne alınması gerektiğidir. Düzensizlikten kastedilen budur.

Ne yazık ki Gibbs'in çalışmaları Avrupa'ya ancak yavaş yavaş sızar ve yapayalnız, her yönden saldırı altındaki anlaşılmamış dâhi Boltzmann, 7 Eylül 1906'da intihar eder.

Karşıtlarına bir meydan okuma olarak mezarına "Entropiyi icat eden adam!" yazılmasını ister (Ancak çok sonraları, anısına saygı gereği yazılan bir söz).

Doğal olarak, bu istatistiksel fiziğin en doğrudan uygulamalarından biri kimyadadır; burada amaç, tüm kimyasal bileşiklerin gözlenebilir tüm özelliklerini moleküllerin ve bunları oluşturan atomların özelliklerinden ve biçimlerinden çıkarak açıklamaktır.

Mikroskobik boyuttan gözlenebilir boyuta taşınmaya çalışılan ilk özelliklerden biri, simetriydi. Gözle görülebilen simetriyi atomların düzenlenişindeki simetriden çıkarak nasıl açıklayabiliriz? Bu girişim, kristaller alanında hızlı ve yankı uyandıran bir başarı kazandı ve X ışınları yardımıyla kristallerin yapısının keşfinin gösterdiği gibi, papaz Haüy'ün öngörüsü doğru çıktı: o güzel düzlem yüzeyli kristallerin tüm simetrisi atom boyutunda açıklama buldu.

Buna karşılık, yumuşak maddeler (sıvı ya da gaz) üzerinde aynı girişimler başlangıçta başarısızlığa uğradı. Çünkü molekülle gözlemcinin gözünün arasına düzensizlik giriyordu; gazların ve sıvıların düzen eksikliği.

Kimyanın yararlandığı ikinci istatistiksel açıklama, kimyasal reaksiyonların açıklamasıdır.

Kimyasal reaksiyonlar kimyanın özüdür. Moleküller oluşturmak üzere atomları nasıl birleştirebiliriz? Bireşim kimyasının temeli olan, basit atomların birleşip karmaşık molekülleri oluşturmasını nasıl sağlamalı?

İstatistiksel fizik bize bunun bir açıklamasını verir. Moleküller hareketlidir, yer değiştirirler, rastlaşırlar, birbirlerine çarparlar. Bu çarpışmalarda bazen parçalanırlar ve parçalar yeniden, ama bu kez yeni biçimlerle birbirine yapışır ve böylece yeni moleküller oluşur. Demek ki çarpışma, kırılma, yeniden düzenlenme olasılıkları hesaplanabilir ve bundan hareketle kimyacı için temel önem taşıyan bir parametre saptanabilir: verimlilik. Moleküller hangi oranlarda birleşmeyi kabul ederler?

Örneğin, Karbon ve Oksijen, Karbonik Gaz oluşturmak için reaksiyona konduğunda, işlemin verimi nedir? Kimya sanayicisi için bu verimlilik hesabının temel önem taşıdığını anlayabiliyoruz, çünkü gelir getirisini hesaplamayı bu sağlar.

Daha genel olarak, kimyanın ortalamalarıyla, dağılımlarıyla vb. istatistiksel bir bilim olduğu, bu yaklaşım sayesinde anlaşılır.

Siyah nesnenin ışıması ve kuantum fiziğinin doğuşu

Ocağınızın levhasını ısıttığınızda, onun önce siyahken sonra koyu kırmızı, ardından da turuncumsu kırmızı bir renk aldığını gözlemlersiniz. Isıtmaya devam ederseniz sonunda mutlaka mavimsi olacaktır.

Bu deney, çünkü bu bir deneydir, sıcaklıkla ışık yayımının birbiriyle bağlantılı olduğunu gösterir. Bu, Eskilerin saptadığı ve bizim de ışıktan söz ederken değindiğimiz, Işık ve Ateş arasındaki ünlü ilişkidir.

Isıtıcı levha deneyine dönersek, eğer yayılan ışımayı ölçmüş ve bir prizmayla ayrıştırdıktan sonra bunun dalga boyları bileşimini –başka deyişle her dalga boyu diliminden yayılan enerjiyi– çözümlemiş olsaydık, baskın rengin gerçekten de görünen renk olduğunu, ama çevresinde yayılımı diğerlerinden daha zayıf olduğundan ayırt edilmeyen başka dalga boyları bulunduğunu görürdük (Bkz. Işık bölümü). Bu, daha bilimsel bir dille şöyle anlatılır: her sıcaklık derecesinde, enerjinin dalga boyuna göre dağılımı (bir tür enerji histogramı) hem "yükseklik" hem de biçimi bakımından değişiklik gösterir.

Bu olayın kesin, sayısal bir açıklaması nasıl olabilir? Buna fizikçiler, biraz daha da sembolleştirerek, siyah nesnenin (çünkü başlangıçta tamamen soğuktur!) ışıması adını verirler.

Bu problem de, optik deneylerle ve Alman Wien ya da Franck gibi bilim adamlarının açıkladığı yasalarla ortaya konmuştu. Dolayısıyla belirli, iyi tanımlanmış, ama hiç anlaşılmamış yasalara dayanıyordu!

Bu problem istatistiksel fizikte ele alınırken ısınan levhanın titreyen ve ışık yayan atomlar (ya da moleküller) içerdiği savlandı. İngiliz Jeans'ın yaklaşımı buydu. Ancak hesaplar, deneye dayanan eğrileri açıklayamıyordu.

Bu noktada, genç Alman fizikçi Max Planck problemin üzerine gitmeye karar verdi.

Onun için bu güçlüklerle dolu bir işti. Atom düşüncesini sevmiyordu (tam tartışmanın ortasındaydılar). Boltzmann'dan nefret ediyordu ve istatistiksel fiziği ve atomları andıran her şeyden kaçınıyordu. Bu nedenle Newton-Leibniz'in diferansiyel hesap ilkelerine dayanan klasik bir hesap yapmaya girişti. Sonuç alamadı.

Ama Max Planck iyi bir matematikçiydi. Hangi eğrileri elde etmesi gerektiğini biliyordu, Wien'in deneyle ortaya koyduğu eğrilerdi bunlar.

Denklemlerini düzenlemeye girişti. Bunu yapmak için de –istemeye istemeye– Boltzmann'ın geliştirdiği matematik yöntemlerini kullanmayı düşündü.

İşte bu yolla, bir mucize gibi, deneyleri tam olarak açıklayan formülü buldu.[55]

Ama yazdığı denklem fizikte anlamı olmayan, salt matematiksel işlemlerin bir meyvesiydi. Boltzmann'ın yaptığı ve herkesin reddettiği hesaplar uğruna klasik hesaplamaları terk etmek nasıl doğrulanabilirdi?

İşte o anda, dâhiyane olduğu sonradan ortaya çıkacak inanılmaz bir düşünce geldi aklına. Titreşen parçacıkların

55 Gerçekte, Einstein'ın 1905'te saptadığı gibi, hesabı yanlıştı, ama formülü doğruydu.

(atom ya da molekül) enerjilerini ancak "kıyılmış" biçimde, ayrı paketler halinde serbest bıraktıklarını savladı. Enerji, *kuantumlar* adını verdiği enerji birimlerine bölünür ve 1, 2, 3, ...n sayıda kuantumlar toplanarak ölçülür. Bu hipotez, denklemini "açıklamaya", kuramsal hesapların, fiziksel yorumların ve deneysel ölçümlerin birbirine uymasına olanak veriyordu.

Planck'ın aklı karışmıştı. Anlamıyordu. İçinden, kendi çalışmasının meyvelerini kabullenemiyordu (uzaktan etkili kuvvette Newton'ın yaptığı gibi). Atom düşüncesini ancak istemeyerek kabul etmişti, başka deyişle probleme titreşen moleküller aracılığıyla yaklaşım onu şaşırtıyordu. Ayrıca, şu parçalara ayrılmış –küçük parçalar da olsa– enerji düşüncesi ona tümüyle tutarsız geliyordu. Sonucu yayımlamakta kararsız kaldı. Oysa bu, kuantum devriminin yolunu açacaktı! Anılarında bile Planck, bu süreç hakkında şaşkın ve kuşkulu görünüyor. Onu iyice anlamayan ve açıklamayan, gönülsüz –hatta biraz da yaptığından utanan– bir kahraman gibi yansıyor okura.

Bununla birlikte, başarıya ulaşacak ve destanda kuantum kuramının babası olarak yerini alacaktır (notları arasında bulunan yayımlanmamış belgelere bakılırsa, kuramın gerçek babası kuşkusuz Boltzmann'dır. Sonuçta Bilim bir adalet cenneti değil).

Ama Planck'a ününü sağlayan ve kendisi de bilim anıtında en güzel yerlerden birine oturan kişinin adı Albert Einstein'dır.

Einstein ve fotoelektrik etki

Einstein kişilik olarak Newton'ın tam tersidir, ama bilimde onun ardılıdır. Üstün zekâlı, sempatik, iyi yürekli, popüler bilim adamıdır. Bir efsane adamı.

Kuşkusuz Einstein adı aynı zamanda, daha sonra değineceğimiz, Göreliliktir. Zaten herkesçe sevilmesini de büyük bir şakacılıkla bu Görelilik sözcüğüne bağlıyordu: "Göreli, her şey görelidir... benim ünüm buradan geliyor!"

Gerçekte, günümüz fiziğinin en büyük iki atılımının kaynağı Einstein'dır: Görelilik ve kuantum mekaniği; daha somut olarak da lazer ve modern saatler. Burada söz konusu ettiğimiz, bu ikinci buluşun konusudur.

Olağandışı gelişmeler olmuştu.

Zürih Federal Politeknik Okulu'nun (şimdiki ETH) eski öğrencilerinden, hatta orta karar bir öğrenci olan Albert Einstein, Bern'de beratlar bürosunda çalışıyordu.

1905'te bir dergide, hem de en ünlü Alman fizik dergisinde üç makalesi yayımlanmıştı. Biri Görelilik, ikincisi Brown hareketi (Boltzmann'ın istatistiksel fiziğine yeni bir sıçrama getirecektir), üçüncüsü ise fotoelektrik etki (kuantum mekaniğinin başlangıcı) üzerineydi.

Bu makaleler o kadar özlü, o kadar yeniydi ki yayımlandıklarında birçok Alman fizikçi Einstein adının, makalelerindeki önermeler devrimci denemezse de cesurca olduğundan ortaya çıkmaya çekinen ünlü bir bilginin takma adı olduğunu düşündü. Alman Fizik Derneği'nin bu gizemli Einstein'ın gerçekten var olduğunu kesinleştirmek için beratlar bürosuna bir görevli gönderdiği söylenir. Oradaydı, bürosunda yalnız, utangaç ve biraz da... muzip!

Einstein Görelilik üzerine çalışmasıyla ünlüdür ama ona 1921'de Nobel Ödülü'nü kazandıran (1922'de verilmiştir) çalışma, fotoelektrik etkinin açıklaması olandır.

Nedir bu fotoelektrik etki?

Büyük İngiliz fizikçi Lord Rayleigh'nin 19. yüzyılın sonunda fiziğin tüm gizemlerinin delindiğini, geriye yalnızca iyi anlaşılamayan fotoelektrik etkinin kaldığını, ama bu da anlaşıldığında her şeyin tamamlanacağını söylemesine

yetecek kadar gizemli bir olaydı bu. Tarih'in sonu! Francis Fukuyama'nın şu bitmez kuruntusu!

Bu açıklamadan kuantum fiziği devriminin çıkacağı kuşkusuz hiç aklına gelmiyordu.

Fotoelektrik etkiye dönelim.

Katot tüpleri üzerindeki deneyler sırasında (gelecek bölümde anlatılacak), katot çinkodan yapılmışsa ve morötesi ışınlarla aydınlatıldığında, çinko elektrik yükleniyordu ve havasız tüpün elektrik devresinde bir akım toplanıyordu. Bunda dönemin fizikçilerini şaşırtacak bir şey yoktu. Işık dalgalardan oluşuyordu, bu dalgalar enerji taşıyordu, bu enerji çinkoya aktarılıyor ve elektrik enerjisine dönüşüyordu, bu apaçıktı.

Ama bu olayın daha ayrıntılı incelenmesi birtakım daha garip davranışlar ortaya çıkarmıştı.

Eğer çinko levha görülür ışıkla aydınlatılırsa, ışık çok yeğin bile olsa, hiçbir elektrik etkisi görülmüyordu. Oysa ışık dalgalarının çinko levhaya aktarılan enerjisi oldukça yüksekti. Buna karşılık, çinko başka bir metalle, örneğin sodyumla değiştirilirse, görülür ışık fotoelektrik etkiyi başlatabiliyordu.

Bundan sonraki sistemli incelemeler, etkinin bir yandan ışık ışınımının frekansına, diğer yandan da metalin yapısına bağlı olduğunu gösterdi. Ama tüm bunlar açıklamasız kalmıştı. Tutarlı bir bütünsel kuramdan yoksunduk.

Einstein Planck'ın çalışmalarına ve enerji kuantumlarına başvurarak olaya aşağıdaki açıklamayı getirdi.

"Işık hem parçacık, hem de dalgadır", dedi. Işık taneciklerinin varlığına inanan Newton ile dalgalardan yana olan Huygens'in görüşleri arasında karşıtlık yoktur. Işık titreşen parçacıklardan, yani fotonlardan oluşur. Bu fotonların sayısı çok olduğunda bu titreşimler birleşir ve titreşim özelliği görülür duruma gelir. Bu, girişim olayındaki durumdur; başka durumlarda parçacıklara ilişkin olaylar önplandadır.

Bu ışık fotonlarının enerjisi, bunların titreşim frekanslarının bir fonksiyonudur. Ama bu enerji (W), Planck'ın öne sürdüğü gibi, yalnızca frekansla belirlenen paketlerle kendini gösterir; W = h.υ (Planck denklemi; burada υ frekans, h ise Planck sabiti denen bir sabittir).

Eğer bu h.υ enerji paketi, bir elektronu atomuna bağlayan enerjiden büyükse, elektron koparılır, bir elektrik etkisi görülür.

Daha düşükse, bir etki ortaya çıkmaz. Elektronun bağlanma enerjisi maddenin yapısına bağlı olduğundan, fotoelektrik etkinin görüleceği eşik değişir, ışığın rengi de değişir.

Genç Einstein'ın (yirmi altı yaşındaydı) bu cesur önermeleri fizikte büyük bir devrimin ilk adımını oluşturdu. Özel bir okulda tarih öğreten ama fiziğe tutkun olan ve kardeşi Maurice de Broglie'nin laboratuvarına (Champs-Élysées yakınlarında) düzenli olarak uğrayan genç (o da genç) Louis Broglie birkaç sayfalık bir tezde "Bay Einstein'ın ışık için gösterdiği ilişki tüm parçacıklar için, özellikle de elektron için geçerlidir" yazma cesaretini gösterince devrim başladı. Amerikalı Davisson ve Gerner'in elektronların oluşturduğu girişim saçaklarını keşfetmesiyle De Broglie'nin düşüncesi doğrulandı. Birbirine girişen elektronlar! O devirde inanılmaz geliyordu. Ama doğruydu!

Bu noktadan sonra kuantum fiziği gelişecektir; bu konuya geri geleceğiz. Kuantum fiziğinden çok söz edilir. Ama tüm bu serüvenin istatistiksel fizik hesaplarının sonucunda gelişti̇ği unutulur.

İstatistiksel fizik yaşlı bir hanımefendiyse de, aynı zamanda son derece modern bir tekniktir. Kuantum mekaniğinde Planck'ın kuantumlar kuramının çok ilerisindeki yeni kurallara uyan parçacık kümelerine başarıyla uygulandı: elektron kümeleri, ışık parçacığı kümeleri, fotonlar, nükleer parçacık kümeleri, vs.

Fermi-Dirac ve Bose-Einstein istatistikleri denen istatistikler de tanımlandı; tüm modern fizikçilerin kullandığı bir araç haline geldiler. Bunlara dayanarak çok kesin deneyler, çok temel buluşlar yapıldı. Yöntem, amaçlar Boltzmann'ınkilerle aynıdır, kurallar kuantum mekaniğinin kurallarıdır. Kuantum mekaniği sayesinde tüm bu ilerlemeler sağlanırken fiziğin daha klasik olanı da büyük ilerlemeler gösteriyordu...

Ölçeklerin değişmesi

Daha önce belirtildiği gibi, klasik istatistiksel mekanik, mikroskobik verilerden hareketle belirli makroskobik özellikleri hesaplamaya olanak verse de, kimi olaylar karşısında çaresiz kalıyordu.

Örneğin, maddenin özelliklerindeki ani değişmeleri hesaplamakta yetersiz kalınıyordu. Ne var ki bunlar temel önemdedir. Örnek olarak, su sıfır derece santigratta buza dönüşür, yüz derecede tümüyle, ansızın, ön belirtisiz, buharlaşır. Aynı biçimde, bir mıknatısı belli bir sıcaklığa kadar ısıttığımızda manyetik gücünü aniden kaybeder. Bu sıcaklığı 13. yüzyılda Pierre de Méricourt buldu, ama adını koyan, 19. yüzyılda Pierre Curie oldu. Bir kaya sıkıştırıldığında önce direnir, sonra ansızın, belirti vermeden kırılır; depremlerde görüldüğü gibi.

Bu ani değişmeler gösteren özellikleri açıklamak için genel davranış, doğrudan mikroskobik davranıştan hareketle hesaplanamaz. Geçiş aşamalı yapılır. Mikroskobik düzeyden hareket edilir (örneğin 10^{-10} metre), ardından 10^{-9} metre boyutundaki toplulukların ortalama özelliği hesaplanır. Böylece yeni bir "parçacıklar" grubu ile karşı karşıya kalınır. Bu iri (daha iri) parçacıkların yardımıyla, 10^{-8} metre ölçeğindeki ortalama özellikler hesaplanır, ve böyle sürdürülür...

Ardından 10^{-4}, 10^{-2} ve son olarak da 1 metre için aynısı yapılır. Doğal olarak her işlemde, ele alınan gruplar arasındaki etkileşim yasalarını düşünmek gerekir. Ama deney gösteriyor ki en ünlü örneği Yeniden Ölçünleme Grubu veya kimilerince Ölçekler Kanunu adı verilen bu hesaplama yöntemi son derece etkilidir.

Yalnızca makroskobik özellikleri kesin olarak hesaplamayı sağlamakla kalmaz, önsel olarak birbirlerine tamamen yabancı olan olayların birbirine özdeş davranış yasalarını ortaya koymaya da olanak vermiştir: buharlaşma ve Curie noktası, uzun zincir halindeki moleküllerin mekanik özellikleri ve depremler, vb.

Maddenin bu davranışlarının mikroskobik ve makroskobik düzeyler arasındaki ara ölçekler için incelenmesi henüz tamamlanmadı.

Yeniden Ölçünleme Grubu yönteminin yaratıcısı Ken Wilson'ın dediği gibi, su molekülünün özelliklerinden çıkarak deniz dalgalarının özelliklerini hesaplamak kesinlikle zordur, ama aşamalı işlem yaparak, maddenin tüm ara ölçeklerinden geçerek bu serüvene girişilebilir kuşkusuz.

Bu denendi... başarıldı... ve atom, molekül ve duyulur dünya arasındaki ölçeklerdeki maddeler düzeninin de belirli, her ölçekte birbirine benzer ama birbirinden farklı yasalarının bulunduğunu keşfettik.

Bu yöntemlerden hareketle, Pierre-Gilles de Gennes gibi bilim adamları, daha önceleri iyi anlaşılmamış olaylar için geçerli bir fizik geliştirdiler. Bir su damlasının akışı, altındaki dayanağın yapısına göre nasıl belirlenir? Birbirine dolaşmış uzun bir moleküller karışımının davranışı nasıldır ve buradan çıkarak, yapışkanların özelliklerini nasıl öngörebiliriz? Ne katı, ne de sıvı olan, "yumuşak madde" denen maddenin özellikleri nedir?

İşte sanayide veya başka yerde çeşitli pratik uygulamalara olanak veren bir dizi temel inceleme.

Bunun yanında, maddenin biçimler oluşturmak üzere ara ölçeklerde nasıl düzenlendiğini de bu yaklaşım sayesinde anlamaya başlıyoruz. Aristoteles, maddeyi biçiminden ayırt etmek istemiyordu ve atom düşüncesiyle bu yüzden savaşmıştı.

Ardından bu düşünce kendini kabul ettirmiş ve biçimle yalnızca kristaller için ilgilenilmişti.

Oysa biçim, kuşkusuz, nesnelerin açıklanması gereken temel bir özelliğidir, özellikle de canlı varlıklar söz konusu olduğunda. Nasıl oluyor da bir organ şu ya da bu biçimi alıyor? Onu oluşturan moleküller nasıl buna göre düzenleniyorlar? Daha dün yersiz kaçan, ama modern fizik, kimya ve biyolojinin bugün başarıyla yanıtlamaya başladığı birçok soru.

Bilim böyle ilerler.

8

Atom Devrimi

Demokritos, maddenin en küçük biriminin atom olduğunu düşünüyordu. Bugün onun bu düşüncesinin yanlış olduğunu ve daha küçük madde taneciklerinin, "atomun kısımları"nın varlığını biliyoruz. Bunlara parçacıklar da deniyor.

Atomun bir iç yapısının, özünün keşfedilmesi, bilimin en olağanüstü serüvenlerinden birini oluşturur. Tarihsel olarak, 19. yüzyılın sonundan 1930'lu yıllara kadar süren ara dönemde olmuştur bu.

Ama bu, özellikle keyifli bir dönem değildi. Fransızlar 1914'e kadar, 1870'in öcünü almayı bekliyorlardı ve Almanya'nın bilimsel ve teknik gücü karşısında aşağılık duygusu içindeydiler. Pozitivizm denen şu felaket getirici öğreti onlara şiddetli biçimde bulaşmıştı. Fransa'ya kalıcı bir bilimsel atılım getireceklerini sananlar onu uzun süre kösteklemiş oldular.

İngiltere 1870 savaşından sonra Almanların yengin kendini beğenmişliğini endişeyle izliyordu. 1914'ten sonra da Fransızların ve İngilizlerin kendini beğenmişliği Almanlara katlanılmaz gelecektir; bununla birlikte...

Kısacası, serüven çok gergin bir uluslararası ortamda geçer. Ama içinde gelişen olayları iyi kavramak ve güzelliğini anlamak için onun en son bulgusunu bilmek gerekir: atomun yapısı.

"Çağdaş" atomun yapısı

Bir kez daha anımsatalım: tüm atomlar ortak bir şemaya göre yapılanmışlardır.

• Merkezde bir *çekirdek*. *Atomun hemen tüm kütlesini* barındırır. *Artı* elektrik *yükü* taşır.

• Çekirdeğin çevresinde "anarşi içinde" *elektronlar döner*. Bu çok küçük kütleli parçacıkların her biri *eksi elektrik yükü* taşır. Çekirdeklerle elektronlar arasındaki elektrik çekimiyle elektronları çekirdeğin çevresinde tutan bu eksi yüktür.

Atom yapısının değişmezliğini sağlayan güçler elektrik türündendir, tam belirtirsek elektromanyetiktir.

Gerçekte, elektronlar çekirdeğin boyutlarına oranla oldukça büyük boyutlardaki bir uzamda hareket ederler. Bir atomun boyutları, yani elektronların hareket ettiği alan, angström (Å) cinsinden ölçülür (1 Å, santimetrenin yüz milyonda biridir, 10^{-10} metre olarak yazılır). Çekirdeğin boyutlarıysa 10.000 ila 100.000 kez daha küçüktür.[56]

Atom, belirttiğimiz gibi, çekirdek çevresindeki elektronların hareketinin doldurduğu bir boşluktur.

Bir atomu büyük ölçüde, çekirdeğinin çapını bir ya da iki metreye çıkaracak kadar büyütürsek, elektronun hareket ettiği uzamın yarıçapı Paris-Orléans arasındaki uzaklığa eşit gelir: 100 kilometre.

Atom elektriksel bakımdan nötrdür. Elektronlar da eksi yüklü olduğuna göre, çekirdeğin elektrik yükü artıdır. Çevresinde dönen elektronların sayısının mutlak değeriyle ölçülür. Büyük bir boşluk içindeki çekirdek ve elektronlardan oluşan bu yapı tüm atomlarda aynıdır, ama tüm atomlar özdeş değildir. Hidrojen atomunun bir tek elektronu vardır, Uranyum

56 Buna karşın elektronların kesin boyutları, burada anlatılamayacak kadar karmaşık nedenlerle, tam olarak bilinmiyor.

atomunun 92. Atomlar birbirlerinden karmaşıklık derecelerine göre ayrılırlar. Boşluk, elektronların hareketiyle az çok doldurulur.

Uranyum atomu Hidrojen atomundan çok daha büyüktür, çünkü hızlı ve durmaksızın hareket eden 92 elektronun (hepsi eksi yüklü olduğu için birbirlerini elektriksel olarak iterler) "doldurduğu" uzam, tek bir elektronun doldurduğundan daha büyüktür. Oldukça basit bir biçimde, her kimyasal element, atom çekirdeğinin çevresinde dönen elektronların sayısıyla tanımlanır.

Atomun bu ilk betimlemesini, ona bu ilk yaklaşımı tamamlamak için, çekirdeğin kendisinin de *karmaşık* bir yapıda olduğunu ve başlıcaları *nötron* ve *proton* adı verilen *parçacıklardan* oluştuğunu belirtelim. *Nötron* elektriksel bakımdan yüksüzken, hemen hemen aynı kütleye sahip olan *proton* artı elektrik yükü taşır. Atomun elektriksel olarak nötr olmasını sağlamak için, başka deyişle artı yüklerin eksi yükleri dengelemesi için, çekirdekteki *protonların sayısı*, çevresinde dönen *elektronların sayısına* eşittir. Nötronların sayısı elektrik dengesinde hiçbir rol oynamaz. Nötronlar orada, bir anlamda yedekte dururlar. Ağırlıklarıyla ya da belki daha karmaşık özellikleriyle bir büyüklükleri vardır, ama yükleriyle değil, çünkü yükleri yoktur. Ama şu önemlidir: sayıları aynı element içinde bile, bir atomdan diğerine değişir. Atomun yapısını daha da karmaşık yapar bu.

Hidrojen atomu çekirdeğinin bir protonu vardır ve hiç nötronu yoktur; Uranyum atomunun çekirdeğinde 92 proton ve... 146 nötron vardır! Öyleyse Hidrojen atomundan çok, çok daha ağırdır. Demokritos'un basit ve toplu duran atomundan çok uzaklardayız.

Atomun bu iç yapısına girince Demokritos'la, daha doğrusu onun görüşüyle ilgimizi kestik. Maddenin boşluktan ve atomlardan oluştuğunu söylüyordu. Bugün buna şunu ekli-

yoruz: zaten atomun kendisi de boşluktan ve parçacıklardan oluşur.

Birtakım temel noktalar üzerinde yoğunlaşarak, bu atom modelinin nasıl kurulduğuna hızlıca bakalım.

Öyleyse 19. yüzyılın sonuna dönelim...

Katot ışınlarının savaşı

Elektrik olayını iyi anladıktan, tuzlu suyun elektrik akımını ilettiğini gösterdikten ve elektroliz olayını iyice açıkladıktan sonra Michael Faraday, gazların ve boşluğun da iletken olup olmadığını anlamak istedi. Bir Volta pilinin ya da yeni icat etmiş olduğu elektrik jeneratörlerinden birinin iki ucuna bağladığı katot ve anot tüpleri oluşturmuştu. Tüpün içini boşaltmıştı. Aslında tam boşluk sağlayamamıştı ve tüp az yoğun gazla dolu kalıyordu, ama o bunun pek farkında değildi.

Akımı geçirdiğinde katottan anoda doğru giden soluk bir ışık gözledi (bugün neon tüpleriyle aydınlatmada kullanılan ışık). Çok geçmeden bu ışığa "katot ışını" adı verilecekti. Bu ışığın yapısı neydi? Faraday'dan sonrakiler bunu soracaklardı.

Faraday'ın yaptığı montajı çok geliştiren İngiliz Crookes'a göre, burada söz konusu olan, elektroliz sırasında oluşanlar gibi parçacıklar, bir tür iyonlardı; kalan boşlukla sürtünerek ışık yaratıyorlardı.

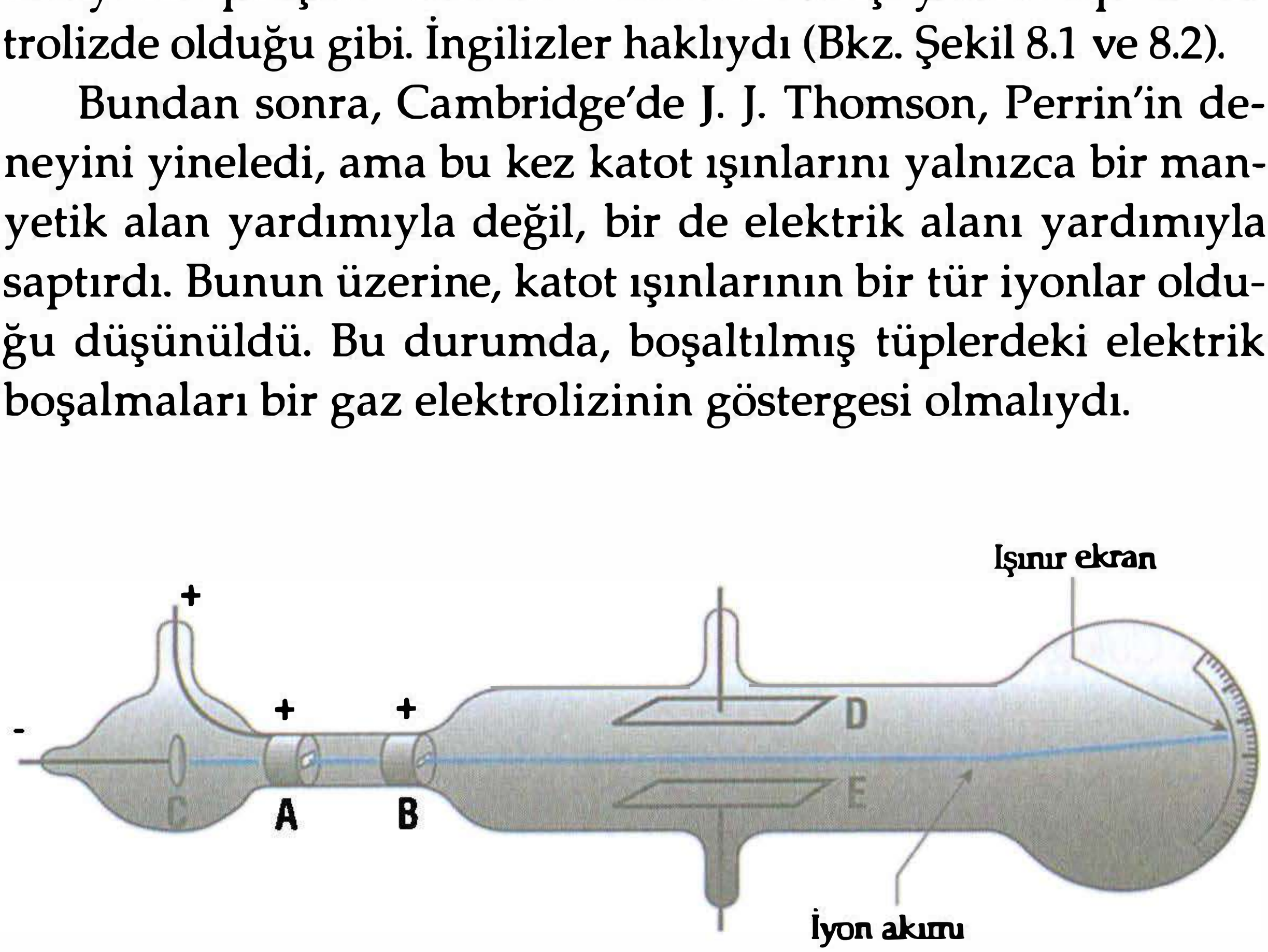
Hertz'in (elektromanyetik dalgaların "kâşifi") öğrencisi olan Alman Lenard'a[57] göre bunlar kesinlikle dalgaydı. Dalgalar, kalan boşluğu uyarıyor ve soluk ışığı oluşturuyordu.

Karşılıklı acımasız atışmalar ve kanıtlamalar sürüyordu, öyle ki tartışma kısa sürede bir ulusal rekabet havası, bir Al-

57 Lenard, Nobel ödülü alır ve Hitler'in atom silahı yapma girişiminde onun yanında önemli bir rol oynar.

man-İngiliz kavgası halini aldı. Yüklü parçacıklar lehine kesin kanıtı 1895'te genç bir Fransız, Yüksek Öğretmen Okulu (Fransız fiziğinin büyük merkezi) fizik laboratuvarlarında genç bir yardımcı doçent olan Jean Perrin öne sürecektir. Bir mıknatıs yardımıyla katot ışınlarını (soluk ışığı) saptırır ve ışınların tüpe çarptığı yere bir Faraday kafesi, yani bir metal kutu yerleştirerek bir elektrik akımı yakalar ve bunu ölçer. Buna göre, katot ışınları gerçekten de bir elektrik akımından, başka deyişle elektrik yüklü parçacıkların bir akımından oluşuyordu. Tıpkı elektrolizde olduğu gibi. İngilizler haklıydı (Bkz. Şekil 8.1 ve 8.2).

Bundan sonra, Cambridge'de J. J. Thomson, Perrin'in deneyini yineledi, ama bu kez katot ışınlarını yalnızca bir manyetik alan yardımıyla değil, bir de elektrik alanı yardımıyla saptırdı. Bunun üzerine, katot ışınlarının bir tür iyonlar olduğu düşünüldü. Bu durumda, boşaltılmış tüplerdeki elektrik boşalmaları bir gaz elektrolizinin göstergesi olmalıydı.

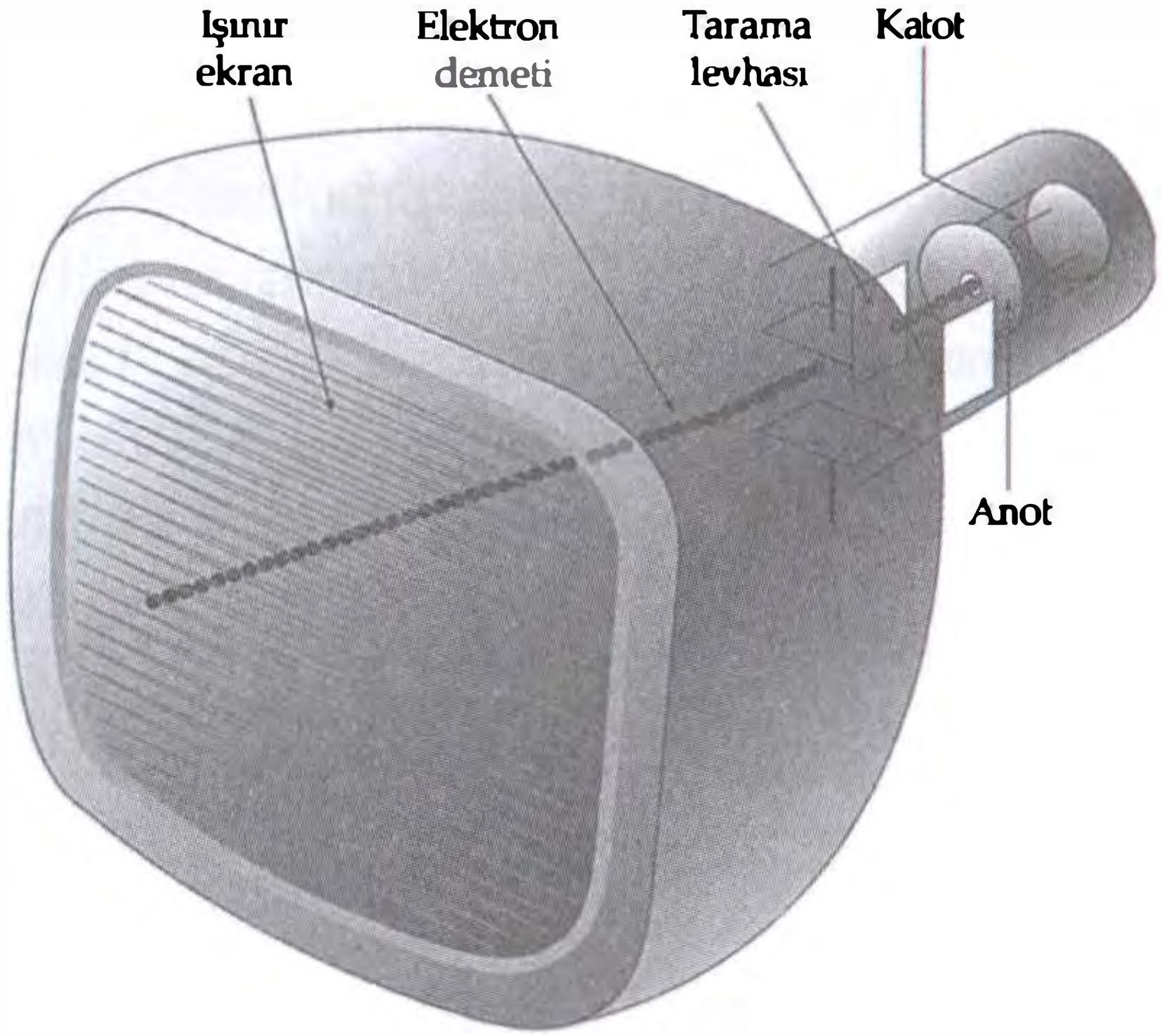


Şekil 8.1
C katodundan yayılan bir katot ışınları demeti A ve B'de odaklanmıştır, bir elektrik alanının hâkim olduğu D ve E arasından geçer. Tüpün dışına yerleştirilmiş bobinlerle, elektrik alanına dik bir manyetik alan yaratılır (E. Segré'den alıntı).

Thomson, elektromanyetizmanın matematik formüllerinin yardımıyla, uygulanan elektrik ve manyetik alanların yeğinliğine bağlı olarak ışınların sapmalarını ölçerek, elektrik

yüküyle parçacıkların kütlesi arasındaki oranı hesaplar. Buna ilginç bir işlevsel sav da ekler: elektrik yükünün değeri olarak Faraday'ın elektroliz deneyleri sırasında belirlediği başlangıç elektrik yükünü alırsak, yüklü parçacık için bulunan kütle çok, çok azdır. En hafif olan Hidrojen atomundan 1.800 kez daha hafiftir. Öyleyse katottan anoda giden bu parçacıklar, elektrolizdeki gibi atomlar ya da iyonlar değildir.

Nedir bunlar? Thomson pek bilemez ama onları *cisimcik* diye adlandırmayı önerir; çok geçmeden bu ad *elektron* (elektrik taşıyıcısı) sözcüğünün karşısında silinecektir.



Şekil 8.2

Katot ışınlı tüpler, daha yaygın adıyla katot tüpleri, televizyon alıcılarında kullanılır. Daha önce gördüğümüz gibi, Thomson katot ışınlarının (görünmeyen) menzilini, bu ışınlarla cam tüpün arasındaki etkileşimin yarattığı ışıklı noktadan hareketle belirliyordu. Işıklı nokta, bugün katot tüplerinin ışınır ekranında görüntü oluşturmaya yarıyor. Bir televizyon tüpü izleyiciye yönelmiş bir katot tüpüdür. Tüpün içinde katot ışınları elektriksel güçlerle saptırılır ve ışınır ekranı süpürürler. Özel bir katmanla kaplı bu ekrana katot ışınları çarptığında ışıklı bir nokta oluşur. Televizyon sinyali katot ışınlarının yeğinliğini her an kontrolde tutar, öyle ki ekranın üzerinde istendiği gibi aydınlık ya da karanlık noktalar oluşturulur. Beynin ve gözün bu yapıların değişmesine göre yavaşlığı, yaratılan resmin toptan bir görüntüsünü almamızı sağlar (Steve Weinberg'den alıntı).

Peki bu *elektronlar* nereden gelir? Ancak katottan gelebilirler. Öyleyse elektrik akımı katottan elektronlar koparmıştır. Demek ki katı ve metalik olan katotta kendisinden kopabilecek elektronlar vardır. Demek ki elektronlar eksi yüklü parçacıklardır ve katı maddenin temel yapı taşıdırlar.[58] Katot ışınları dalga değil, madde parçacıkları, madde cisimcikleridir.

Thomson düşünmeyi daha da ilerletip kendi kendine sorar: madde yalnızca elektronlardan mı yapılmıştır? Bunun üzerine, elektronların başrolü oynadığı bir atom modeli oluşturur. Ona göre atom, sınırlı çaptaki bir küre içerisinde dönen elektronların bir yapılanmasıdır. Son derece ince çeperi olan bu küre, bütünün elektriksel olarak nötr olmasını sağlamak üzere artı yük taşır ve içerisinde bir elektron topluluğu barındırır. Ancak, artı elektrikli çeperin yapısını çözemiyor olmanın yanında, Thomson bir de kütle problemiyle karşı kaşıyaydı. Herhangi bir elementin tek bir atomunun kütlesini hesaplamak için atomik kütleyi 6,02 x 10^{23}'e bölmeyi Avogadro'dan beri biliyorduk! Ama bu derece hafif olan elektronlarla bu kütle nasıl açıklanırdı? Thomson, bir tek atomun binlerce elektron barındırdığını düşünmekte tereddüt etmez!

Verimli rastlantılar çağlayanı

"Şans ancak hazır olan kafalara yardım eder" diyordu Pasteur.

Dalgaların varlığını kanıtlamak ve böylece Almanların kuramını doğrulamak için katot tüpleri üzerinde deneyler yapan, o dönemde Würzbrug Üniversitesi'nde profesör olan Wilhelm Conrad Röntgen, rastlantı sonucu X ışınlarını bul-

58 Elektronun kütlesi 9.109x10-31 kg, Hidrojen atomunun kütlesi 1.62x10-27 kg'dır.

du. Kullandığı katot tüpünü siyah kartonla kaplamıştı ve Lenard'ın öne sürdüğü gibi tüpten dalgalar çıkıp çıkmadığını anlamaya çalışıyordu. Yakınına detektör görevi yapan bir ışınır ekran yerleştirmişti.

Elinin iskeletinin ışınır ekran üzerine yansıdığını görmek ne büyük sürprizdi! Deneyi yineledi. Işınır ekranın yerine bir fotoğraf levhası koydu ve bununla ilk radyoloji klişesini elde etti: siyah zemin üzerinde açık renkle parmağının kemikleri...

Maddeyi delip geçen ama kemiklerde durup kalan bu gizemli ışınlar neyin nesidir? Röntgen bilmiyordu; tek bildiği, büyük bir buluş yaptığıydı. Bunu eşine söyledi ama biraz paranoyakça, konunun ne olduğunu söylemedi. Gece gündüz çalıştı. Deneyleri arttırdı. Her şey birbirini tutuyordu. Tamam işte. Yeni ışınlar bulmuştu. Katot ışınları dalgadır. Almanlar haklıdır.

Bu ışınlara X adını vererek (X, cebirde ana bilinmeyen) çalışmasını yayımlar.

Bununla 1902'deki ilk Nobel Fizik Ödülü'nü alacaktır; her ne kadar X ışınlarının yapısı ancak on altı yıl sonra, Münih'te Max von Laue'nin çalışmaları sayesinde anlaşılmış olsa da. Röntgen'in 1895'te yaptığı buluş, Avrupa'da kısa sürede büyük bir coşku yaratır. Öncelikle doktorlarda, çünkü artık insan vücudunu incelemeye olanak veren bir yönteme sahiptirler ve bu tekniği hemen kullanıma koyarlar, ama aynı zamanda da bu yeni olaydan kafası karışan fizikçiler arasında.

Temelde Röntgen'in buluşu sorun yaratır. Jean Perrin ve Thomson'un katot ışınlarının parçacıklardan oluştuğunu kanıtladığı sanılıyordu, ama işte bu Alman, aynı anda dalgaların da varlığını gösteriyordu, çünkü parçacıkların siyah kartondan geçmesi düşünülemezdi!

Doğa, kesinlikle gerçeklerini iyi saklıyordu.

Jardin des Plantes'ın[59] *bir sundurması altında...*

Henri Becquerel, o sıralarda Tabiat Tarihi Müzesi'nde fizik profesörüdür. Jardin des Plantes'ta (şu andaki Cuvier Caddesi'nin hemen yakınında) küçük bir laboratuvarı vardır. Ciddi bir fizikçidir, son dönemde ışınırlık olaylarının incelemesinde uzmanlaşmış bir fizikçiler sülalesinin oğludur. Işınırlık, kimi cisimlerin taşıdığı, aydınlatıldıktan bir süre sonra ışık yayma özelliğidir. Işığın bir tür depolanması olarak düşünülebilir.

X ışınlarıyla ilgileniyordu, çünkü yayınlarından birinde Röntgen, bunların boşaltılmış tüpün katot ışınlarının çarptığı bir yerinden çıkar gibi göründüğünü ve bu noktanın ışınırlık kazanmış gibi geldiğini belirtmişti. Işınır, ışınır... Becquerel X ışınlarının, Becquerel ailesinin uzmanlık konusu olan ışınırlıktan kaynaklandığına inanmıştır.[60]

Böylece, ışınırlık özellikleri iyi bilinen sarı Uranyum filizi üzerinden deneylere girişir.

Güneşe bırakılıp ardından bir fotoğraf levhasının yanına konan Uranyum tuzu, fotoğraf levhasını lekeleyen ışınlar yayar. Uranyumla fotoğraf levhası arasına bir cisim konduğunda cismin biçimi belirir. Becquerel, X ışınlarının sırrını deldiğinden kuşku duymaz. Bu ışınlar Güneş altında aydınlatılınca, ışınırlık olayının en üst ve en görkemli örneğini verirler.

Ama 1896 Şubat ayı sonunda Paris'te hava bozar. Güneş olmayınca ışınırlık olanaksızdır.

Becquerel fotoğraf levhasını Uranyum filiziyle karşı karşıya getirirken hiçbir sonuç almayı beklemez. Sürpriz: fotoğraf levhası etkilenmiştir. Bu durumda filizi karanlığa kapatır: filiz, fotoğraf levhasını etkilemeye devam eder. Öyleyse söz

59 "Botanik Bahçe", Paris'te botanik çalışmalarının ve biyoloji araştırmalarının yapıldığı bir bilim kurumu. (ç.n.)

60 Bunu Nobel Ödülü'nü alırken belirtir; radyoaktiviteyi babasının ışınırlık üzerine çalışmış olması sayesinde bulduğunu açıklar.

konusu olan ışınırlık değil, başka bir şeydir. Becquerel hem düş kırıklığı, hem de sevinç içinde buluşunu Paris Bilimler Akademisi'ne sunar; nedenini açıklamadan. *Radyoaktivite*'yi keşfetmiştir, nedeni bilinmeyen bir *"radyo"* [yayım] olayını.

Fransız-İngiliz rekabeti

Becquerel'in yaptığı keşiften kısa bir süre sonra, genç Fransız fizikçi Pierre Curie, Polonyalı yepyeni talebesi Marie Sklodowska'ya, Becquerel'in yeni keşfettiği garip olayı aydınlatmayı denemesini önerir. Doktora tezinin konusu bu olacaktır.

Pierre Curie daha önce bir elektrometre yapmıştı; elektrik yüklerini ölçmeye yarayan bir alet. Radyoaktif maddelerin elektrometreyi harekete geçiren ışınlar yaydığını Marie ile birlikte gözlemledi. Demek ki bunlar elektrik yüklü ışınlardır. Elektrometre her durumda radyoaktif maddelerin etkinliğini ölçmeye olanak veriyordu. Curie'lerin hemen işbirliği yaptıkları Becquerel, bu ışımaların karmaşık olduğunu gözlemler: kimisi manyetik alanlara karşı duyarlıdır, kimisi değildir. Bu kimi durumda açıktır, kiminde pek değildir.

Bu sırada Fransız üçlüsüne karşı görülmemiş sertlikte bir polemik başlayacaktır.

Çok ilginçtir, Pierre Curie kimyasal olarak arındırılmış bir gram Uranyumun "etkinliği"nin (elektrometrede oluşan sinyal), bir kiloluk bir kaya içerisine dağılmış bir gram Uranyumunkinden daha az olduğunu ortaya koyar. Kısacası, yoğunluğu azaltılmış uranyum, konsantre uranyumdan daha etkindir. Sulandırılmış içkinin saf içkiden daha sert olduğunu düşünün! Anlaşılmaz olurdu bu!

İngilizler hemen köpürerek Fransızların boş şeyler söylediğini, ortaya attıkları bu yeni olayın "büyülü", doğaüstü ol-

duğunu söylerler. Becquerel ve Curie'ler neredeyse şarlatanlıkla suçlanacaklardı!

Marie Curie sağlam bir sağduyuyla ve derin bir sezgiyle yanıtlar: eğer kaya daha etkinse bu, Uranyumdan başka radyoaktif maddeler de içermesindendir ve gösterilmesi gereken de budur!

Artık ondan sonrası, "ara" radyoaktif elementleri ayırmayı amaçlayan inatçı, sabırlı, yıpratıcı ve tehlikeli çalışma olacaktır.

Ilk keşfedilen ara radyoaktif elementi Marie, Polonya'ya ithaf eder: Polonyum. Ardından, radyoaktif ışımaların (buna daha sonra döneceğiz) taşıdığı tehlikeden habersiz olan Curie'lerin ve özellikle Marie'nin bu uğurda yaşamını vereceği, Radyum'u ayırma süreci gelecektir.

Düşünün ki Curie'ler Radyumu ayırmak için Bohemya'da Joachimsthal madenlerinden gelen tonlarca Uranyum filizini işlediler! Böyle bir kimya... Kuvvetli asitlerle[61] kayaların çözülmesi, dev kaplarda ayrıştırılması... ve bunların tümü radyoaktif! Paris'teki Fizik ve Kimya Okulu'nun onların kullanımına verdiği, Pierre-Gilles de Gennes'in yirmi beş yıl yöneteceği, Vauquelin Sokağı'ndaki hangar, kayayı çözmek için gerekli olan hidroflorik, sülfürik, nitrik asit buharlarıyla dolu olmalıydı, hepsi de boğucu bir sıcaklıkta. Gerçek bir karabasan!

Ama bu arada bir ortak –aynı zamanda güçlü bir rakip– edineceklerdir: genç bir Yeni Zelandalı, Ernest Rutherford.

Rutherford Cambridge'e ayak bastığında J. J. Thomson'la birlikte manyetik olaylar üzerinde çalışmaya başlar. Fizikteki son ilerlemeleri hayranlıkla keşfeder: X ışınları, elektron, radyoaktivite... İçinde bir tutku uyanır, sezgileri içini kemirir. Bu yeni buluşlar ona manyetizmadan çok daha ilginç gelmektedir. Peki bunu kararlı "patron" J. J. Thomson'a nasıl kabul ettirmeli? Kısa bir süre sonra şans yardımına koşar.

61 Hidroflorik asit (FH), sülfürik asit (SO4H2), hidroklorik asit (ClH).

Rutherford, bir profesör kadrosu ararken Cambridge'i bırakıp Montreal'deki McGill Üniversitesi'ne gider. Orada kendisini radyoaktivite çalışmalarına verebilecek ve henüz pek az kimsenin ilgilendiği bir araştırma alanında kesin bir katkı yapacaktır. Diyebiliriz ki radyoaktiviteye ilişkin tüm önemli buluşlar *küçük Fransız grubu ve küçük Kanada grubunun çalışmaları* sonucunda olmuş, başkaları ilgisiz kalmıştır. Curie'ler ve Rutherford'un katkıları birbirine öyle karışmıştır ki birini ötekinden ayırmak zordur: bazen esin Paris'ten, gerçekleşme Montreal'den gelmiş, bazen de tersi olmuştur. Böylece sonuçlar birbirini izlemiştir.

Radyoaktivite, kimyasal yapılarına ya da fiziksel durumlarına (gaz, sıvı, katı) bağlı olmaksızın bazı kimyasal elementlerde kendiliğinden bulunan bir olaydır. Bu olay bazı elementlerin başka elementlere dönüşümüdür (değişimidir).

Bu düşünce öylesine cesurcaydı ki Rutherford önce onu yayımlamaktan çekindi ve McGill'deki meslektaşı kimyacı William Soddy'ye şöyle dedi: "Simyaya çok fazla benziyor, herkes gülecek!" Ama radyoaktivite simyadır ve olağandışı niteliği de budur.

Uranyum ve Toryum, birçok elementi kapsayan zincirleme radyoaktif bozunmaların "babaları"dır; bu elementler arasında Polonyum, ünlü Radyum, ayrıca Uranyum yataklarından kaçan ve Radon adı verilen bir gaz da vardır. Marie Curie'nin sezinlediği gibi, gerçekten de bir radyoaktif elementler zinciri söz konusudur.

Tüm radyoaktif elementler aynı matematiksel değişim yasasına uyarlar: negatif üstel dağılım yasası. Bu, son derece basit bir yasadır. Birim zamanda değişime uğrayan atomların sayısı var olan atomların sayısına oranlıdır. Atomun kimyasal yapısı veya fiziksel çevresi ne olursa olsun bu geçerlidir. Bu yasa hem Pierre Curie, hem de Ernest Rutherford tarafından ortaya atılmıştır; her ikisi de bunun kayaların yaşını ölçmeye,

jeolojik yaşları belirlemeye olanak vereceğini öne sürmüşlerdir. Benim gündelik bilimsel yaşamımı da bu sezgi belirledi.

Birçok deneme-yanılmadan, üst üste deneylerden sonra en sonunda, radyoaktiviteye adını veren ünlü ışımaların doğasını açıklamayı başarırlar.

Radyoaktif zincirden bahsettik, çünkü süreç bir dayanışma zincirine benzer. (A) bozunur ve (B)'yi doğurur, (B) de bozunup (C)'yi doğurur ve bu da (D)'yi oluşturur, vb. Bu bozunmalar sırasında ışınlar yayılır.

Bazıları kolayca içe geçen X ışınlardır, bunlara γ adı verilir; sağlığa en zararlı olanlar bunlardır, çünkü bedene çok derinlemesine işler ve sonunda kanserlere neden olurlar. Diğerleri elektrik yüklü parçacıklardır – kimi eksi yüklü, bunlar elektronlardır (β ışınları), kimi artı yüklü, bunlar da iyonlaşmış Helyum atomlarıdır (iyona dönüşmüş; α ışınları). Helyum, normal sıcaklıkta gaz halinde bulunan bir kimyasal elementtir, o dönemde yeni bulunmuş ve ayrılmıştır.

Ilk kuşkuculuk yıllarından sonra bilim dünyası, uzun süre aktif bilim çalışmasının kıyısında kalan bu buluşların önemini en sonunda anladı. Böylece, öncülerin gerçekleştirdiği olağanüstü çalışmalar, sonunda değerini buldu.

Tüm bunlar birçok bilimsel ödülle noktalandı; Nobel Ödülü, araştırmacıların dünyanın çeşitli akademilerine kabul edilişi (yalnızca Marie dışında, çünkü o bir kadındır!).

Ne yazık ki talihsizlik Fransız takımını vuracaktır. Pierre Curie'ye Bilimler Akademisi'ne seçildiği (nihayet!) dönemde, 16 Nisan 1906'da, gemi azıya almış bir araba çarpar. İki yıl sonra da Henri Becquerel, elli altı yaşında ölür.

Marie Curie, artık çok küçülmüş olan Fransız takımını canlı tutmakta ve Ernest Rutherford'un takımıyla rekabeti sürdürmekte yalnız kalır; Rutherford'un takımıysa çok sayıda yetenekli öğrenciyle zenginleşmişti, çünkü İngilizler bu araştırma alanının temel bir önem taşıdığını çabuk anlamışlardı.

Marie birkaç yıl sonra kızı İrène ve sonra damadı olacak olan Frédéric Joliot ile çalışmaya başladı; zamanı geldiğinde onlar da Nobel Ödülü aldılar.

Atom çekirdeğinin keşfi

1910'da Ernest Rutherford İngiltere'ye dönmüştü, artık Manchester'da profesördü. Hâlâ radyoaktif ışımanın sırrını aralama çabasındaydı; bunun temel yapısını ve özelliklerini anlamak için radyoaktif zincirden bir elementin, Marie Curie'nin keşfettiği ünlü Polonyumun yaydığı α ışınlarını kullandı.

Çok ince metal yapraklarını (altın ve alüminyum) bombalamak için α ışınlarını kullanmayı düşündü.

Çok ince bir alüminyum yaprağı Polonyumun yaydığı parçacıklarla dövüp neler olduğunu gözledi.

Bunların büyük çoğunluğu alüminyum yaprağı bir doğru çizgide geçer. Madde sanki boşluklardan yapılmıştır!

Bazıları alüminyum yaprağı bir sapmayla geçer, daha az sayıdaki bir kısmı da alüminyum yaprağından, sözün tam anlamıyla, geri sıçrar.

Deneyi yineler ve aynı sonucu elde eder.

Buradan hareketle, alüminyum yaprağın yapısında *çok ağır çekirdekler* bulunduğu sonucunu çıkarır; o kadar ağırdırlar ki Helyum çekirdekleri bunların üzerinden geri sıçrar. Artı elektrik yüklü olmalıdırlar, çünkü böylece artı yüklü helyum atomlarını saptırabilirler. Sapan α ışınlarıyla geri sıçrayan α ışınlarının oranlarını göz önüne alan bir olasılık hesabı, bu "sert çekirdekler"in çok küçük olduğunu gösterecektir.

Rutherford, buradan çıkarak, sonuçlandırıcı savını kurar. Bu çok ağır ve çok nadir küçük noktalar *atom çekirdekleri*dir, der; eksi yüklü elektronlar bunların çevresinde dönüyor olmalıdır.

J. J. Thomson'un atom ikilemini bir anda çözmüştür. Bir atomun içinde çok fazla elektron olduğunu düşünmek gerekmez, çünkü kütleyi oluşturan onlar değildir. *Kütle çekirdektir.*

Böylece Rutherford ilk inandırıcı atom yapısı modelini geliştirir: çevresinde elektronların döndüğü bir çekirdek; minyatür bir Güneş sistemi. Kafasını meşgul eden konuyu, radyoaktivitenin atomla bağlantısını da açıklar. Ona göre, patlayarak parçacıklar ve ışınlar yayan, bazı atomların çekirdekleridir. Bunu ileri sürmekle başka bir büyük bilim serüvenini başlatmıştır: atom çekirdeğinin incelenmesi. Eğer çekirdekler patlıyor ve parçacıklar yayıyorlarsa, bu içlerinde parçacıklar taşıdıkları ve kendi yapılarının da karmaşık olduğu anlamına gelir.

Bununla Rutherford, fiziğe en büyük sıçramalarından birini yaptırmıştır!

Maddenin yapısını incelemek için de yeni bir yöntem geliştirir: maddeyi parçacıklarla bombardımana tutar, onu kırar ve sonucu gözlemler. Maddeyi kırmak, gittikçe parçalanan madde, bu, Sonsuz Küçükler Fiziği'nin başta gelen yöntemidir.

Cenevre'deki CERN gibi büyük parçacık ivmelendiricilerinde bugün de kullanılan yöntem budur, şu farkla ki bugün parçacıklar ışık hızına yakın hızlarda işleyen elektrik alanlarında ivmelendiriliyor ve maddeler kırılarak parçaları inceleniyor.

"Tuğla yığınından ev olmaz"

Bu olağanüstü serüvene bugün baktığımızda, tüm bu keşiflerin, ustalıklarıyla ve çabalarıyla yepyeni olayları (bunlar 1890'da akla bile gelmezdi) ortaya koyan dâhi deneyciler tarafından gerçekleştirildiğini, ama öte yandan, bu olayları birbirine bağlayan hiçbir genel kuram, hiçbir toplu bakış bulunmadığını görerek şaşırırız.

Oysa bilimde kuram deneyden ayrılmaz. Kopmaz bağlarla bağlıdırlar birbirlerine. Biri ötekini tetikler ya da başlatır. Bunlar bilimin iki bacağıdır. Ayrılmazlar. Bunu ne çok söylesek abartmış olmayız. Bunu ilk anlayan Galilei olmuştu (belki Arkhimedes'ten sonra).

Oysa 20. yüzyılın başında karşımızda gördüğümüz bilim manzarası yeni, heyecan verici ama entelektüel açıdan bulanıktı. Gazın yayılımının açıklamasında dalgalarla parçacıklar karşı karşıya gelmişti. Oysa birinin ya da diğerinin belirtileri (elektron, X ışınları) ve radyoaktivite olayı her ikisini de ortaya çıkarıyordu.

Özellikle radyoaktivite, temel önemde ama çok karanlık bir olay gibi görünüyordu. Yalnızca İngiltere'de, az sayıda fizikçi bununla ilgileniyor, bunlar da X ışınları üzerine çalışmayı yeğliyordu. Bu karışıklığı nasıl atlatmalı, tüm bu buluşları uyumlu bir bütünde nasıl birleştirmeli? Henri Poincaré'nin şık bir biçimde söylediği gibi "tuğla yığınından ev olmaz".

Fizikçiler hep aynı yaklaşımı benimsediler: dünyanın bir bağlam içinde olduğuna, hatta işleyişinin tek bir temele dayandığına inandılar. Karmaşıklığın altında daha sade bir belirleyiciliğin yattığını düşündüler. Keşfetmesi bize kalmış.

Ampère ve Faraday elektrikle manyetizmayı birleştirmişti; Maxwell manyetizmayı ışığın dalga kuramıyla birleştirdi. 20. yüzyılın başında fizikçiler bazı temel sorular sordular. Newton'ın kuramıyla Maxwell'in kuramı nasıl birleştirilebilir? Bu soru bugün hâlâ soruluyor.

Maddenin iç yapısına, atoma ve atomun davranışına ilişkin tüm bu buluşları Newton ve Maxwell'in kuramlarına nasıl bağlamalı?

Işığın açıklamasında ve katot ışınlarının yorumunda hep birbiriyle yarışır görünen, dalgalara dayanan yaklaşımla parçacıklara dayanan yaklaşımı nasıl bağdaştırmalı?

Kısacası 20. yüzyılın başında, ivedilikle bir kurama gereksinim vardı.

Burada kısaca, bilimin dıştan görünüşüne değinmek isterim; daha doğrusu, bilim adamlarının çalışmalarıyla büyük buluşlar arasındaki bağlantıya.

Bu bölüm, zamanın süzgeci dediğim şeyi iyi açıklıyor.

Buraya dek anlattığım, bilimin destanıdır; ikilemleri, baş döndürücü keşifleri, kahramanları, biraz Hint *Mahabharata*'sı tarzında (yine! Buna takılmışım, acaba dostum Jean-Claude Carrière'in etkisi mi bu?); çünkü her şey birbirine karışmış, bir araya toplanmıştır, tam bir saydamlık yoktur.

Her dönemde birkaç sonuç verici aktör sahneye çıkar, bunlar çarçabuk dâhi sınıfına konuverirler, çünkü Tarih hep tersten okunur. Sondan başlayarak. Bugün, geçmişi aydınlatır. Gerçekse daha karmaşıktır, buluşlar için olduğu kadar buluş yapanlar için de.

Kimileyin temel bir buluş yalnızca birkaç kişinin işidir. Radyoaktivitenin ilk aşamasında durum buydu. Paris'te Curie'lerin ve Kanada'da Rutherford'un çevresindeki küçük birer yardımcı grubunun dışında bu olayla ilgilenen araştırmacı sayısı azdı, belki de önemini kavrayamadıklarından. Katkıda bulunanlar azdı. Destana katılmadan önce ona inanmak gerekiyordu!

Buna karşılık, katot ışınları ve ona bağlı deneyler öyküsünde önemli sayıda parlak zekâlılar rol aldı. Yeni kuşaklara yalnızca birkaçının adı kaldı. Daha başkalarını da burada sayalım: Wilson, Struh, Townsend, Barkla, Richardson, Aston, Moreau, Ehrenhaft. Kimi isimler daha sonra ünlenecek, kimileriyse unutulacaktır. Daha önemsiz olmayan bazıları yanıldı, unutuldu, daha başkalarıysa iz bıraktı.

Kimileyin bazı merkezler üretim alanları durumuna gelir ve hepsi de sonradan ün kazanacak parlak öğrenciler bura-

larda eğitilirler. Rutherford'un birbiri ardına canlılık kattığı merkezler böyleydi (ününün yükselişini izleyerek): McGill, Manchester ve daha sonra Cambridge. Sayısı gittikçe artan öğrencilerinin arasında şunlar var: Otto Hahn, Frederick Soddy, Hans Geiger, E. Marsden, George de Hevesy, H. Moseley, J. Chadwick, P. Blackett, J. Crockcroft, E. Walton, G. Oliphant, M. Goldhaber. Hepsi de fiziğin büyük isimleri.

Öyleyse her birinin değerleri üzerine yargılarımızı hep ötekileri de göz önüne alarak değerlendirmek gerekir. Einstein "deha uzun bir sabredişti**r**" der; buna şuna ekleyebiliriz: "çoğunlukla ortaklaşa, kiminde tek başına."

Çünkü bilim çok farklı yeteneklerin birleşmesiyle oluşur: Bilimde yalnızca kuramın ya da deneyin dehaları değil, düşünce ortaya atanlar, grup çalıştıranlar, karizmaları, coşkuları ve düşünsel cömertlikleri kimi dönemde belirleyici sonuç vermiş bilim adamları da vardır. İyi sorular sormayı bilen bilim adamları ve onlara iyi yanıtlar vermeyi bilen başkaları vardır. Bazıları aynı anda ikisidir de. Zaman tüm bunları süzgeçten geçirir ve yalnızca birkaç kişiyi, destana katılacakları elde tutar: "kahramanlar", hakça değil belki, ama böyle.

Deneysel fizikte Rutherford bunlardan biri oldu; atom kuramında hiç kuşkusuz Niels Bohr'un durumu budur; bir sonraki aşamanın, kuram aşamasının kahramanı, başlatıcısı.

Işık atomu aydınlatıyor

Rutherford Manchester'da dâhiyane deneylerini yaptığı sırada, Kopenhag'da neredeyse iyi fizikçi olduğu kadar iyi futbolcu da olan[62], Niels Bohr isimli çok parlak genç bir Danimarka-

62 Kardeşi Harald Danimarka olimpiyat takımına seçilecektir, Niels az farkla kaçırır.

lı, görünürde çok başka olan bir problem üzerine çalışıyordu: elektronların katılar içerisinde nasıl elektrik iletebildiğiyle ilgileniyordu. J. J. Thomson elektronu keşfettikten sonra katılar ve bunların elektriksel özellikleri üzerine bir kuram geliştirmişti, ama bu kuram deneysel ölçümleri tam olarak açıklamaya yetmiyordu. Diğer yandan Bohr da yeni bir kuram geliştirmişti ve bunun üstün olduğunu düşünüyordu. Bu onun doktora teziydi.

Bohr 1911'de, J. J. Thomson'la görüşmek ve düşüncelerini onunkilerle karşılaştırmak için İngiltere'ye gitmeye karar verir. Bunun üzerine Cambridge'e gider, ama orada onu büyük bir hayal kırıklığı beklemektedir. Cavendish laboratuvarının yöneticisi olan J. J. Thomson, artık katılardaki elektrik iletimiyle ilgilenmemektedir. Bohr kaldığı süre içerisinde şans eseri, Cambridge'e bir seminer vermeye gelmiş olan Rutherford'a rastlar.

İki adam arasında bir anda bir yakınlaşma doğar; deneycilerin kralıyla kuramcıların prensi olacak olanın arasında.

Rutherford, Bohr'u Manchester'a gelip atom modelini geliştirmek için kendisiyle çalışmaya davet eder. Her seminerden önce ya da dünyanın her yerinde yapılan cinsten bu çay sohbeti, modern fizik için belirleyici olacaktır.

Bohr Manchester'da, Rutherford'un atom çekirdeğini bulduktan sonra geliştirdiği atom modeliyle tanıştı. Bir kuram geliştirerek bunu sağlamlaştırmak gerekiyordu. Bohr çalışmaya koyuldu. Rutherford'la ikisinin aklındaki, merkezde Güneş gibi çekirdeği ve bunun etrafında dönen elektron gezegenleriyle bir tür küçültülmüş uzay modeli kurmak ve fizik yasalarının yardımıyla bunun işleyişini kesinlik içinde hesaplamaktır.

Gezegenlerin Güneş etrafında dönüşü gibi, elektronlar da çekirdek etrafında dönüyorlarsa, buradaki çekim gücü yerçekimi değil, elektriksel çekim gücüdür. Bu da tıpkı yerçekimi

gibi uzaktan etki eden bir güçtür, demek ki gizemlidir.[63] Tıpkı yerçekimi gibi bunun da bir yasası vardır: "uzaklığın karesinin tersine" göre.

Benzeşim kusursuzdur. Gezegenler, Evren, bunlar Newton'ın dünyasıdır; atom Maxwell'in dünyasıdır – ya da daha doğrusu bu ikisinin bir birleşimidir, çünkü mekanik yasaları burada da geçerliliğini sürdürür.

Bu düşünceyi incelemeye giriştiklerinde iki adamı saran heyecanı tahmin edebiliriz. Dünyanın bir büyük birleşmesini gerçekleştireceklerdir. Evren ve sonsuz küçük aynı anda açıklanıyor!

Ama elektronla gezegen arasında temel bir fark olduğunu kısa sürede anlarlar: elektron elektrik yüklüdür. Oysa hareket eden bir yük, bir elektrik akımıdır. Bu akım elektromanyetik dalgalar yayar: Maxwell'in öngördüğü, Hertz'in keşfettiği radyo dalgalarını yayar ve radyo dalgalarının yayımı enerji tüketir.

Demek ki dönen elektron sürekli olarak enerji kaybedecektir.

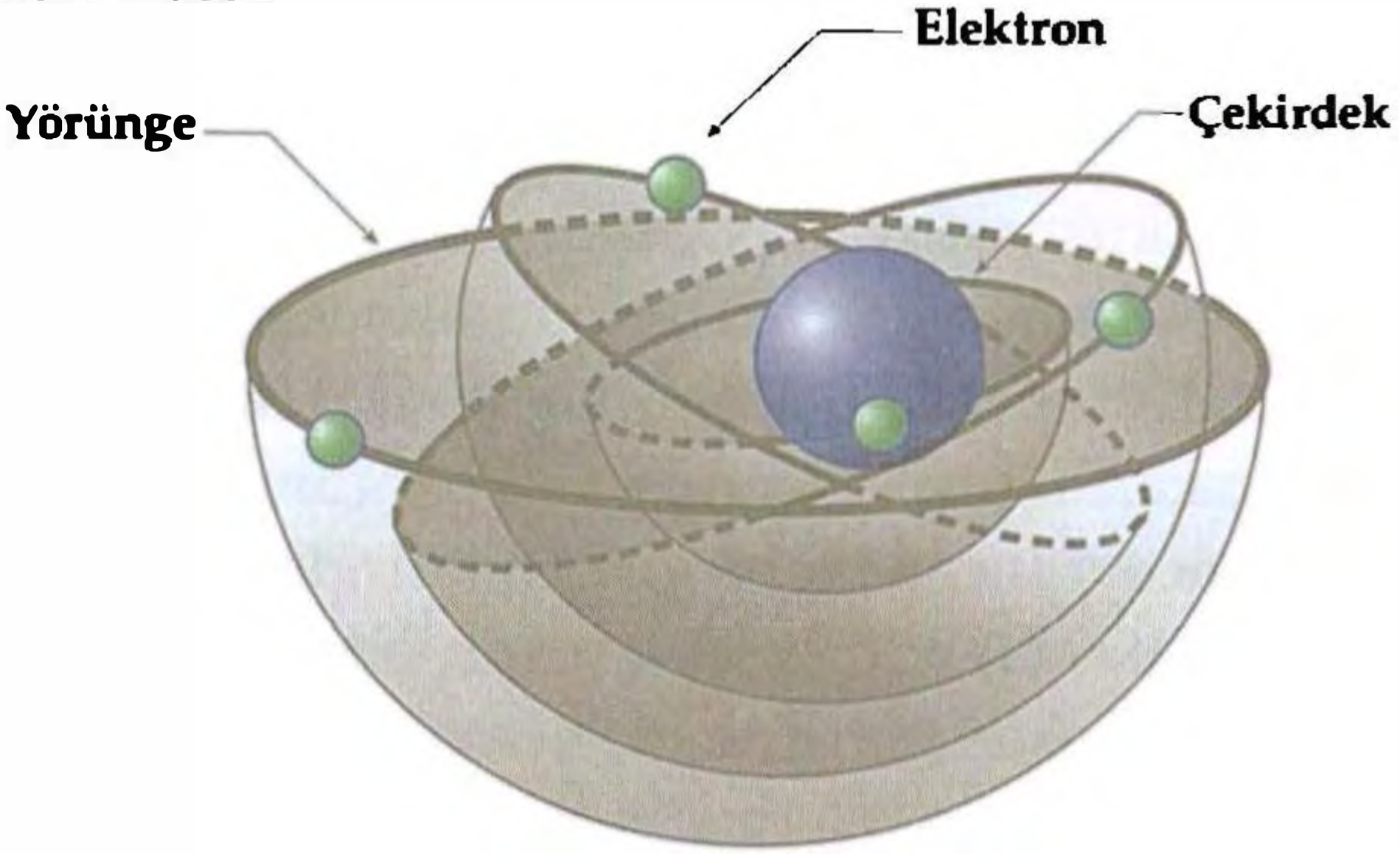
Ayrıca elektriksel güç yerçekimi gücünden çok daha büyüktür. Öyle ki, bir protonun etrafında bir elektronun döndüğü Hidrojen atomunda elektrik gücüyle yerçekimi gücü arasındaki oran $2{,}3 \times 10^{39}$ dur! Kısacası, elektriksel güç devasadır.

Dönüş hızıyla çekirdeğin çekimi arasındaki denge kırılacaktır. Elektron spiral bir yörünge çizip sonunda çekirdeğin üzerine düşecektir. Paldır küldür... sanki her şey yıkılıyor... düş uçup gidiyor.

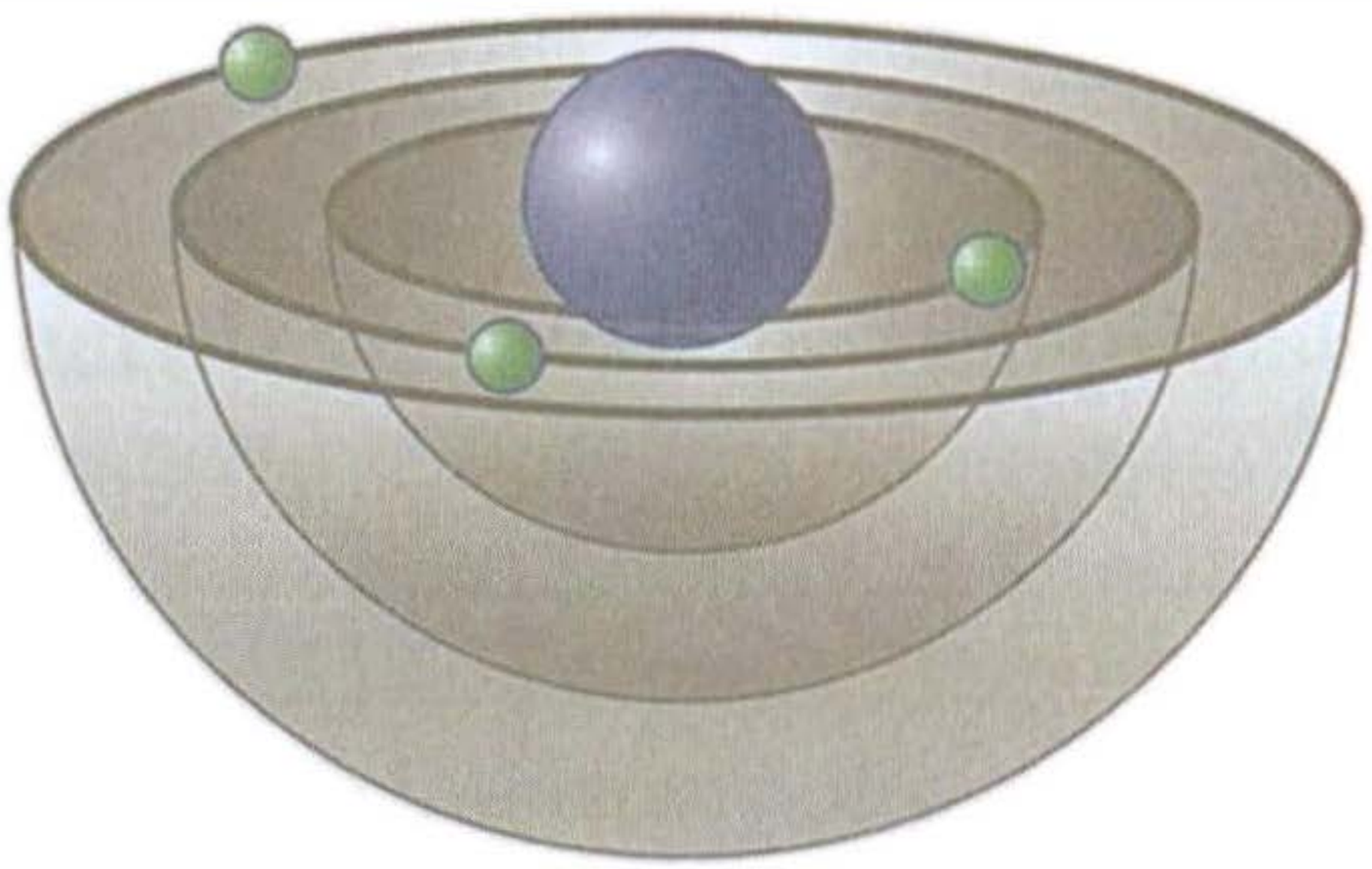
Bu noktada Niels Bohr fiziğe bir dâhi dokunuşu yapar. Görülmemiş bir korkusuzlukla, *Atom fiziğinin sıradan fizik yasalarıyla yönetilmediğini, yalnızca sonsuz küçük için geçerli özel*

63 Maxwell'in getirdiği açıklamaya rağmen.

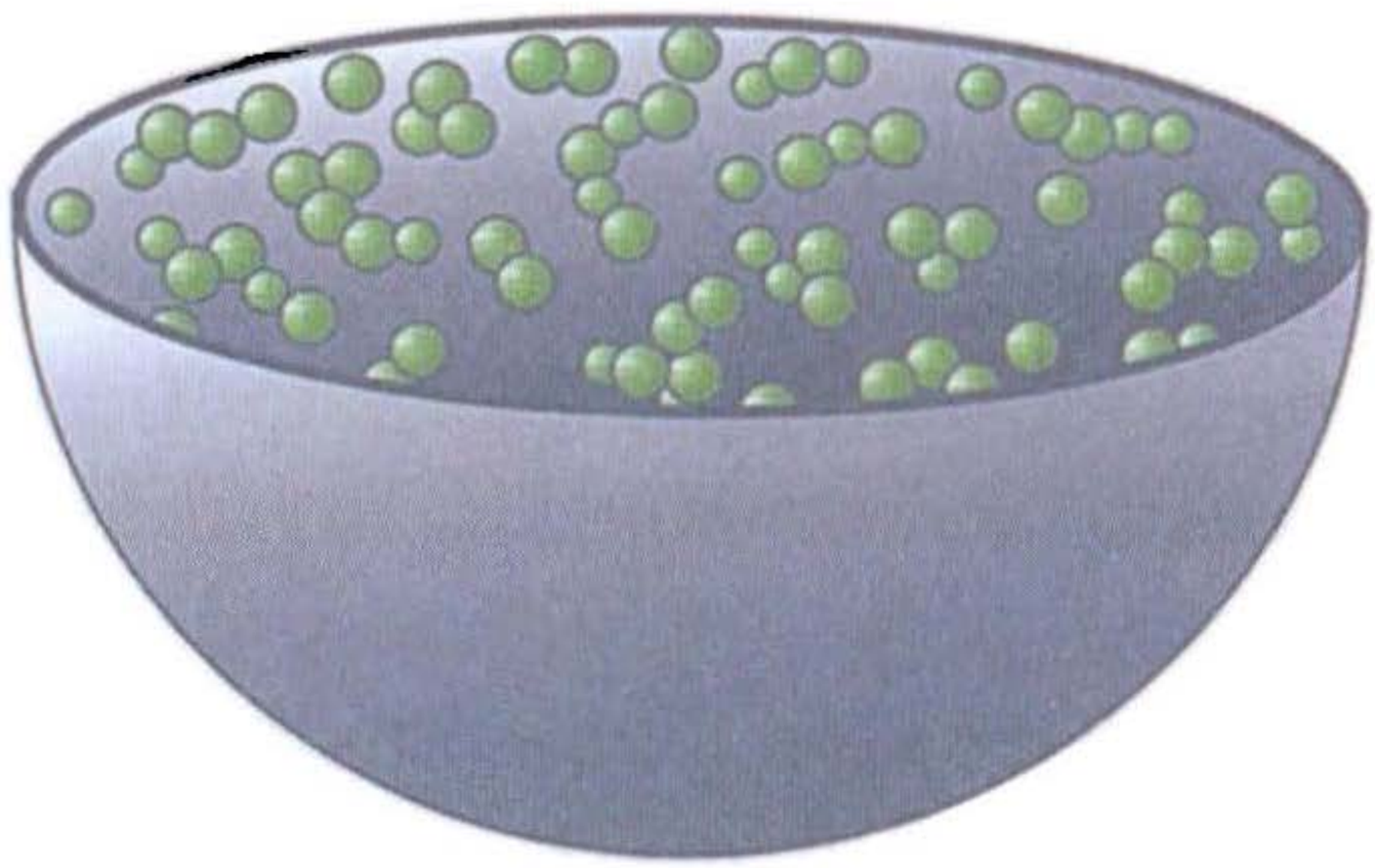
Bohr modeli



Rutherford modeli



J.J. Thomson modeli



Şekil 8.3
Atom yapısının üç modeli.
Altta, J. J. Thomson'unki: artı elektrik yüklü bir küre içerisine hapsolmuş elektronlar bulutu. Ortada, Rutherford'un Güneş sisteminden esinlenen ilk modeli. Üstte, Bohr'un modeli.

yasalarla yönetildiğini ileri sürer. Bu, kuşkusuz, belirleyici cesur vuruştur. Biriken tüm bu olayları (X ışınları, elektronlar, çekirdek, radyoaktivite, parçacık-dalga ikilemi) anlayamadığımız belliydi; klasik fizikten çıkıp yeni bir fizik geliştirmek gerektiği açıktı. Ama buna kim yeltenebilirdi?

Genç Niels Bohr 1913'te yayımlanan üç makalede buna yeltendi.

Bununla, atomların hareketiyle, Planck'ın kara cismin dalga yayması üzerine yaptığı çalışma arasında bağ kurdu; bunda Planck, mikroskobik düzeyde enerjinin "enerji kırıntıları"na, kuantumlara bölündüğünü öne sürmüştü; daha önce bundan Einstein, fotoelektrik etkiyi açıklamak için yararlanmıştı.

Bohr buradan hareketle yeni bir kuram geliştirir. Kaçınılmaz olarak, alışılmış fizik yasalarını kullanır, ama bunlara birtakım yeni kısıtlamalar getirir.

Ona göre elektronlar, özellikleri (çekirdekten uzaklık, elipslik, potansiyel enerji) ancak tam sayıların 1, 2, 3... katı olabilen yörüngelerde hareket ederler. Yörüngelerin "sayılandırılmış" olduğu söylenir. Bu yörüngeler üzerinde elektronlar elektromanyetik dalgalar salmazlar. Harcanan bir enerji, gerektiğinde ortaya çıkan gizemli bir olayla, elektronlar tarafından soğurulur.

Enerji harcanması, ancak elektron kararlı bir yörüngeden diğer bir kararlı yörüngeye geçtiğinde olur. Bu durumda, yalnızca bu durumda elektron radyasyonlar yayar, ışık yayar. İşte ışığın kaynağı budur. Uzun süredir aradığımız buydu. Ama Bohr daha da ileriye gider.

Bu ışığın dalga boyunun (renginin) değeri tam olarak, bu geçişteki iki yörüngenin enerjileri arasındaki farkla orantılıdır. Bu iki değeri ilişkilendiren sabit sayı, Planck'ın kara cismin ışımasında belirlediği sayıdır. Kuantumlar ve ışık, işte Bohr'un birleştirdiği iki ayrı düşünce.

Yörüngeleri sayılandırmak düşüncesi, Planck'ın ısıtılmış

cisimlerin ışık yaymasına ilişkin incelemesinden doğmuştur. Buna karşılık ışığın incelenmesi de Niels Bohr'un düşüncelerini doğrulamıştır.

Optik tayfların, yani bir prizmayla ayrıştırılmış ışığın incelenmesi, renkleri ayrıştırmak için yeni kullanıma konan bir alet sayesinde büyük ilerlemeler kaydetti: prizmadan çok daha etkili olan, ağ.[64]

Bu araç yardımıyla çeşitli kimyasal elementlerin tayfları-nın analizi yapılmış ve her kimyasal element için Kirchhoff'un bir zamanlar incelemiş olduğundan çok daha kesin ve daha fazla sayıda çizgi dizileri ortaya çıkartılmıştı.

Bu çizgi dizilerini Balmer adlı bir İsviçreli öğretmen incelemiş, bunların aralarındaki uzaklıkların geometrik dizilere benzer, basit matematiksel yasalara göre belirlendiğini göstermişti.

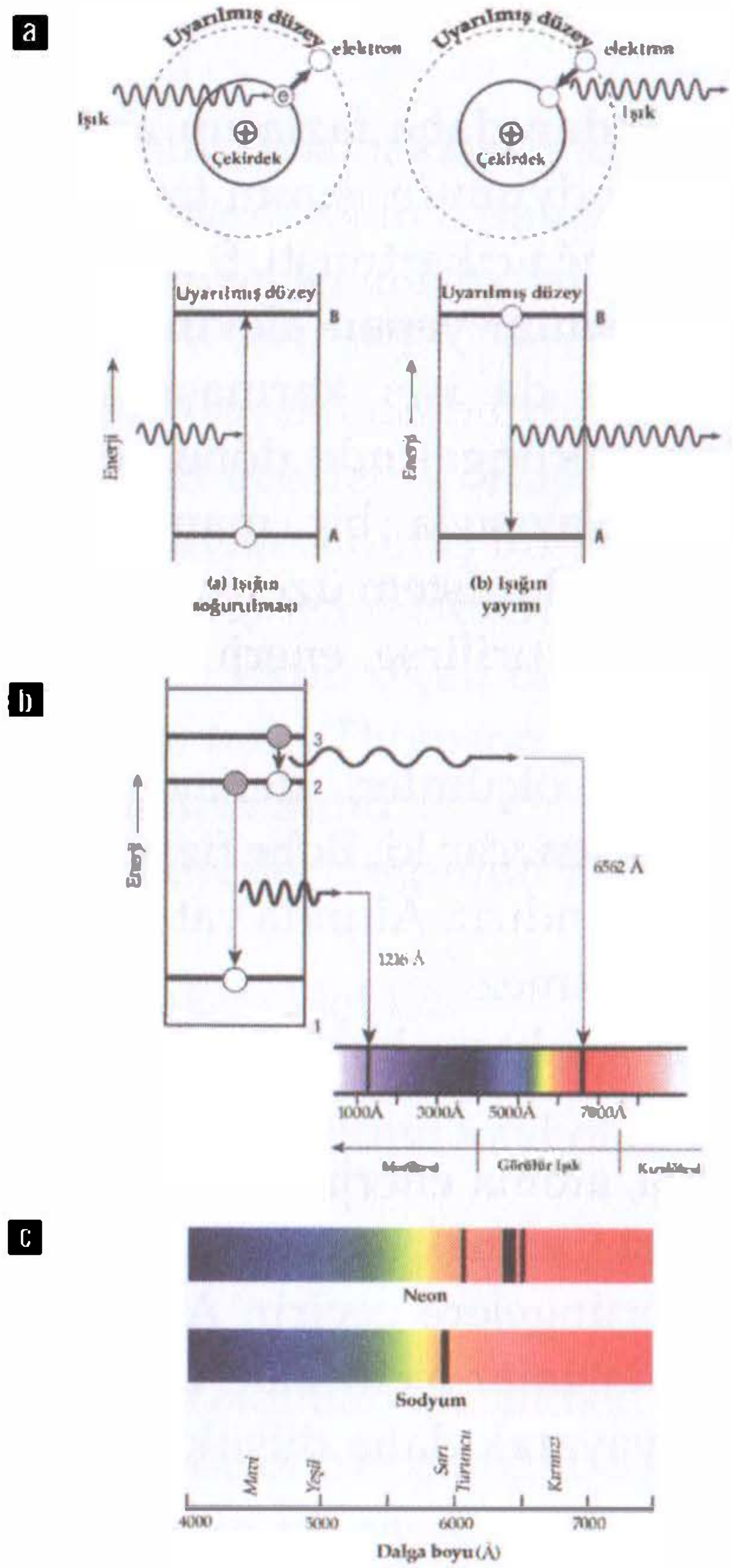
Buradaki kazanım, Bohr'un, kurduğu model yardımıyla ışık tayflarındaki çizgilerin kesin konumlarını hesaplamayı başarmasıydı. Bir elektronun daha yüksek bir yörüngeden daha düşük birine (yani daha düşük enerjili, demek ki daha kararlı) düşmesi, bir ışık *yayımı*na karşılık gelir.

Geriye sıçrama, yani bir elektronun alçak bir yörüngeden daha yüksek bir yörüngeye sıçraması, enerji gerektirir. Atom bunu ışık *soğurarak* elde eder (Bkz. Şekil 8.4).

Burada Plank'ın $W = h\nu$ formülü işler; W enerji farkı, ν frekans yani dalga boyu λ'nın tersi, h Planck sabiti denen bir sabit olmak üzere.

Bununla optik tayflar hesaplanabilir. Balmer'in ortaya koyduğu düzenlilik, Bunsen'in, Kirchhoff'un ve astronomların gözlemleri, açıklığa kavuşur. Bunların nedenleri atomlarda, enerjileri tam belirlenmiş ve "enerji düzeyleri" denen ba-

64 Yan yana konmuş, ışığı prizmanın yaptığı gibi ama daha ince ince ayrıştıran çok küçük oluklardan oluşur.



Şekil 8.4

Bir elektronun yörünge değiştirerek nasıl ışık soğurduğunu ya da saldığını gösteren şema.

a) Üstte atom, çekirdeği ve olanaklı iki yörüngesiyle ve bunlardaki geçişlerle gösteriliyor. Aşağıda, enerji seviyeleri şeması. Gelen ya da giden ışığın dalga boyu, *tam olarak* A düzeyinden B düzeyine (ya da tersi) geçmek için gerekli enerjiye karşılık gelmelidir. Başkaca ışık ne soğurulmuş, ne de salınmıştır.

b) Farklı dalga boylarında iki ışığın yayılması; üç enerji düzeyi arasındaki iki ayrı geçişe karşılık gelir. Enerji düzeylerinin farkı ne kadar büyükse, dalga boyu o kadar *küçük*tür. Öngörülen dalga boylarındaki bir çizgiye karşılık gelen optik tayf.

c) Bu iki tayf, aslında Mendelyev tablosunda birbirine yakın yer alan iki kimyasal elementin, Neon ve Sodyum'un, belirtilerindeki farklılıkları gösterir: Spektroskopi yoluyla kimyasal analiz ilkesi.

samaklara dağılmış olan yörüngeler arasındaki sıçramalarda yatar.

Ama Bohr bundan daha fazlasını açıklar. Zeeman isimli bir Hollandalı, Sodyumun ışınım tayfı üzerinde manyetik alanların etkisini açığa çıkartmıştı. Stark isimli, bu da Alman başka bir fizikçi, ışınım yapan alevin etrafında bir elektrik alanı yaratıldığında da işin karmaşıklaştığını göstermişti. Bohr bu olayları, yörüngesinde dönen elektronun bir akım oluşturduğunu, dolayısıyla bir manyetik alan yarattığını anımsatarak açıklar. Bu sistem üzerine bir elektrik alanı ya da manyetik alan etki ettirilirse, enerji düzeyi basamaklarında değişmelere yol açılır.

Hesaplamalarla ölçümler, deneyle kuram arasındaki uyum o derece eksiksizdir ki, Bohr fizikçileri modelinin doğruluğuna hemen inandırır. Altında yatan epey aykırı gelebilecek savlar dikkat çekmez.

Tüm bunların anahtarı, kuşkusuz, atomla ışık arasındaki bağlantıdadır.

Aydınlatmada, atoma enerji aktarılır: ısıl enerji (mum) ya da elektrik enerjisi (lamba). Bu enerji, atomların elektronlarını "uyarılmış" yörüngelere geçirir. Ardından bu elektronlar elektromanyetik dalgalar biçiminde ve özellikle görünür ışık biçiminde enerji yayarak daha düşük enerji düzeylerine geri düşerler.

Atomdaki enerji düzeyleri arasındaki farklara bağlı olarak renkler değişir. Ateş şöyle oluşur: ısıveren bir kimyasal reaksiyondan (örneğin bir oksitlenme) sonra sıcaklığın artmasıyla atomlar ve elektronları çok hareketlenirler; elektronlar enerji düzeyleri arasında atlamalar yaparlar, ışık alışverişleri olur ve daha çok kırmızıya yakın ışık yayılır.

Enerji basamakları

Bohr atomdaki enerjinin, basamakları iyice belirlenmiş bir ölçek üzerinde (tıpkı bir merdivenin basamakları gibi) dağıldığını öne sürer. Atom bu düzeyler arasında hiç enerji depolamaz.

1914'te James Franck ve Gustav Hertz (aynı Hertz değil!), çok özgün bir deney[65] sayesinde bu düşünceyi destekleyen doğrudan bir kanıt getireceklerdir. Kapalı, boş bir tüp içine bir tarafa elektronlar yayan ısıtılmış bir tel konur, öbür tarafa da pozitif gerilim verilmiş (yani elektronları çeken) bir kafes konur. Kafesin arkasına, akım ölçen bir alete bağlı bir levha konur. Tel ısıtıldığında, tıpkı Thomson tüpünde olduğu gibi, levhanın üzerinde elektrik alınır.

Bundan sonra deneyciler ampulün içine cıva buharı koyarlar.

Levhada hep aynı akım ölçülür.

Telle kafes arasındaki potansiyel farkını arttırırlar. Bu fark 4,9 volta ulaştığında elektrik akımı kaybolur. Cıva elektronların tüm enerjisini yutar!

Eğer 4,9 voltun üzerine çıkılırsa akım yeniden artmaya başlar.

Bu, elektronlarla cıva atomları arasındaki etkileşimin ancak belirli bir enerji düzeyinde ortaya çıktığını açıkça gösterir.

Bir atomun enerjisinin bir merdivenin basamakları gibi, hiçbir ara düzey olmadan dağılmış olduğunu kanıtlar bu. Atomların enerjisi, Planck'ın "kara cismi"nin yayımında olduğu gibi, burada da sayısal olarak belirlenmiştir. Ama kuşkusuz her atomun kendi ölçeği, basamakları, kendine özgü aralıkları vardır ve atomların ışık tayflarının bunların birer ayırt edici özelliğini oluşturması bu yüzdendir.

65 Bkz. Michel Rival, *Les Grandes Expériences scientifiques* (Büyük Bilimsel Deneyler), Paris, Seuil, 1996.

Bohr'un atomunun bir başka büyük yararı, kimyasal elementlerin sınıflandırılmasına açıklık getirmesidir.

Kimyasal elementler 1858'de Rus kimyacı Dimitri Mendelyev tarafından, karmaşıklık derecelerinin artan bir sırasına göre, bir periyodik tabloda sınıflandırılmıştı. Bu sınıflandırma, saptanan çeşitli kimyasal elementler üzerinde yapılmış kimyasal ve fiziksel gözlemlere dayanıyordu.

Her kimyasal elementin, kendi atomunun yapısına göre belirlenen özellikleri taşıdığı, 19. yüzyılın sonundan beri biliniyordu. Birinci bölümde incelediğimiz, Demokritos'un düşüncesiydi bu. Bohr, onun sezgisine içerik kazandırdı.

Bir kimyasal elemente özelliklerini veren, atomundaki elektron sayısıdır (Z). Örneğin, Hidrojen atomunun bir elektronu vardır, Z = 1; Helyum atomunun iki, Z = 2; Lityum atomunun üç elektronu vardır, Z = 3, vd.

Bohr, bu elektronları, çekirdeğin çevresinde üzerinde dönecekleri bir tür dairesel yörüngeler tanımlayarak düzenler. Bu dairelerin yarıçapları sayısal yasalara göre, tam sayılarla (n) saptanabilir: n = 1, n = 2, n = 3...

Bohr her yörünge üzerinde kaç elektronun "döneceğini" saptar.

n = 1 için iki elektron vardır,

n = 2 için sekiz elektron vardır,

n = 3 için on sekiz elektron vardır...

Her atom, bu yörüngelerin karmaşık bileşimlerinden oluşur.

Bohr, elementlerin Mendelyev tarafından yapılan periyodik sınıflandırmasını ayrıntılara girmeden, deneye dayanarak açıklamış oldu. Ruhterford'un genç bir Avustralyalı öğrencisi, sonra Çanakkale Savaşı'nda ölen Henry Moseley, her kimyasal elementin yaydığı X ışınları tayfını inceleyerek, bu

tayfların (Z) sayısını belirlemeye olanak veren bir düzen içinde olduklarını gösterdi. Ayrıca kimi elementlerin Mendelyev tarafından yanlış sınıflandırılmış olduğunu gösterdi ve yanlışı düzeltti.

Bohr elektronların dönüş yörüngelerini tanımlayan kuralları belirlediğine göre, Moseley daha ileri gidip her kimyasal elementin atomlarının ayrıntılı yapısını, yani yörüngelerin uzunluklarını ve taşıdıkları enerjileri belirleyebilmiştir.

Teker teker her kimyasal elementin optik yayım ve soğurma tayflarını ölçerek, ortaya çıkardığı yapıların gerçeğe uygunluğunu doğrulayabiliyordu.

Hesaplarla ölçümler çok küçük bir hata payıyla birbirine uyuyordu. Bu olağanüstüydü, çünkü artık deneyi kuramla açıklamak değil, kuramı deneyle doğrulamak söz konusuydu. Kuram, öngörücü durumuna gelmişti.

Böylece Bohr, *ışık*la *kimya* arasındaki, atomların yapılarıyla tayfları arasındaki ilişkiyi açığa çıkarmış oldu. Bu da atomları ve bunların yapılarını, optik tayflarını gözlemleyerek incelemeyi sağlayan bir yöntem sundu bize.

Kimya ve *tayf ölçümü* (optik tayfların incelemesi), işte çok verimli olduğu görülecek yeni bir ikili. Modern kimya, atomları ve molekülleri tayf ölçümü yardımıyla inceliyor. Yöntemler değişiyor, ama temel ilke aynı kalıyor.

Atomlar ve moleküller

Bohr 1913'teki ünlü Üçlemesinde, birleşimin bir değil, birçok çekirdeğinin bulunduğu durumu, yani atomun değil, molekülün durumunu da ele alır.

Bu durumda iki çekirdeğin çevresinde "dönen" elektronların hareketini inceler ve iki çekirdek, iki atom arasındaki *bağın* bu elektronların ortaklığıyla oluştuğunu düşünür.

Sıklıkla unutulur ama bu makale teorik kimya konusundaki ilk katkıdır.

Bohr burada da yine, moleküllerde enerji düzeylerini tanımlar ve moleküllerin tayflarına dayanarak incelenebileceğini belirtir. İleriyi gören bir makaleydi bu, gerçek getirisi ancak kuantum mekaniğinin gelişmesinden sonra ortaya çıkacaktı, yani 1930'dan sonra.

Kuantum mekaniğine doğru

Bilindiği gibi, Bohr'un bu düşünceleri geliştirilecek, genişletilecek ve ardından da bunlardan doğrudan uzaklaşan yeni bir mekaniğin, *kuantum mekaniğ*inin gelişiyle yıkılacaktır. Bu yeni kavram devrimi gereğince, gerçeğin her türlü belirlilik tanımından vazgeçmek zorunda kalınacak ve bunun yerine olasılıklar cinsinden bir tanımlama konacaktır.

Bir parçacığın hem konumunun, hem de hızının aynı anda bilinemeyeceği bu yolla anlaşılacaktır. Her ölçümün, incelediği olayı bozduğu da gösterilecektir. Bu, Heisenberg'in ünlü belirsizlik ilkesidir.

Kısacası kuantum mekaniğiyle, bugün artık efsaneleşmiş Avusturyalı Erwin Schrödinger, Alman Werner Heisenberg, İsviçreli Alman Wolfgang Pauli, Cambridge'den İngiliz Paul Dirac gibi bilim adamlarının çabalarıyla ve hepsi de Niels Bohr'un sürekli teşvikiyle 1925-1930 yıllarında sağlam matematiksel temeller üzerinde açımlanan, heyecan verici, gizemli ve tuhaf yeni bir dünyaya girildi – Albert Einstein'ın[66] kuşkuculuğuna karşın.

Ama bu başka bir öyküdür, kendi başına bir destan.

66 Einstein, kuantum mekaniğinin tüm olası sonuçlarını herkesten önce görmüştü. Ama felsefesel, neredeyse tanrıbilimsel nedenlerle, buna katılamazdı. Şu ünlü "Tanrı zar atmaz!" düşüncesidir bu.

Burada belirtmek isteriz ki Bohr atomunun biraz değiştirilmiş haline dayanarak birçok olay basitçe açıklanabilir, en azından anlatılabilir. Kuşkusuz bu, gerçeği bugünkü kavrayışımıza denk düşmeyen bir ilk kestirim olur, ama kuantum mekaniğine ilişkin matematiksel anlatımdan ve kavram karmaşasından kaçınma avantajı vardır (sonsuz küçüğün dünyası, gündelik yaşamımızı yönetenlerden son derece farklı kendine özgü kurallara göre biçimlendiğinden, bunun özünü anlamak için çok uzun açıklamalar gerekir).

Enerji düzeyleri

Öyleyse geri dönelim: her atom için, her molekül için, elektronların üzerinde "konumlanabileceği" enerji düzeyleri vardır. Bu düzeyler kuantumlara uyar, yani belirttiğimiz gibi, bir merdivenin birbirinden boş aralıklarla ayrılmış basamakları gibidirler. Elektronlar *ancak* bu düzeylerde bulunabilirler, tıpkı ayaklarımızın yalnızca merdivenin basamaklarına basabileceği gibi.

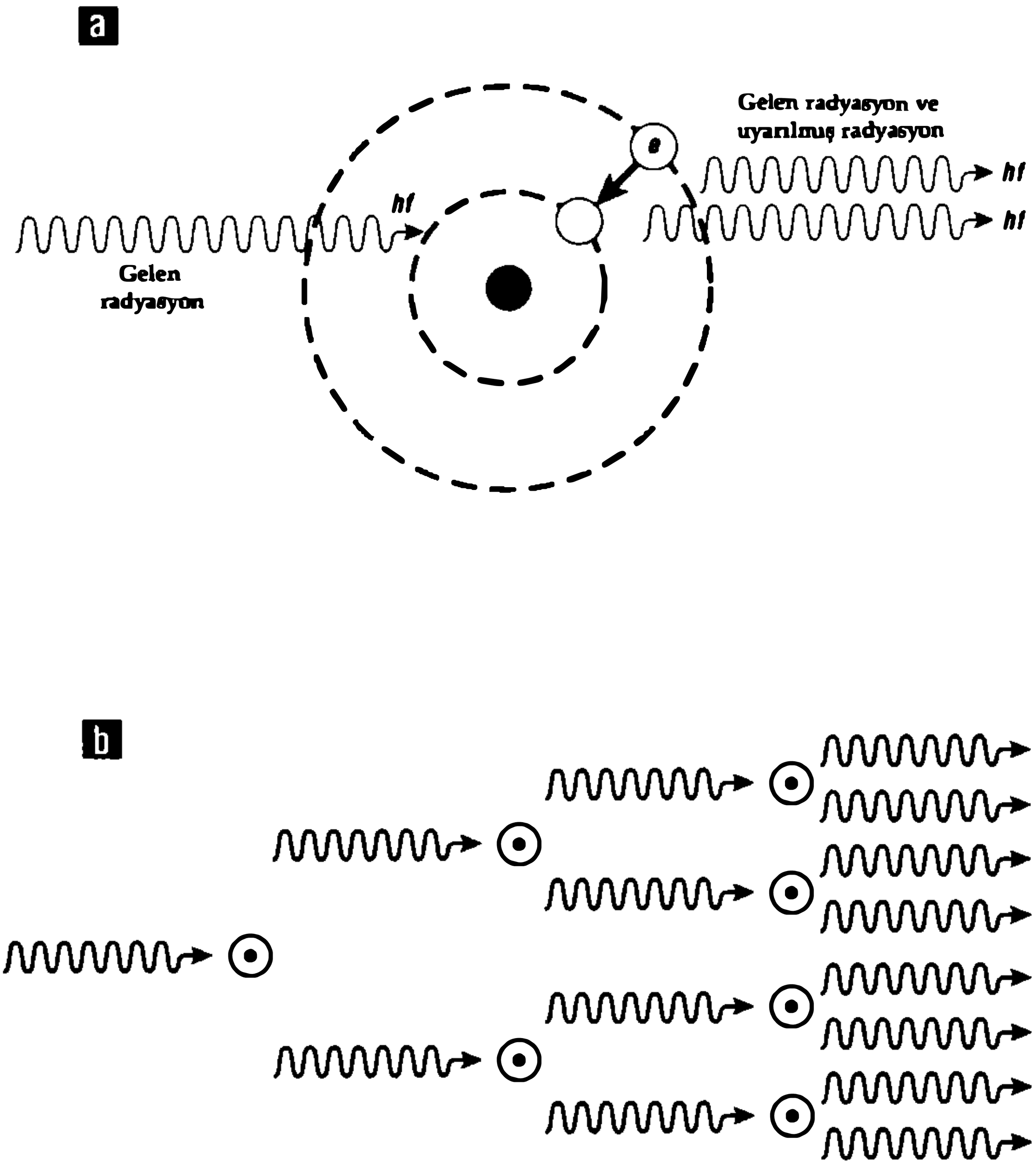
Bu, atomun enerji bakımından anlatımıdır. Uzam bakımından alındığında, elektron durmaksızın sallanır, çekirdeğin çevresinde döner, ama olanaklı enerji düzeylerinin belirlediği yörüngeler üzerinde yapar bunu.

Bu enerji düzeyleri ancak sınırlı sayıda elektron "taşıyabilirler". Örneğin bir atomun ilk enerji düzeyi, ilk basamak, ancak iki elektron taşıyabilir; ikincisi, ikiye bölünmüş bir basamaktır ve toplam olarak ancak 8 elektron (2+6) taşıyabilir, vb.

Bir elektron bu merdivenin üzerine nasıl yerleşebiliyor?

Basamakları *minimum enerji ilkesi* uyarınca en alttan başlayarak, yavaş yavaş doldurur.

Tüm kararlı atomlarda böyle doldurulmuş enerji düzeyleri vardır. Sonuncusu tam ya da tama yakın dolu olmak üzere.



Şekil 8.5
a) uyarılmış yayılım ilkesi.
b) uyarılmış zincirleme yayılım ilkesi, yani lazer.

Ama son dolu düzeyin üzerinde, tümüyle boş başka düzeyler (merdivenin başka basamakları) vardır. Bu düzeylere "uyarılmış" düzeyler denir.

Bir elektron normal olarak bulunduğu enerji düzeyini (buna kararlı düzey denir) bırakıp uyarılmış bir enerji düze-

yine geçebilir mi? Evet, geçebilir. Bunun için bir düzeyden diğerine atlayabilmesine yetecek enerjiyi ona sağlamak gerekir. Ama dikkat, ona aktarılan enerjinin, iki basamak arasındaki enerji farkını *tam tamına* karşılaması gerekir; bu, doğru enerji "kuantumu" olmuş olur.

Peki serbest yörüngeler üzerindeki bu uyarılmış elektronlar orada kalacaklar mı?

Yanıt: evet, ama pek uzun süre değil. Uyarılma düzeyleri elektronlar için denge düzeyleri değildir. Demek ki bunlar alışılmış enerji düzeylerine geri düşme, yani kendi yerlerine geri dönme (*"evim, güzel evim"*) eğiliminde olacaktır.

Bunu yaptıklarında, enerjinin korunması gerekir. Elektronun yüksek bir düzeyden daha düşük bir düzeye düşüşü bir enerji salınmasına yol açacaktır; örneğin, atomu uyarmış olan ışığınkiyle tam tamına aynı dalga boyuna (renge) sahip bir ışığın yayılımı.

Lazer

Lazer, söz dağarcığımızda sıradan bir isim oldu artık. Bu aslında bir kısaltmadır: *L*ight *A*mplification by *S*timulated *E*mission of *R*adiation – uyarılmış radyasyon yayılımıyla ışığın güçlenmesi.

Bu teknik, anlattığımız ışık-madde ilişkilerinin ustaca bir kullanımına dayanır.

Uyarılmış bir enerji düzeyindeki bir elektronu düşünelim. Kararsız bir durumdadır ve daha kararlı bir alt enerji düzeyine kendiliğinden düşmeye hazırdır.

Şimdi atomu dalga uzunluğu, yani enerjisi tam tamına uyarılmış düzeyle kararlı düzey arasındaki enerji farkına eşit olan bir ışıkla aydınlatalım. Bu ışık, uyarılmış elektrona, kararlı enerji düzeyine geri düşmesi için gerekli küçük itmeyi,

fiskeyi verir. Elektrona bu fiskeyi vermek için gereken enerji çok zayıftır ve gelen ışık bundan etkilenmez. Bu, uyarılmış yayılımdır (Einstein'ın bunu öngörmesinden yirmi yıl sonra yeniden keşfedilir). Daha düşük enerji düzeyine düşerken elektronun kendisi de, gelen ışıkla aynı özelliklere, aynı dalga boyuna sahip bir ışık yayacaktır (Bkz. Şekil 8.5).

Atomu aydınlatan bir ışık ışını varken, atomdan bunun iki katı daha güçlü bir ışın çıktı. Böylece ışığı güçlendirmiş olduk.

Şimdi bir tek atomu değil, tüm elektronları yüksek enerji düzeylerinde bulunan bir dizi uyarılmış atomu aydınlattığımızı düşünelim. Olay yinelenecek, her atom kendi ışığını aynı zamanda yayacaktır. Girişteki küçük bir ışık miktarından başlayarak çıkışta büyük bir ışık miktarı görülecektir. Aynı özellikleri taşıyan tüm bu ışıklar fazda titreşirler ve hepsi aynı yöne yönelmişlerdir.

Lazer budur: toplu, güçlü ve yönlendirilmiş bir ışık ışını.

Ama kuşkusuz bunun gerçekleşmesi için bir ilk koşul, zorunlu bir geçiş vardır: çok sayıdaki atomun elektronlarını uyarılmış düzeylere yükseltip onları aydınlatacağımız ana dek orada tutabilmek gerekir. Bu zordur, çünkü yüksek enerji düzeyindeki bir elektronun kendiliğinden ve çok çabukça daha düşük enerji düzeylerine geri düşme eğilimi vardır.

Bunu başarabilmek için, Yüksek Öğretmen Okulu laboratuvarında Alfred Kastler'in keşfettiği, optik pompalama denen tekniği uygulamak gerekir.

Elektronları, onları göndermek istediğimiz enerji düzeyinden daha yüksek bir enerjiyi vermek üzere (yani duruma göre değişen bir ışıkla) ilk kez aydınlatırız. Bu elektronlar biraz daha yükseğe sıçrarlar, ardından kendiliklerinden, istenen enerji düzeyine düşerler ve orada, onları başka bir ışıkla aydınlatıp uyarılmış güçlenmeyi sağlamamıza yetecek kadar uzun süre kalırlar.

Lazeri Amerikalı Charlie Townes, optik pompalama yapmayı öğrenmek için Kastler'in laboratuvarında geçirdiği bir yaz çalışmasından sonra icat etmiştir.

Townes Nobel Ödülü'nü aldığında, Kastler'in çalışması olmadan kendisininkini asla gerçekleştiremeyeceğini söyleme inceliğini gösterir. İki yıl sonra da Kastler'e Nobel Ödülü verilir.

9

Her şey görelidir

Fiziğin sıradan bir sağduyu olmadığını,[67] tersine, zaman içerisinde sabırla hazırlanmış bir öğretiler toplamı olduğunu, bunların sezgiye dayanmadığını ve bir eğitim gerektirdiğini bu kitapta birçok kez yineledim. Buna karşılık, fizik bilgisinin etrafımızdaki dünyanın açıklamasına gittikçe artan ölçüde öngörülerde bulunmamıza, yeni aletler veya teknikler yaratmamıza olanak veren tutarlı bir çerçeveye oturtmamızı sağladığını da belirttim.

Albert Einstein'ın 1905'te öne sürdüğü Sınırlı Görelilik kuramı tartışmasız, bu kavrama kusursuz bir örnek oluşturur.

Zamanın göreceli bir kavram olduğunu, iki olayın eşzamanlılığı düşüncesinin bunlara hangi noktadan bakıldığına bağlı olduğunu, enerjiyle kütlenin birbirine dönüşebildiğini ve ışık hızının Evrende var olan en yüksek hız olduğunu ileri sürmek; bunların her biri, ortak duyunun reddettiği, ama buna karşın kesinlik içinde ortaya konan, bilgece matematik oyunlarıyla değil, burada özünü anlatmaya çalıştığım kesin gözlemlerin meyveleri olan sistemli akıl yürütmelerle oluşturulan ve daha önemlisi, deneyle "çerçevelenmiş" *kavramlar*dır.

67 Aristoteles'in Fizik'i sağduyuydu, bu yüzden yanlış çıktı!

Başka deyişle, deney önce yönlendirir, sonra da geçerlilik kazandırır.

Zor bir girişim, görelilik söz konusu olduğunda işe başlamak için uzun süre duraksadım ama zorunlu gibi geldi bana.

Yine Galilei

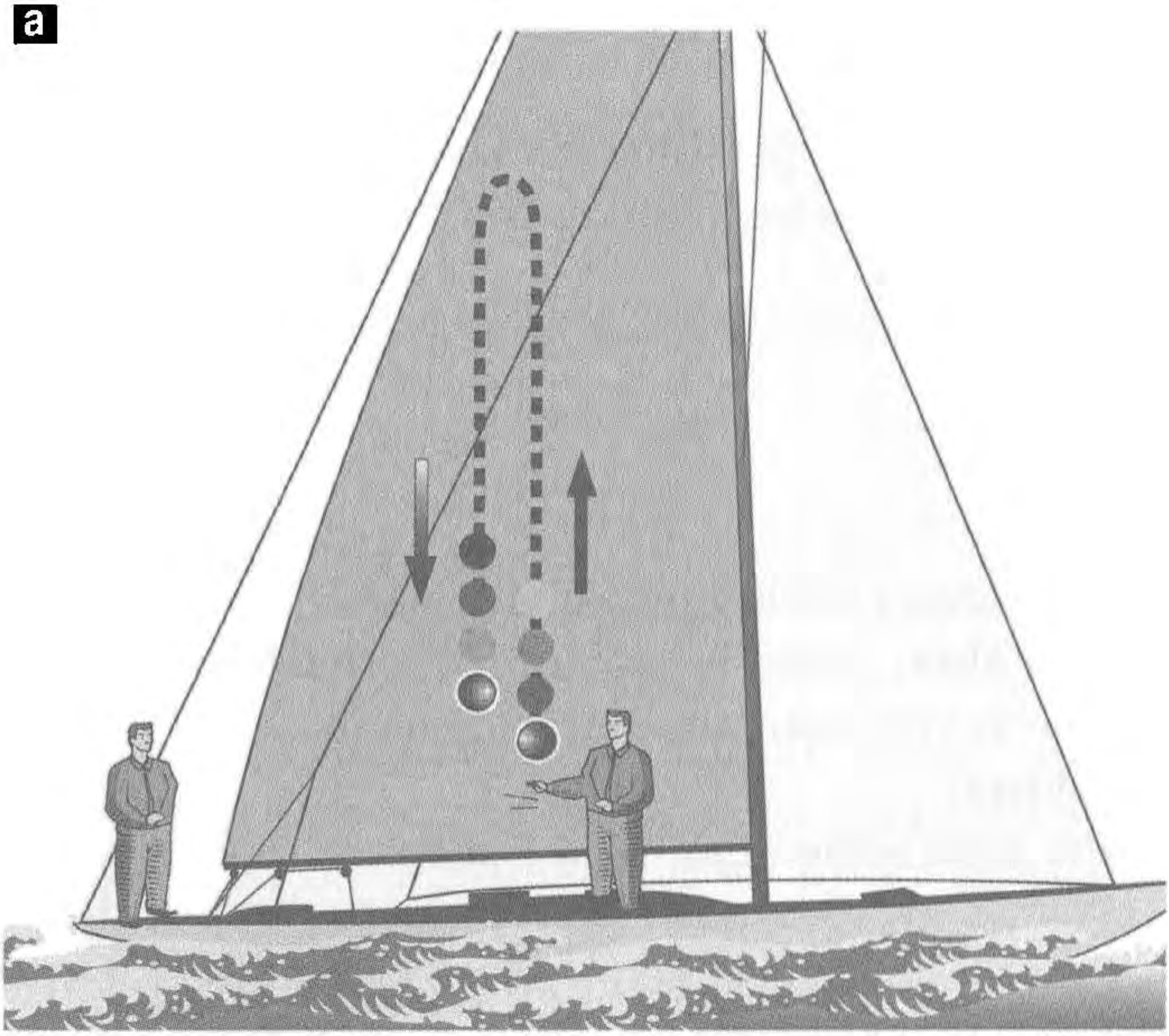
Görelilik kuramı köklerini Galilei'den alır (yine o!).

Hızını almış giden bir geminin üzerinde duran ve dikey olarak havaya bir top atan adamın deneyini anımsayalım. Top nereye düşer?

Daha önce söylediğim gibi, Galilei'nin döneminde kimileri, eylemsizlik ilkesinden dolayı topun gemiden bağımsız olduğunu ve dolayısıyla gemi yeterince hızlıysa topun suya düşeceğini düşünüyordu.

Galilei (Giordano Bruno'dan sonra) buna karşı çıktı: "Hayır, hiç de değil, top gemide onu atan kişinin ayaklarının dibine düşer." Haklıydı. Neden? (Bkz. Şekil 9.1.)

Çünkü geminin üzerinde bulunan her şey gibi top da gemiyle aynı hıza sahiptir, geminin *göndergeseli* içindedir ve havaya atıldığında izlediği yol geminin tüm yolcularının gözünde dikeydir. Ama kıyıda bulunan bir gözlemci topun yörüngesini bir parabol olarak görecektir.



Şekil 9.1
Geminin direğinin yönünde bir top atılıyor.
a) Topun aldığı yolun gemiden görünüşü.
b) Topun aldığı yolun gemi yer değiştirirken uzaktan, kıyıdan görünüşü.

Burada görelilik kuramının temel öğelerinden birini görüyoruz: topun aldığı yolun biçimi baktığımız yere göre değişir.

Galilei'nin özellikle ünlü *Dialogue*'da[68] açıkça anlattığı bu ilkeyi anlamak ve kabul etmek çağdaşları için çok zor oldu. Onlar, örneğin yerkürenin dönüşü düşüncesine karşı çıkıyorlardı: eğer yerküre dönüyor olsaydı, Pisa Kulesi'nin en üst katından bir tüfek mermisini aşağıya bıraktığınızda, batıya doğru daha uzak bir noktaya düşerdi, çünkü o yol aldığı sırada yerküre yer değiştirmiş olurdu! Oysa kulenin dibine düşer, bu da yerkürenin durgun olduğunu kanıtlar. Ama bu sav Galilei'yi etkilemiyordu. Düşünmesini sürdürdü ve açıkladı: "Mutlak bir referans noktası yoktur. Her türlü hareket, seçili bir göndergesele göre gerçekleşir."

Havaya bir mermi attığımızda, ortak duyumuz bize yer değiştirenin mermi, sabit duranın yerküre olduğunu söyler. Bizim yerküreyle bir anlamda bir bütün oluşturmamız, o anda yerküreye göre hareketsiz oluşumuzdandır. Ama Galilei sabit referans noktası olarak kurşunun da alınabileceğini ve o durumda hareket edenin yerküre olacağını[69] söyler!

Tarihin bir cilvesiyle, kendi ilkesinin "kurbanı" olacaktır. Dünyayı Evrenin merkezine koyan, Güneş merkezli sistemin karşıtları, gezegenlerin yörüngelerini hesaplayabiliyorlardı; bunlar Kopernik'in gökgünlüklerinden daha iyi hazırlanmış gökgünlüklerinde kayıtlıdır.[70] Bundan dolayı, 1633'teki davada Galilei ile Cizvitler arasındaki tartışma salt bilimsel açıdan oldukça karanlık kaldı, çünkü gözlem verilerinin getirdiği kanıtlar ayırt edici değildi.

68 *Op.cit.*

69 Gerçekte, çok ince ölçümlerde küçük bir fark görülecektir.

70 Çünkü bir başvuru noktasına (burada Yerküre) göre bir yörüngeyi hesaplamak için fizik ya da matematik açısından hiçbir engel yoktur!

Einstein 1905'te yirmi altı yaşındadır. Söylemiştik, Bern'de patentler bürosunda memurdur. Kimsenin, özellikle de bilimsel çevrelerin hiç tanımadığı bu kişi, Özel Görelilik adını alacak olanı açıkladığı bir makale yazar. Bu makalede Galilei'nin düşüncelerine dayanır ama onları çok, çok ilerletir.

Bu makalede, sabit bir hızla yer değiştiren, eylemsiz referans sistemi denen bir noktada bulunduğumuz andan başlayarak bu ortamın sabit mi, hareketli mi olduğunu bilmemizin olanaksız olduğunu öne sürer.

Her birimiz görelilik duygusunu yaşamışızdır, örneğin garda bir trenin yanından geçen bir trendeyken.

Trenlerden hangisi hareket halindedir? Hangisi durgundur? Belirsizliği ortadan kaldırmak için iki trenin oluşturduğu sistemin dışına, örneğin bir eve ya da direğe bakmamız gerekir.

Eğer sabit hızla giden bir uçakta bulunuyorsak, yeryüzünde yaptığımız gibi iki tenis topunu atıp tutabilir, tıpkı yeryüzünde yediğimiz gibi yemek yiyebiliriz, yiyeceğimiz elmanın tadı yeryüzündekiyle aynıdır. Bilimsel terimlerle bu, fizik yasalarının tüm *eylemsiz referans sistemlerinde* aynı olduğu anlamına gelir (Eğer uçak ivmelenir ya da aniden dönerse durum aynı olmaz. Tekdüze bir hareket izlemesi gerekir. Dönen bir cisim bir eylemsiz referans sistemi değildir.[71]) Bu, Einstein'ın ortaya koyduğu Sınırlı Göreliliğin ilk kurucu ilkesidir.

İkinci ilke biraz daha zor kabul edilebilirdir, ama sezgiyi bir yana bırakıp bunun mantık yürütümüne güvenirsek daha kolay olur: Einstein, tüm eylemsiz referans sistemlerinde ışık hızının evrensel bir sabit olduğunu belirtir. Édouard Brézin'in

71 Foucault'nun Yerkürenin döndüğünü Yeryüzünden gösterebilmesi bundandır.

dediği gibi, otomatik yürüyen yolda yürüdüğünde daha hızlı ilerlenir. Ama yürüyen yoldan bir ışık demeti gönderildiğinde hedefe daha hızlı ulaşmaz. Büyüleyici, değil mi?

Temeldeki akıl yürütme

Bunu anlamak için, ışığın boşlukta *maddesel destek olmadan*, sabit bir hızla her yönde yayıldığını anımsamak gerekir.

Şu deneyi düşünelim: Aynı yükseklikte, zıt yönde giden iki uçak; biri sıfıra yakın hızla, diğeri çok yüksek bir hızla gitsin. Karşılaşsınlar; karşılaştıkları anda ikisi birlikte bir flaş patlatsınlar. Sonra da yollarına devam ederek birbirlerinden uzaklaşsınlar.

Mutlak bir referans sistemi olmadığından, birinin diğerine göre hareketini ikisinden birini durağan kabul ederek betimleyebiliriz. Bu aynı sonucu verir.

Eğer ışığın hızını ölçmek istersek, yüksek hızla geçen uçaktan yapılan ölçmede, ölçülen ışık hızından uçağın hızını çıkartmak gerekirmiş gibi gelir. Ama ilgisi yoktur, çünkü flaş iki uçaktan aynı anda patlatılmıştır; aynı biçimde, ışığın hızını yavaş uçaktan ölçmek için de hiçbir düzeltme yapmaya gerek yoktur.

Işık yayılan bir dalga olduğundan, aslında uçaklardan her birinin zaman içinde dağılan kendi ışık küresi vardır.

Dilersek iki uçaktan birinin sabit ve diğerinin ona göre hareketli olduğuna karar verebiliriz. Mutlak bir referansa göre hareketli olduğunu söyleyemeyiz, çünkü mutlak referans yoktur!

Biri hareketsiz, diğeri hareketli iki geminin karşılaştıkları anda suya bir taş attıkları durum bundan tümüyle farklıdır.

Taşın düşüşü temas noktasından itibaren dairesel olarak yayılan bir dalga doğurur. Doğal olarak, bir süre sonra, ha-

reketsiz gemi yine "yuvarlakların" merkezinde kalacak, hızlı hareket edense onları geçecektir. İki geminin durumu, iki uçağın ışığa göre durumundan farklıdır.

Fark nedir?

Fark, sabit bir göndergesel olan suyun bulunmasıdır. Bu her şeyi değiştirir. Bu göndergesele göre, bir hareket eden gemi, bir de hareketsiz gemi vardır. Dalgalarsa göndergesele, yani suya göre yayılmaktadırlar.

Yinelersek, uzayda sabit gönderge yoktur, neyin hareketli, neyin durgun olduğunu belirlemek için dayanacağımız mutlak bir referans yoktur. Her şey görelidir. Uzayda hareket, sabit olduğu *isteğe bağlı* olarak *kararlaştırılan* bir referansa göre bir kabullenmedir.

Ama yineleyelim, mutlak sabit nokta yoktur!

Zaman görelidir

Bir gemi üzerinden dikey olarak atılan bir topun çizdiği yolun gemiden mi, kıyıdan mı baktığımıza bağlı olarak değiştiğini söylemiştik.

Aynı deneyi bir ışık demeti ve direğin tepesine yerleştirilmiş bir aynayla yaptığımızda da durum aynıdır. Işığın çizdiği yolun gemiden görünüşü dikey bir gidiş-dönüştür. Kıyıdan bakıldığında bir üçgendir (tabanı çok küçüktür, çünkü geminin hızı ışığınkinden çok daha azdır).

Eğer ışığın katettiği uzaklıkları ölçmek istersek, bunların gemiden mi, kıyıdan mı ölçtüğümüze bağlı olarak değiştiklerini görürüz. İkinci durumda daha büyüktürler. Uzaklık, zamanın hızla çarpımına eşittir, öyleyse hız, uzaklığın zamana bölümüdür. Halbuki ışığın kıyıdan ya da gemiden ölçülen hızı sabit olmalıydı.

Bu işin içinden çıkmanın tek yolu, gemi üzerinde ölçülen

zamanla kıyıdan ölçülen zamanın eşit olmadığını kabul etmektir.

Gemi üzerinde ölçülen zaman, kıyıda ölçülen zamandan daha kısadır.

Öyleyse günlük yaşamda inanıldığı gibi, zaman mutlak bir değer değil, göreceli bir kavramdır. Ölçüsü, ölçme için seçilen referans sistemine göre değişir.

Gemi üzerinde ölçülen zaman aralığına t_o dersek, gemide yapılan deneyin kıyıdan ölçülen zaman aralığı aşağıdaki gibi yazılır:

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

V = geminin hızı, C = ışık hızıdır.[72]

Doğal olarak, zaman hep bir yönde akar, geçmişe dönme umudumuz yoktur ve bunun bir temel nedeni vardır: hiçbir hareketli nesne, ışık hızından daha yüksek bir hıza sahip olamaz. Işık hızı geçilmez hızdır! Eğer onu geçebilseydik, zaman içinde geri gidebilirdik...

Şunu da çok basitçe gösterebiliriz ki bir uzunluğu ölçerken, hareketli bir nesnenin üzerindeyken ölçülen uzunluk, sabit olarak saptadığımız bir noktadan hareketli nesneyi gözleyerek ölçtüğümüz uzunluktan hep daha fazladır.

Zamanın yavaşlaması, uzunlukların büzülmesi.

Burada da şu ünlü $\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$ faktörünün kullanıldığı formülü yazabiliriz:

72 Hızı saatte 100 km.'yi bulan bir deniz motoru için ışığın hızı öylesine büyüktür ki zaman geçişi farkı 10-7'den azdır! On milyonda birden az! Farkına varmamamız hiç de şaşırtıcı değil.

$$L = L_0\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$$

Ama dikkat, tüm bunlar, zaman veya uzunluk, ancak hareketli nesnenin hızı ışık hızından çok farklı olmadığında duyulur, "görülür" duruma gelir. Sıradan hızlar için $\sqrt{1-\frac{V^2}{C^2}}$ ifadesi yaklaşık 1'e eşittir ve dolayısıyla hiçbir şey olmuyormuş gibi görünür: gerçekten de, hiçbir şey gözlemleyemeyiz. Saniyede 1.000 metre hızla giden bir uçak için bu ifadenin değeri 0 ve virgülden sonra 11 tane 9 rakamıdır; yalnızca on ikinci ondalık basamağı değişir!

Ama eğer geçerlilik koşulları gerçekteki durumlardan bu derece uzaksa, bu kuramın doğruluğunu deneyle nasıl sınayabiliriz?

Son söz deneyin

Evet, son söz deneyindir!

İki basit deney, Einstein'ın öne sürdüğü kuramın çabucak doğrulanmasını sağladı.

İlk olarak, Einstein'ın kuramının ortaya çıkmasından bile önce, 1887'de Michelson ve Morley'nin yaptığı ünlü deney vardır.

Bu deneyin amacı eterin, yani Christiaan Huygens'in ışığın bir dalga olduğunu, bu yüzden bir ses dalgası gibi yayılarak ortamı değiştirdiğini doğrulamak için öne sürdüğü şu ünlü eterin, var olmadığını kanıtlamaktı.

Bunun için Michelson ve Morley, Dünyanın Güneş çevresindeki hareketinin (100.000 km/saat) yönünde ve ona dik yönde ışığın hızını ölçtüler. Bunu başarmak için ustaca bir düzenek kurmuşlardı; bunda, aynı uzaklığı katetmiş ışık ışın-

larının girişimini oluşturuyorlardı. Girişim saçaklarını (yine girişimden söz ediyoruz) gözlemlediler ve hep aynı olduklarını, düzenek dönen bir düzlem üzerine yerleştirilip doğrultular verildiğinde buna bağlı olarak yer değiştirmediklerini gösterdiler. Değer hep aynı kalıyordu. Kısacası, yerkürenin dönüşünden kaynaklanan bir etki yoktu.

Işığın hızı gerçekten de her yönde aynıydı!

İkinci deney, muonlar deneyi dediğimiz deneydir.

Muon "ilksel" bir parçacıktır; halk arasında elektron, proton ve nötrondan daha az bilinir. Kararsızdır ve 2 mikrosaniyelik bir yaşam süresi sonunda parçalanır.

Atmosferin üst tabakalarında oluşan (nasıl olduğunu geçelim) muonlar, ışık hızına yakın hızda yayılarak (299.000 km/sn) ancak 600 metre gidebilirler.

Ama 6.000 metreden daha yükseklerde oluştukları için, yerde, düzlükte bize ulaşamamaları gerekirdi.

Oysa yerde bunlardan alıyoruz, bunları saptıyoruz ve ölçüyoruz!

Bu ikilemi görelilik iyi açıklar. Çünkü muonların bizim gözlemleme sistemimizde, yani yerküreye bağlı olan göndergeselimizde, durgunken ölçülenden çok daha uzun bir yaşam süreleri vardır: 16 kez daha uzundur ve bu da 9.500 metre gidebilmeleri, dolayısıyla yere varabilmeleri için yeterlidir.

Muon bizim referans sistemimizde 9.500 metre yol alırken, kendi referans sisteminde ancak 600 metre yol alır!

Görelilik olmadan açıklaması zor...

Manyetizmanın örtüsü kalktı!

Einstein'ın kuramının üçüncü başarısı, tam anlamıyla deneye dayalı değildir: manyetik güçlerin açıklamasıdır.

Maxwell'in elektrik alanıyla manyetik alan arasında

kurduğu, her birinin diğerini yarattığına ilişkin eştözlülük bağı, birbiriyle bağlantılı gibi görünen ama ayrı olan iki tür olaya dayanıyordu. Einstein ise göreliliğin yardımıyla, manyetik olayları göreliliğe dayalı elektriksel etkilerle ilişkilendirdi.

Örneğin, birbirine paralel iki elektrik telinin üzerinden paralel iki elektrik akımının geçtiği ve tellerin birbirlerini manyetik güçlerle çektiği ünlü deneyle ilgili olarak Einstein, laboratuvara bağlı bir gözlemci için iki teldeki elektriğin nötr olduğu kesin olmasına karşın, tellerden her biri için durumun aynı olmadığını, her birinin diğerini küçük bir elektriksel sapmayla "gördüğünü" gösterdi. Eğer referans sistemi olarak iletkenlerden birinin eksi yüklerini alırsak, şu ünlü uzunlukların büzülmesi etkisiyle ikincide küçük bir dengesizlik "görecektir", vb.

Zaten sonradan iki telin birbirini çekmesine, yüklerdeki bu küçük dengesizlikler üzerinde etkiyecek elektriksel güçler neden olacaktır.

Doğal olarak, bu göreli etkiler çok küçüktür, çünkü elektronlar bir iletkende ancak milimetre/saniyeden daha düşük hızlarda hareket ederler, ama elektriksel güçler devasa olduğuna göre...

Bir elektron için elektrik gücünün kütle çekim gücüne oranının 10^{42}, yani 1'den sonra 42 sıfır olduğunu düşünün! Öyleyse çok küçük bir etki (elektriksel) hatırı sayılır sonuçlar (manyetik bakımdan) doğurabilir. Manyetizmanın özü budur.

Böylece, birleştirme yolundaki büyük ilerlememizde biraz daha yol aldık; elektrik güçle manyetik gücün doğası aynıdır.

Langevin'in gezgini

Paul Langevin (1872-1946) büyük Fransız fizikçilerinden biriydi. Yüzyılın başında Görelilik kuramının Fransa'daki ender savunucularından biri oldu ve bu kuramı etkin biçimde açıklamaya çalıştı.

Bu amaçla, küçük bir öykü uydurdu.

Yirmi yaşında ikizler olsun. Bunlardan biri ışık hızına yakın bir hızla (bu hızın % 80'i diyelim) Evrende tur atacak bir uzay aracına binsin. Diğeri yeryüzünde kalsın ve öteki ben'inin dönmesini beklesin.

Geminin gezisi 40 ışık yılına, yani 50 yıllık bir süreye karşılık gelsin (beni iyi izlediğinizden emin olun, yalnızca küçük bir bölme işlemi gerekiyor).

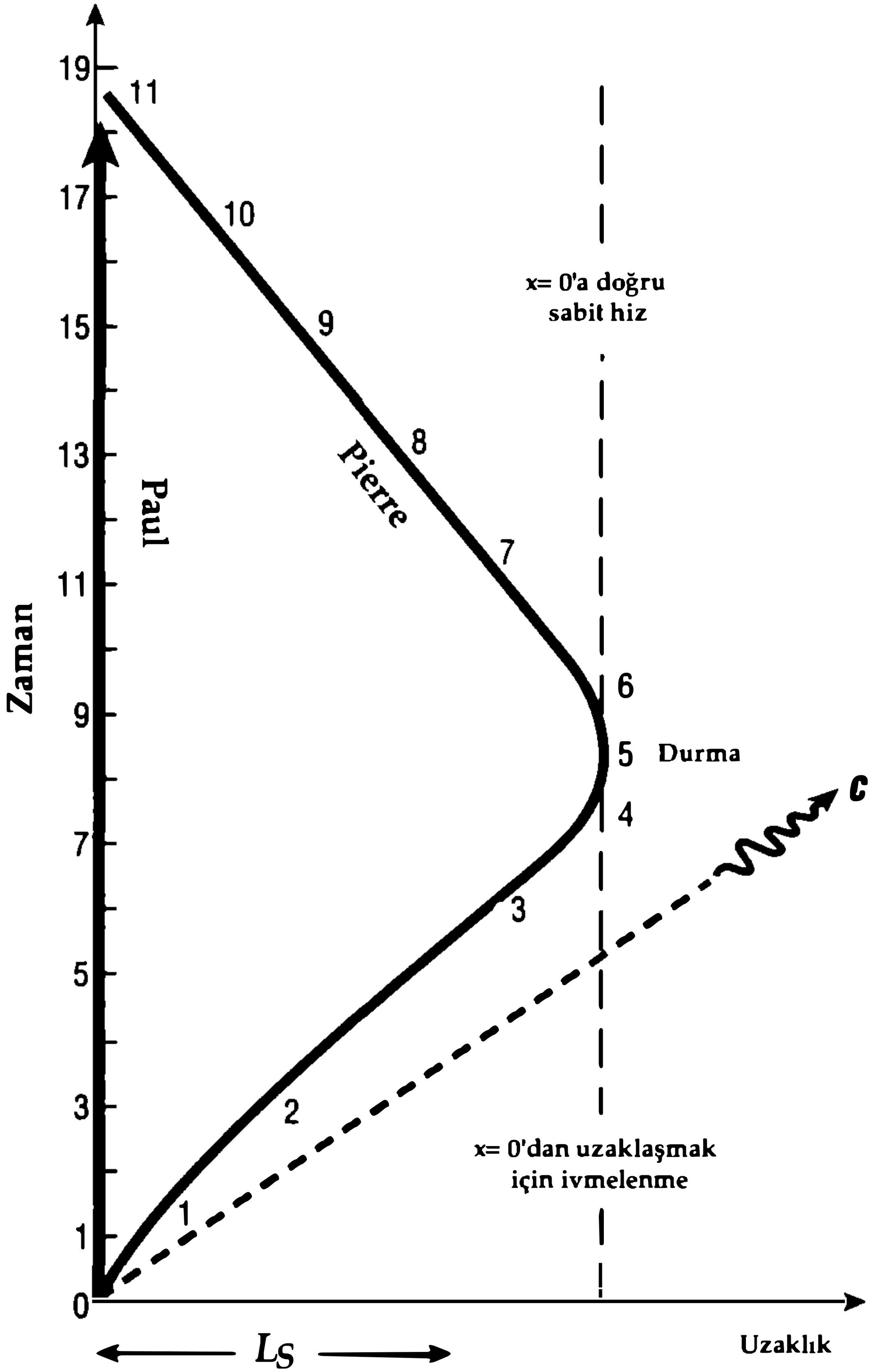
Buna göre yeryüzündeki ikiz, öteki dönene dek elli yıl yaşlanır. Ama araçtaki ikiz zamanın % 60'ını geçirdi ve böylece yalnızca otuz yıl yaşlandı.

Yeryüzünde bir araya geldiklerinde biri ötekinden yirmi yıl daha yaşlıdır!

Aslında, herkesin nefesini kesen bu öyküde kolayca saptanabilecek temel bir yanlışlık vardır. Gerçekten de, her şey göreceli olduğundan, uzay gemisinin sabit olduğu ve ışık hızının % 80'i hızla gidenin yerküre olduğuna karar verebilirdik. Sonuç eldekinin tersi olurdu. Ama bu senaryodan çıkarak, nasıl olur da ikizlerden biri bir durumda daha genç, aynı ikiz diğer durumda daha yaşlı olabilir?

Aslında, düşünümün kendisinde bir çatlak vardır.

Belirttiğimiz gibi, Sınırlı Görelilik yalnızca eylemsiz referanslar için geçerlidir, yani sabit tekdüze bir hızla doğrusal hareket edildiğinde. Oysa gemi, yolculuğu yaparken üç kez ivmelenmek zorunda kaldı. Önce hareket etmek için, bir kez yere inmek için, bir kez de yön değiştirmek, dönmek ve yerküreye geri dönmek için. Tüm bunlar senaryoyu değiştirir.



Şekil 9.2
Langevin'in yolculuğu.
Uzaklık-zaman diyagramı. Pierre yolculuk yapıyor, Paul yapmıyor (isteğe bağlı seçilen bir referans sistemi çerçevesinde).

Bunu, deneyi uzay-zaman diyagramında gösterdiğimizde anlarız (Bkz. Şekil 9.2). İşin sonunda ikizlerin aynı derecede "yaşlandığını" görürüz (ya da yaklaşık olarak...)!

İşte, inandırıcı olması için ışık hızına yakın hızlarda yer değiştirmelerle gelişmesi gereken ünlü Amerikan televizyon dizisi *Uzay Yolu*'nu batıracak bir şey!

Kütle ve enerji

Tartışılmaz bir mantıkla, karmaşık matematiğe başvurmak gerekmeksizin düşünmeyi sürdürebilir ve bunu bu kez de kütleye uygulayabiliriz.

Sonuca doğrudan varılır: hareket eden bir nesnenin kütlesi (seçilen bir referans sistemine göre), sabit referans sistemine göre ölçüldüğünde durgun kütleden daha büyüktür. Bundan, enerjiyle ilgili olarak, bildiğimiz medyatik başarıya götüren şu ünlü formülü çıkartabiliriz: $E = mc^2$; burada E enerji, m kütle ve c bilinen ışık hızıdır.

Bu denklem kütleyle enerjinin aynı olduğunu değil, bunların arasında çok derin bir ilişki olduğunu gösterir, öyle ki birini diğerine dönüştürmeyi umabiliriz.

Şu enerji dediğimiz büyüklüğün gizemli doğasının ne olduğunu anlamaya çalışırken, enerjinin kütlede kapsandığını, hapsolduğunu görürüz.

Bilindiği gibi, atom enerjisi bu formülden çıkmıştır. Çok yüksek enerji elde etmek için az miktarda kütle yok ederiz ve bu da ışık hızının karesinin çok büyük bir çarpan olduğunu kanıtlar.

Ayrıca on yıl sonra, 1915'te Einstein daha zor bir problemi çözecektir: sistemlerin sabit hızlı değil, ivmelenen göndergesellerden bakışla betimlenmesi.

Bildiğimiz asansör deneyi bize, ivmelenme varsa, bir sistemin hareket halinde olduğunu onun içindeyken anlayabildiğimizi gösterir (ama yineleyelim, sabit, tekdüze hareketteyse değil; sarsıntılar, sürtünmeler, titreşimler duyuyorsak, *ivmelenme* vardır).

Bu durumda göreliliğin ilkelerini nasıl uygulayabiliriz? Einstein bize bunu gösterecek, bu da bizi Newton'ın yerçekimi kuramını ve ışığa etkisini baştan sona yeniden gözden geçirmeye götürecektir. Ama bu da başka bir öyküdür... Genel Göreliliğin öyküsüdür.[73]

Her şey görelidir. Düşünceler, kanılar, inançlar da öyle değil mi? Bu "basit" bir anlatım biçimi, ama sağduyulu ve Einstein'ın kendisinin de farkına vardığı gibi, geniş halk kitlelerinin onun yapıtından kavradığı da bu.

Bu saydığımız alanlarda da mutlak referans sistemleri yoktur, yalnızca seçilmiş referans sistemleri vardır. Tahminlerimizi, ölçümlerimizi ve değerlendirmelerimizi asla mutlak olarak değil, hep bir şeye "göre" yaparız. Oyleyse, evet gerçekten, mutlak'ı işlemekten kaçınalım.

Her şey görelidir...

73 Bunu daha sonraki bir ciltte ele alacağım... Gücüm olursa (ve uzman meslektaşlarımın yardımıyla!).

10

Yaşamın Sırları

Biyoloji, 21. yüzyılın büyük bilim dalı olacak. Diğer dallar için uyguladığım yöntemin tersine biyolojiyi "tersten", geçmişiyle geleceğinin kesiştiği odak noktasından, yani DNA'nın[74] yapısından ve evrenselliğinden hareketle inceleyeceğim.

DNA

DNA bir molekül, bir makromoleküldür; yani birbirine bağlı milyarlarca atomdan oluşur.

Biçimi uzuncadır, birbirine sarılmış bir çift, bir tür iplikçiktir; tıpkı Chambord şatosundaki iki merdiven gibi birbirine dayanmış iki sarmal. Bu, DNA'nın ünlü çift sarmalıdır. Yaşamın çift sarmalı.

Her sarmal, her iplikçik, daha küçük bir moleküller dizisinden oluşur.

Bu kurucu moleküllere *nükleotid* denir.

Birbirlerinden ayrı moleküller olsalardı bile nükleotidleri yine karmaşık moleküller olarak görürdük. Bir düşünün, her nükleotid üç öğenin birleşmesinden oluşur: bir şeker, bir *fosfat*

74 Dezoksiribonükleik asit

ve bir *baz*. Bir nükleotidden ötekine bir tek şey değişir: *bazların türü*. Dört tür baz vardır, demek ki dört tür de nükleotid vardır; bunlar kısaca ATCG[75] olarak gösterilir. Bu nükleotidler zincir biçiminde düzenlendiklerinden, bir alfabenin harfleri gibi birbirlerini izlerler: ATGATGCTA...

Bu mesajın harfleri birbirini izler, ama hep aynı sırayla değil. Bu sıralama yaşayan bir tek tür için hep aynı olur. Her türün kendine özgü sıralaması ve harf sayısı vardır, ama temel yapı, yani çifte sarmal düzenlenme ve harfler tüm canlı varlıklarda özdeştir – evet aynıdır. Bakteriden file, mantardan güle, deniz yosunundan insana.

Genetik Kod dediğimiz, aynı harflerle yazılmış ve aynı "çifte sarmal" biçimine sahip bir "kitapta" toplanmış bu dizilerdir. Bu kod herkes için aynıdır. Bu genetik kod biraz mors gibidir: mors noktalar, kısa çizgiler, uzun çizgiler, boşluklarla yazılır. Genetik kod da dört işaret yardımıyla yazılır. "Kodon" denen, üç nükleotidli üçlülerin varlığı üzerine kurulmuştur. Çeşitli kodonların anlamı tüm canlı varlıklar için aynıdır: genetik kodun birliği denen şeyin derin anlamı budur.

Peki bu DNA dediğimiz ipliksi makromolekülle neden ilgileniyoruz? Ne de olsa, insan bedeninde DNA kadar ilginç binlerce karmaşık molekül var!

DNA'nın önemi, *genetik kodu* taşıyor olmasındadır. DNA, kalıtımın mesajını, başka bir deyişle, canlı varlıkların nasıl çoğaldıklarını, geliştiklerini, yapılandıklarını tanımlayan ve gerçekleştiren mesajı kendinde taşır.

Canlı bir varlık için çoğalma, yaşam demektir.

İster yosun, ister insan, isterse böcek ya da ağaç olsun canlı bir varlık, kendisinin tıpkısını –ya da neredeyse tıpkısını– yaparak çoğalma özelliğine sahiptir. Ne taşlar, ne dağlar, ne de insanın ürettiği yapıtlar ürerler (M.I.T.'den Profesör

75 A = Adenin, T = Timin, C =Sitozin, G =Guanin.

Minsky'nin çabalarına ve belirli aralarla verdiği demeçlere karşın robotlar bile üremezler). Laboratuvarlarda yaşam sentezlemeye yönelik tüm çabalar da hep bu engele çarpmıştır. Bugüne kadar hiçbir sentetik molekül kendiliğinden, dıştan yardım almadan üreyecek biçimde yapılanmayı başaramadı.

Bunu yapmayı bilen DNA'dır. DNA çoğalmayı, kendisinin tam bir kopyasını yapmayı bilir ve çoğalırken bireylerin ve türlerin özgün karakterlerini nesilden nesile aktarır.

DNA moleküllerinin uzunluğu türlere göre değişir; kendilerini oluşturan nükleotidlerin farklı sıralamalarından dolayı çeşitlilik gösterirler, ama karmaşıklık dereceleri ne olursa olsun hep aynı yapıyı ve aynı genel davranışı gösterirler.

Moleküler biyolojinin, isimleri artık bilim tarihine kazınmış olan kurucularının kanıtladığı da budur: Crick, Watson, Monod, Jacob, Brenner ve daha başkaları. Tüm modern biyoloji buradan hareketle kurulmuştur.

DNA'nın temel bir özelliğine, *çifte* sarmal karakterine bir an için geri dönelim ve bu noktada *çifte* sözcüğünün üzerinde duralım.

Gerçekten de, her sarmalın üzerinde, belirtilen dört harfle yazılmış büyük bir dizi görürüz, ama her bir DNA'nın iki dizisi tam olarak birbirinin aynı değildir. Bu iki sarmal bağımsız değildir, birbirlerini tamamlayıcıdır. A, T'nin karşısındadır, G, C'nin karşısındadır. Hep böyledir. Genetik mesajı taşıyan, bu iki sarmalın bütünüdür, aynen kopyalanacak tek bir sarmal değil. Bu iki sarmal birbirine "zayıf" atom güçleriyle bağlıdır: 1. Bölüm'de açıkladığımız Hidrojen köprüleriyle. Bu Hidrojen köprüleri DNA'nın bağlamını sağlarlar, ama kimi koşullarda kopabilirler, bu durumda iki iplikçik ayrılarak, her biri kendi yaşamını sürdürebilir. Bu ayrılma köksel niteliktedir – neredeyse "sihirli" olduğunu da söyleyebiliriz.

Bu, *hücre üremesi* ya da *eşeyli üreme* sırasındaki durumdur (Bkz. Şekil 10.1).

Burada, biyolojide temel önem taşıyan (DNA'nın ve yapısının keşfini önceleyen) bir kavramı işin içine almamız gerekiyor: kromozomlar.

Her kromozom, çifte sarmalıyla donanmış, proteinlerden bir zarfa sarılmış, tam bir DNA molekülünden oluşur. Bu kromozomlar ikişer ikişer ilerler (iki çifte sarmal): biri babadan gelir, diğeri de anneden. DNA'nın çifte sarmalı sayesinde kromozomlar kopyalanabilir, yani bunların bir eşi oluşabilir.

Eşeyli üreme sırasında işler daha karmaşıktır.

Her şey bir hücre üremesi gibi başlar. DNA molekülleri kendilerini kopyalar, kendi benzerlerini yaparlar ve ardından köksel bir olay gerçekleşir: kromozomların ayrılması.

Artık cinsel hücrelerde sıradan hücrelerdeki gibi iki kromozom yerine, yalnızca bir kromozom vardır. Çift kromozom yapısı döllenme sırasında yeniden oluşur, ama bir kromozom anneden, bir kromozom babadan gelerek olur bu. Bu tüm kromozom tipleri için böyle olur.

İnsanın 23 çift kromozomu olduğuna göre, bu olay aynı anda 23 kez gerçekleşir. Bu çaprazlanma başlangıçta zaten büyüktür, çiftleşen bu kromozomlar DNA parçaları değiş-tokuş ettiklerinde iyice büyür. Böylece aynı kromozomun üstünde, aynı DNA çifte sarmalının üzerinde babadan gelen parçalar ve anneden gelen parçalar bulunur. Bu süreç sırasında gerçekleşmesi olanaklı birleşimlerin sayısı, sözün tam anlamıyla düşünülemeyecek kadar çoktur. Tüm bu süreçte DNA'nın "plastisitesi" [uyarlanabilirliği] önemli bir rol oynar.

Hücre üremesinde (buna eşeysiz üreme de denir), yani canlı bir hücrenin iki yeni hücre doğurduğu durumda, her iplikçik ikiye bölünür, demek ki her yeni hücrede birbirinin tıpkısı iki çifte sarmal bir araya gelecektir. Böylece DNA hücreden hücreye kendisinin tıpkısını üretir.

Cambridge, 1951-1953

Amerikalı genç bir biyolog olan James Watson, dünyanın en saygın fizik laboratuvarlarından Cavendish laboratuvarına adımını atar. Ne yapmaya gelmiştir bu genç biyolog? Doktora sonrası stajı için fizikçiler arasına gelmekle yönünü şaşırmamış mıdır?

O sıralarda Cavendish laboratuvarını dünya biliminin anıt isimlerinden biri, Sir Lawrence Bragg yönetiyordu. Moleküllerin ve kristallerin yapısının X ışınlarıyla nasıl çözüleceğini bularak babasıyla birlikte Nobel Fizik Ödülü'nü almıştı. Bragg, Cavendish'in başına geçtikten sonra (bu görevi Ernest Rutherford'dan devralmıştı) araştırmaları, canlıları oluşturan büyük moleküllerin yapısının açıklanmasına yönlendirdi. Bilimin büyük yollarının biyolojide açılacağını sezmişti (doğru olarak)!

James Watson, bu kristaller biliminden, bu çetin ve çok teknik bilim dalından pek bir şey anlamıyordu, ama içinden, kromozomların o dönemde genel olarak inanıldığı gibi proteinlerden değil, DNA'lardan oluştuğuna inanıyordu. Kendi deyimiyle "yaşamın sırrı"nı delmek için DNA'nın yapısını belirlemek istiyordu ve Cavendish ona bu projeyi gerçekleştirmek için ideal yer gibi görünüyordu.

Birkaç yıl öncesinde, tam olarak 1944'te, Rockefeller Üniversitesi'nden Oswald Avery yönetiminde bir grup biyolog genlerin DNA'lardan oluştuğu düşüncesini ortaya atmıştı. Ama bu sav pek dikkat çekmemişti. Watson ise tezini bitirdiğinde, Avery ve arkadaşlarının haklı olduğuna inanıyordu.

Cambridge'e adım attı ve uzun süredir öğrenci olan, tezini hazırlamayı sürdüren, fizikçi Francis Crick'i kendisiyle birlikte DNA'nın yapısı üzerine düşünmeye kolayca razı etti. Bugün bildiğimiz gibi, bu işbirliği son derece verimli olacaktı.

Aynı dönemde, fazla uzakta değil, Londra'da, bir başka kristal uzmanı, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin isimli genç bir fizikçi-kimyacıyla birlikte çalışıyordu. Wilkins, DNA'nın X ışınlarıyla alınmış klişelerini yayımlamıştı, ama bunlardan onun yapısını kesin olarak çıkaramıyordu, çok büyük moleküller söz konusu olduğunda bu işlem hiç de kolay değildir.

Watson ve Crick, Wilkins ve Franklin'i ziyaret edip konuştular; onları DNA'nın yapısını çözümlemeyi denemek için gerçek bir işbirliğine razı edemediler, ama yazışmak için sözleştiler.

Cambridge'e döndüklerinde Crick, Watson'ın sürekli teşvikiyle, kristal bilimiyle ilgili soruna, yani Wilkins'ten alıp getirdikleri klişelerin yorumlanması problemine girişti; tüm yaşamınca göstereceği o parlak imge gücünü ve aynı zamanda kristal bilimindeki üstün teknik uzmanlığını bu işe koydu.

Sarmal düşüncesi gündemdeydi. Lawrence Bragg, bunu birtakım proteinlerin yapısına ilişkin olarak ortaya atmıştı. Modern kimyanın büyük ustası Linus Pauling tek sarmalı olan bir DNA modelini gerçekleştirmişti. Crick, X ışını klişelerinin sarmal, ama çifte sarmal bir yapıdan hareketle yorumlanabileceğini gösterdi. (Rosalind Franklin'in başka yollardan aynı sonuca vardığı anlaşılıyor.)

Buna paralel olarak, Crick ve Watson çifte sarmal biçiminde bir molekül modeli kurmaya başladılar. Bu, temel molekül öğelerinin çifte sarmal biçiminde iki demir iplikle bağlandığı bir tür legoydu. İşin zor yanı, nükleotidleri uzamda bir arada toplu ve uyumlu duracakları ve iki sarmalın arasında bütünün birlikteliğini sağlayacak Hidrojenli kimyasal bağlar olacak biçimde yerleştirmekti. Ustalık ve imge gücü bu girişimin başarısı için temel koşuldu: zaten Crick de, Watson da bundan yoksun değildi. Başarılarının arkasındaki neden buydu.

Molekül modeli bir kez kurulduktan sonra bunun bir de Maurice Wilkins'in ve özellikle Rosalind Franklin'in gittikçe daha net olarak çekmekte olduğu X ışını klişeleriyle uyumlu olması gerekiyordu.

Watson ve Crick kendi aralarında ve Cambridge yerleşkesindeki kimyacı meslektaşlarıyla, X ışını uzmanlarıyla ve kuşkusuz Bragg'la da konuşarak, deneme-yanılmayla, araştırmayla, modellerini sıkça değiştirerek, kısacası yılmadan parçaları birleştirerek molekül yapısını kurmayı ve onu X ışını resimleriyle uyumlu duruma getirmeyi başardılar. Onları en sonunda DNA'nın yapısına ulaştıran, bu dâhiyane birleştirmeler oldu.

On yıl sonra, Crick, Watson ve Wilkins hep birlikte biyoloji, fizyoloji ve tıp alanlarında Nobel Ödülü alacaklardır. Rosalind Franklin, o tarihten önce kanserden ölmüştü. Rosalind Franklin'in gerçekte oynadığı rol üzerine çok yazıldı. Feminizmin aracılığıyla ondan bir kurban yaratıldı. Ama gerçek daha basittir: Eğer Rosalind Franklin yaşamış olsaydı, kuşkusuz Nobel Kimya Ödülü'nü Maurice Wilkins'le paylaşır, Nobel Fizyoloji ve Tıp Ödülü de Crick ve Watson'a kalırdı. Kuşkusuz ne o, ne de Wilkins inceledikleri yapının taşıdığı önemi –ve özellikle de buluşlarının doğurabileceği sonuçları– kavramıştı. Ama çok iyi kristal bilimcilerdi, birbiri ardına, dizi halinde her biri başka bir molekül için Nobel Ödülü alanlar gibi. Bu ödüller Bragg'ın abartılmış etkisini gösteriyor. Crick ve Watson, kuşkusuz, Wilkins ve Franklin'i "kullandılar", ama sonradan kanıtlandığı gibi, gerçek yenilikçiler onlardı!

DNA'nın tanımlanan bu yapısının değerinin iyice anlaşılması için beş yıl geçti, ama bu yapı olağanüstü bir başarı sağladı; bu bizi şaşırtmamalı. Biyolojinin kısımlarını birbirine yaklaştırması, birleştirmesi bunu açıklar: Lamarck'ın, ardından Darwin'in ileri sürdüğü evrim kuramı, Gregor Mendel'in yarattığı kalıtım bilimi, Virchow'un çalışmalarından çıkarılan

hücre kuramı, gelişme teorisi ve embriyoloji, biyolojik kimya (canlıları kimyasal açıdan tanımlamaya çalışır).

Tüm canlı varlıkların hücrelerinin tam merkezinde, çekirdeklerinde, tüm hücrelerinde barınan bu çifte sarmal sayesinde her şey bir çırpıda şahane bir sentezde birleşir. İnanılmaz bir şeydir bu, ama kesindir.

Çünkü bu çifte sarmal yalnızca biyolojinin birbirinden ayrı olduğu sanılan çeşitli alt dallarının kavramlarını birbirine yaklaştırmakla kalmaz, ayrıca her birindeki birtakım kilit sorulara da yanıtlar verir.

Evrim

Türlerin evrimi kuramı kuşkusuz bilimsel kuramların en iyi bilinenidir: "İnsan maymundan gelir. Hepimiz bakterinin uzak torunlarıyız." Her düzeyde, çeşitli din otoriteleriyle en fazla fırtınalı tartışma uyandıran da odur.

Ayrıca canlılar bilimlerine adını veren, bunların özeği, omurgası, en son genel çerçevesi bu kuramdır.

DNA, bu kurama tartışmasız bir kanıt unsuru getirmiştir. Çünkü bakteriden file, mavi yosundan güle, salyangozdan İnsana tüm canlı varlıklar, hepsi, genetik kalıtlarını DNA'nın bu çifte ipliğinde kodlanmış bulurlar. Kuşkusuz, DNA'lar aynı uzunlukta değildir, çifte iplikler (kromozomlar) insanda bakteride olduğundan daha çok sayıda ve daha karmaşıktır (insan DNA'sında 46 kromozom halinde düzenlenmiş 3,5 milyar nükleotid ya da "harf" bulunurken, bakterininkinde 2 milyon nükleotid ve bir tek kromozom vardır), ama söz konusu olan *hep* DNA'dır. DNA'nın gösterdiği olağanüstü molekül karmaşıklığını bildiğimizde, sahip olduğu inceliğin ve eşsiz kesinlik mekanizmasının farkına vardığımızda, farklı soylardan gelişigüzel çıkarak, birbirinden ayrı biyokimyasal reaksiyon di-

zilerinden inerek gelmiş nesillerin bu derece karmaşık ve bu derece benzer ortak yapılara ulaşmış olmasına inanmak güçtür. Oysa tüm olasılık hesapları ve kimyacıların iki yüzyıldan beri yürüttükleri deney çalışmaları aynı sonuca varır: doğanın DNA'yı birçok süreçte ayrı ayrı üretmiş olması düşünülemez!

Öyleyse molekül düzeyinde, başka deyişle köksel düzeyde hepimiz aynı temel kalıptan çıktık; bir defada, bir anda, bir tek yerde yaratılan DNA'dan çıktık – epey zaman oldu...

DNA, bugün hâlâ bilim için en büyük sır olanın, yani yaşamın ortak paydası, bekçisi, tanığı, sembolü, mimarı, devindiricisidir ve genel anlamda apaçık bilinen ama gerçekleşme biçimi henüz anlaşılmamış olan şu evrim kuramının en sağlam kanıtıdır.

Bu kuram genellikle Darwin'e atfedilir; bizse onu daha geriye götürüp Lamarck'a mal edeceğiz.

Lamarck ve Cuvier

Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), hiç kuşkusuz, Tabiat Tarihi Müzesi'nde çalışmış en büyük profesörlerden biridir. *Biyoloji* sözcüğünü, yani canlı olan her şeyin aynı mantığa dayandığının kavramını bulan odur (*La Logique du vivant*, François Jacob'un güzel bir yapıtının adıdır.[76])

Buradan hareketle, şaşırtıcı derecedeki çeşitlilikleri içinde tüm canlı varlıkların karmaşık bir soy zinciri içerisinde birbirlerinden türedikleri düşüncesini ortaya koyar. *Evrim kuramı* düşüncesinin ta kendisidir bu.

Jean-Baptiste Lamarck, bu iki temel düşünceyi 1793'te Müze'de verdiği halka açık dersler vesilesiyle oluşturdu, daha doğrusu bu derslerde biçimlendirerek açıkladı.

76 François Jacob, *La Logique du vivant* (Canlının mantığı), Paris, Gallimard, 1996.

Bilimsel çalışmaları o güne dek bitkiler üzerinde yoğunlaşmış olan Lamarck, Tabiat Tarihi Müzesi'nin zooloji kürsüsüne yeni seçilmişti; önceden uzmanı olmadığı bir alandı bu. Dersi hazırlamak için gayet doğal olarak, bitkiler üzerine bildiklerinden hareket etti. Bitkilerle hayvanlar arasında andırışlar, benzerlikler, yakınlıklar aradı ve gitgide, bu canlının birliği düşüncesine, ardından da evrim düşüncesine ulaştı.

Georges-Louis Cuvier (1769-1832) Lamarck'ın çağdaşıydı, o da Tabiat Tarihi Müzesi'nde profesördü.

Uzmanlık alanları paleontoloji ve omurgalıların karşılaştırmalı anatomisiydi. Başarısını ve ününü (bugün de sürer), Monmartre'daki opossum fosilinin nasıl bir yapıya sahip olması gerektiğini birkaç dağınık fosilleşmiş kemiğin incelemesine dayanarak belirlemesine borçludur. Çünkü bu küçük kemirgenin tam iskeleti bulunduğunda, bu, Cuvier'nin zaferi oldu: gerçekten de onu oldukça büyük bir başarıyla betimlemişti (ve çizmişti!).

Bu başarının ardından Cuvier, Paris Havzası'nın jeolojik katmanlarını ve özellikle içlerindeki fosilleri incelemişti. Fosillerin yapısında zaman geçtikçe (doğal olarak bu aşağıdan yukarıya doğru görülüyordu, çünkü bir diğerini örten bir jeolojik tabaka ondan daha gençtir) ani oluşmuş değişiklikler saptamıştı. Ona göre bu, hayvanları ve bitkileri dönem dönem yok eden afetlerin bir kanıtıydı. Bunlar olduğunda Tanrı yeni türler yaratıyor ve bir sonraki yokoluşa dek yeni bir evre başlıyordu.

Lamarck, Cuvier'nin gözlemlerini bambaşka yorumluyordu.

Ona göre, fosillerin doğasındaki bu değişimler türlerin evriminin, yani jeolojik zamanlar boyunca, aşamalı olarak, birbirlerine dönüşümlerinin kanıtıydı.

Bunun üzerine Cuvier, Lamarck'tan nefret etmeye ve onunla var gücüyle savaşmaya başladı.

Zaten Cuvier çok nüfuzluydu. Hatta hiç kuşkusuz dönemin en nüfuzlu Fransız bilimcilerinden biriydi.

Böylece Cuvier, Lamarck'ın tüm kariyerini engelledi ve Lamarck yaşamını yoksulluk ve unutulmuşluk içinde tamamladı (o dönemde bilim adamları devlet ödenekleri ve yardımlarıyla geçiniyorlardı). Jardin des Plantes çevresinde Buffon'lar, Cuvier'ler, Geoffroy Saint-Hilaire'ler ya da Jussieu gibi, bir caddeye isim vermeye hakkı olmadı. Bereket versin, Üçüncü Cumhuriyet onu saygınlığına kavuşturdu. Ona Jardin des Plantes'ta bir heykel dikti ve Paris'in 18. bölgesinde güzel ve uzun bir cadde verdi! Ama Cuvier amacına ulaşmıştı: Lamarck Tarihin karanlıklarında kaldı (doğrusu İngilizlerin buna etkin yardımını da unutmamalı).

Şövalye Jean-Baptiste Lamarck'ta ne kusur buldular da ondan evrim kuramının babası unvanını esirgediler?

Lamarck'a göre türlerin evrimi iki faktörün etkisiyle oluşur: canlı maddenin doğal bir özelliği olarak, mükemmelleşmeye olan genel bir eğilim ve ortama uyma. Ama Lamarck için bu uyum kalıtımsaldır. Zürafa büyük ağaçların yapraklarını yer, bunun için boynunu uzatır, boynu uzar ve nesilden nesile gittikçe daha uzun olur.

Bilimsel dilde buna "edinilmiş özelliklerin kalıtımı" denir. Oysa biyolojide daha sonraki gelişmeler bunun olanaksızlığını gösterdi. Kuyrukları kesilen bir fare topluluğu kuyruksuz fareler doğurmaz!

DNA dilinde, DNA'da kodlanmış özelliklerin aktarıldığı, DNA'nın dışında edinilenlerin bireyle öldüğü söylenir.

DNA, *Germen* adı verilen, üreme çizgisinin kalıcı unsurudur, canlılarda bundan geri kalansa *Soma*, yani bedensel olan, bireyin ölümüyle tarihten kaybolandır.

DNA ölümsüzdür, nesilden nesile aktarılır, geri kalanı

ölümlüdür. Lamarck, Soma için kalıtımı savlamıştı. Büyük bir yanlış! Peki ya Darwin? Herkesin evrim kuramının babası olarak gördüğü? Daha mı şaşmaz görülüydü?

Charles Darwin (1809-1882)

Kesinlikle hayır. Gerçekten, Darwin ne dedi? Onun evrim kuramı kuşkusuz Lamarck'ınkine göre daha tamamlanmış, daha iyi kanıtlanmış, daha iyi açıklanmıştır, ama temel farkları nedir? O da Lamarck gibi, edinilen karakterlerin kalıtımının ve ortama uyumun evrimin asıl etkenleri olduğuna inanmıştı, Soma'nın kalıtımsal olduğuna inanmıştı ama ona bir başka faktörü, temel bir faktörü ekledi: *doğal ayıklanma.* "Doğa en yetenekli olanları seçer" dedi. Besin bulmayı diğerlerinden daha iyi becerenleri, dişileri diğerlerinden daha iyi baştan çıkartanları –dolayısıyla, genlerini aktarmak için daha çok şansı olanları–, renkleri, boyları ve davranışları ortama daha iyi uyanları. Ayıklanma *Soma* üzerinden olur, bu da ona ait *Germen*'in seçilmesini sağlar. Darwin'in bu doğal ayıklanma düşüncesini Malthus'tan aldığı çok söylendi. Ama Ernest Mayr'ın dediği gibi, hiçbir şey kanıtlanmış değil. Ne olursa olsun, Darwin'in büyük bir adam olduğu açıktır.

Darwin cesur, iyi yazan biridir, açık kafalıdır ve ansiklopedik bir kültüre sahiptir. Jeolog, zoolog, paleontologdur, çok yolculuk yapmıştır, özellikle *Beagle*'la yaptığı ünlü yolculuğunda dünyayı dolaşmıştır. Paleontolojiden biyojeografiye kadar birçok alandan aldığı sayısız kanıtları kullanır (Galapagos adalarının ünlü hayvanlar topluluğu, adalardaki kuş toplulukları). Kitabı kusursuzca belgelenmiş ve kanıtlarla beslenmiştir.

Anglikan Kilisesi'yle aralarında bir tartışma doğdu mu? Bundan çok çekti ama düşüncelerinden bir adım geri atma-

dı; zaten aralarında Thomas Huxley olmak üzere arkadaşları onu ateşli biçimde savundular. Kınandı, tehdit edildi, dışlandı... ama iyi dayandı. Genç bir çağdaşı, Wallace, ondan bağımsız olarak aynı ya da neredeyse aynı olan bir kuramı savundu. Kısa bir süre sonra birbirlerini destekleyecek ve birlikte mücadele vereceklerdir. Böylece Darwin sabretti ve İnsanın kökeni üzerine bir kitap bile yazdı. "İnsan maymundan gelir" der. Victoria yüksek sosyetesinin dili tutulur.

Ayrıca Darwin, ünlü Cambridge Üniversitesi'ndendir, eğitimini orada yapmıştır. Yetenekli biriyseniz ve Cambridge'denseniz, yeteneğinizin kabul görüp görmeyeceği konusunda endişeye gerek yoktur! Bu bugün de geçerlidir. Cambridge'de hocalar arasındaki tartışmalar bile tüm tarafların en fazla yararlanacağı biçimde kullanılır.

Ama Darwin'i bugün okuduğumuzda, genetiğin babası Mendel'i (1822-1884) okumamış oluşuna üzülürüz. Oysa Mendel'in kitabı 1865 tarihlidir, Darwin'inkilerse 1858 ile 1871 arasına yayılmıştır.

Buna ancak yerinilir, çünkü Darwin'in kuramı harika bir biyoloji bilim dalı olan genetiğin eksikliğini korkunç biçimde taşımaktadır.

Genetik

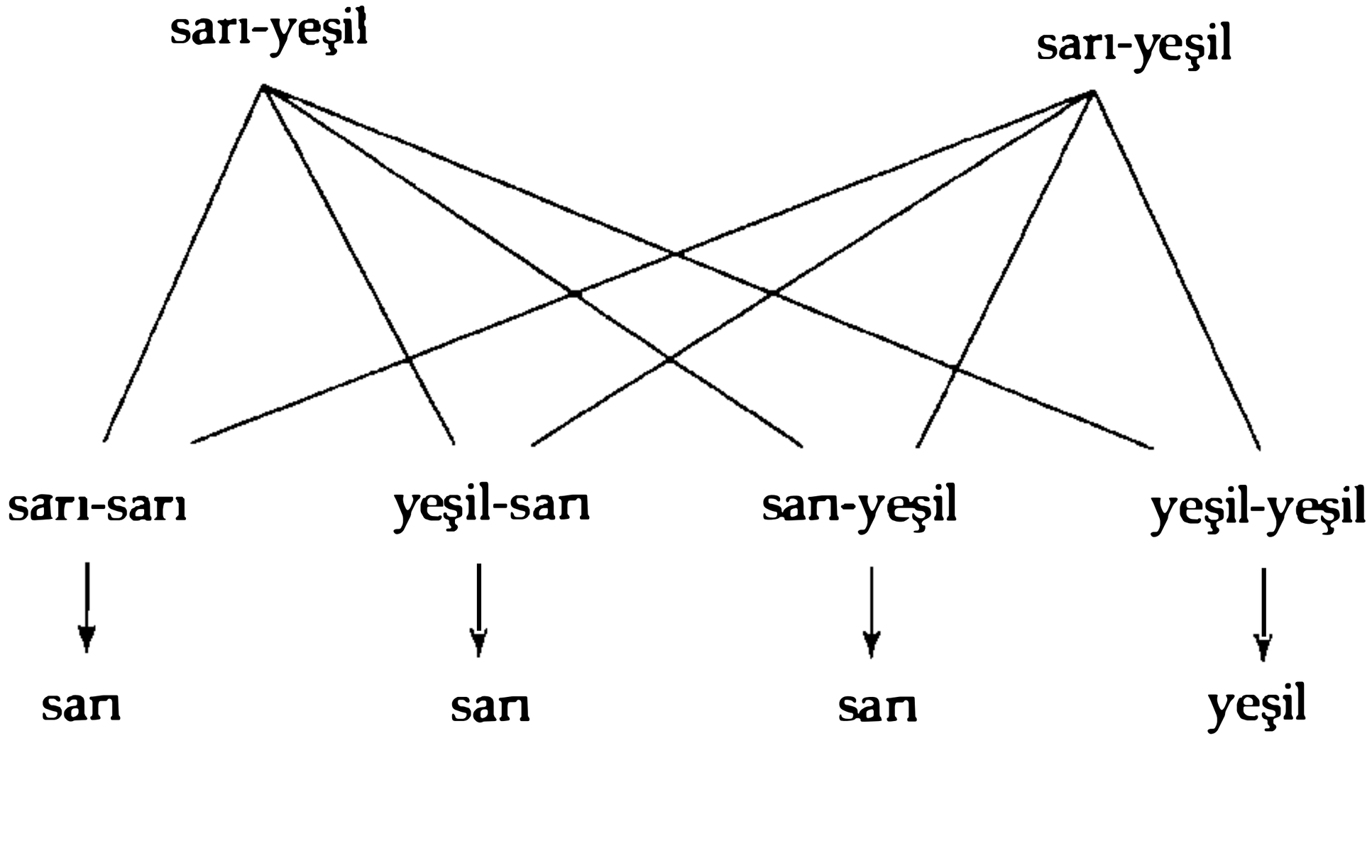
Hemen herkes, bahçesinde kokulu bezelyeler çaprazlayan ve sonuçları gözlemleyen şu Çek keşişi, Gregor Mendel'i anımsayacaktır.

Yeşil ve sarı, kokulu bezelyeler çaprazlandığında, tüm ilk nesil bezelyeleri sarıdır.

Bu ilk nesil bezelyeler –yani sarılar– kendi aralarında çaprazlandığında elde edilen bezelyelerin dörtte üçü sarıdır, ama dörtte biri yeşildir.

Mendel bundan, ilk nesil bezelyelerin sarı ve yeşil olmak üzere çift karakter taşıdığı, ama sarı yeşile baskın olduğundan yalnızca bu karakterin ortaya çıktığı sonucunu çıkarır. Ama döllenme sırasında bu iki karakter ikiye bölünüp yeniden birleşir, bu da aşağıdaki şemanın gösterdiği gibi dört olasılık doğurur. Sarı karakter var olduğu anda kendini gösterdiğinden (baskın olduğundan), bir sonraki nesilde çiçekler üç durumda sarı olur. Yalnızca yeşil-yeşil çift karakterini taşıyanın kendisi de yeşil olur.

Özetle, ikinci nesil bezelyeler sarı-yeşil karışımından doğar. Aynı biçimde, kahverengi göz rengi olan ama kahverengi - mavi özelliğini taşıyan iki kişinin "çaprazlanması" sağlanırsa, çocukların yalnızca dörtte biri mavi gözlü olacaktır, çünkü "kahverengi göz" karakteri "mavi göz"e baskındır. Buna kar-



şılık, anne-babanın ikisi de mavi gözlüyse, çocuklar zorunlu olarak açık renk gözlü olacaktır. Gerçekten de, anne-babanın her ikisi de zorunlu olarak mavi-mavi çift karakterine sahip olduğundan, sonraki nesilde hiçbir değişke olanaklı değildir: tüm bileşimler "mavi-mavi" olur.

DNA çift zincirinden oluşan kromozomların çift niteliği,

Mendel'in yaptığı bu genetiği kurucu deneyleri kuşkusuz tam olarak açıklar. İki hücre döllenmiş bir yumurta oluşturmak üzere birleştiğinde, çift kromozom biri babadan, biri anneden gelerek yeniden oluşur. Belirttiğimiz gibi, bu birleşmenin ardından, kromozom çiftleri arasındaki DNA ipliği değişimi gelir. Her nükleotid zinciri kendi çift karakterler dizisini taşır; kendisini gösteren ve dolayısıyla bireyde ortaya çıkanlar yalnızca baskın olanlardır (ister babadan gelsinler, ister anneden).

Ama bu bireyin kendisi de ürediğinde aynı işleyiş yinelenir, nesilden nesile, iplikleri çok farklı kökenlerden gelen DNA'lar yaratılır. Bu olaylar ancak olasılıklar hesabıyla ölçülebilecektir.

Tüm bunlar matematiksel bileşim formülleriyle hesaplanabilir. Böylece genetiğin, Mendel'in ileri sürdüğü gibi şaşmaz, matematikleştirilebilir ve olasılıklar hesabına dayanan kurallara bağlı, kesin bir bilim olduğu ortaya çıkar.

Ne var ki Mendel 1865'te Brno'da ilk konferansını verdiğinde, ardından da kitabını yayınladığında, çalışmalarıyla kimse ilgilenmemişti.

Çalışmalarının ciddi olarak dikkate alınması için elli yıl beklemek gerekecektir (aynı şanssızlık kıtaların kayması konusunda Wegener'in de başına geldi!). Bu da De Vries'nin ilk başarısı olacaktır.

François Jacob'un yazdığı gibi: "Bu durumda, insan beyninin hemen kapıp kullanacağı yeni düşünceleri almaya hazır beklediğini nasıl söyleyebiliriz?" İnsan beyni fazla sivri yenilikleri sevmez.

Gerçek yaşamda yüksek hayvanlar için işler biraz daha karmaşıktır. Çünkü DNA kodlanmış kalıtım mesajını taşıyorsa, bunu yalnızca bir tek çifte sarmalın üzerinde taşımaz. Denebilir ki bir tür evrensel parşömen olan DNA'nın üzerine yazılmış kalıtım mesajı birçok ciltten oluşur.

Buna göre, insanın kalıtsal mesajı 46 cilde, 46 DNA çifte sarmalına yazılmıştır.

Daha önce belirttiğimiz gibi, bu DNA çifte sarmallarına, kalıtımın sırlarını saklayan bu ciltlere *kromozomlar* denir. Kitabın nasıl koruyucu bir kabı varsa, DNA da proteinlerden[77] oluşan bir örtüyle korunur. Üstelik her kitabın, her DNA'nın kendisi de kısımlanmıştır. Birbirinden beyaz sayfalarla ayrılmış bölümleri vardır. Yalnızca birtakım kalıtımsal tanımları taşıyan bu bölümlere gen adı verilir. Oyleyse her kromozom birbirini izleyen belirli sayıda gen taşır; bunlar birbirlerinden mesaj taşımayan, yani bir o kadar beyaz sayfa oluşturan ve bilimsel dilde intron adı verilen diziler ile ayrılmışlardır.

Bunların tümü dört nükleotidle, AGCT dört harfiyle yazılmıştır. Kısaca diyebiliriz ki biyolojik kitaplık, dört harfli bir alfabeyle yazılmıştır, kromozomların oluşturduğu kitapların genetiğe ilişkin bölümleri olarak düzenlenmiştir.

Eşeyli üremede her DNA, yani her kromozom ikiye bölünür. Üreme, tıpkı fotokopi gibidir. Bireyin kendi içinde hücre üremesi söz konusu olduğunda, kitabın tümü kopyalanır. Eşeyli üreme söz konusu olduğunda, çift sayfalar ve tek sayfalar ayrı ayrı kopyalanırlar. Kitap babadan gelen çift sayfalar ve anneden gelen tek sayfalarla yeniden oluşturulur. Yeni bir kitap, yeni bir mesaj!

Üremeden sonra kütüphane yeniden oluşacaktır, ama kuşkusuz anne-babanınkiyle aynı olmaz. Her cilt, her bölüm babanın ve annenin karakterlerinin özgün ve eşsiz bir bileşimi olacaktır. Yeni bir mesaj, yeni bir birey, bir yenilik? Çok sayıda mesaj bulunduğundan, Mendel'in bezelyelerinin küçük bileşim oyunu kromozomların sayısınca yeniden oynanır ve çabucak çok karmaşık bir duruma geliverir. Çünkü bir kromozom babadan, diğeri de anneden gelip birleştiklerinde, bu kromozomlar

77 Bu nedenle uzun bir süre, kalıtımın proteinlerde taşındığı düşünüldü.

DNA parçacıklarını değiş tokuş ederler; öyle ki bir kromozom çiftinde her bir kromozom hem babadan, hem de anneden gelen DNA parçacıkları (yani mesajları) taşıyacaktır. Bu durum, herhangi bir bireyin tüm kromozom çiftleri için geçerlidir.

Demek ki her DNA, her bir ipliği anneden gelen kısımlar ve babadan gelen kısımlar taşıyan bir çifte sarmaldan oluşur.

Bu iyi işleyen mekanizmada yine de gün gelir kazalar, yönlendirme yanlışları, kitabın sayfalarını kopyalamada yanlışlar olabilir. Çünkü unutmayalım: tüm yapı moleküllerden oluşur, moleküllerse atomlardan oluşmuştur ve tam tamına yerini bulması gereken milyarlarca milyar atom vardır. DNA kopyalamalarını ve bağlanmalarını oluşturan bu molekül reaksiyonları sırasında, bir atomun kimileyin yanlış yere gitmesi şaşırtıcı değildir.

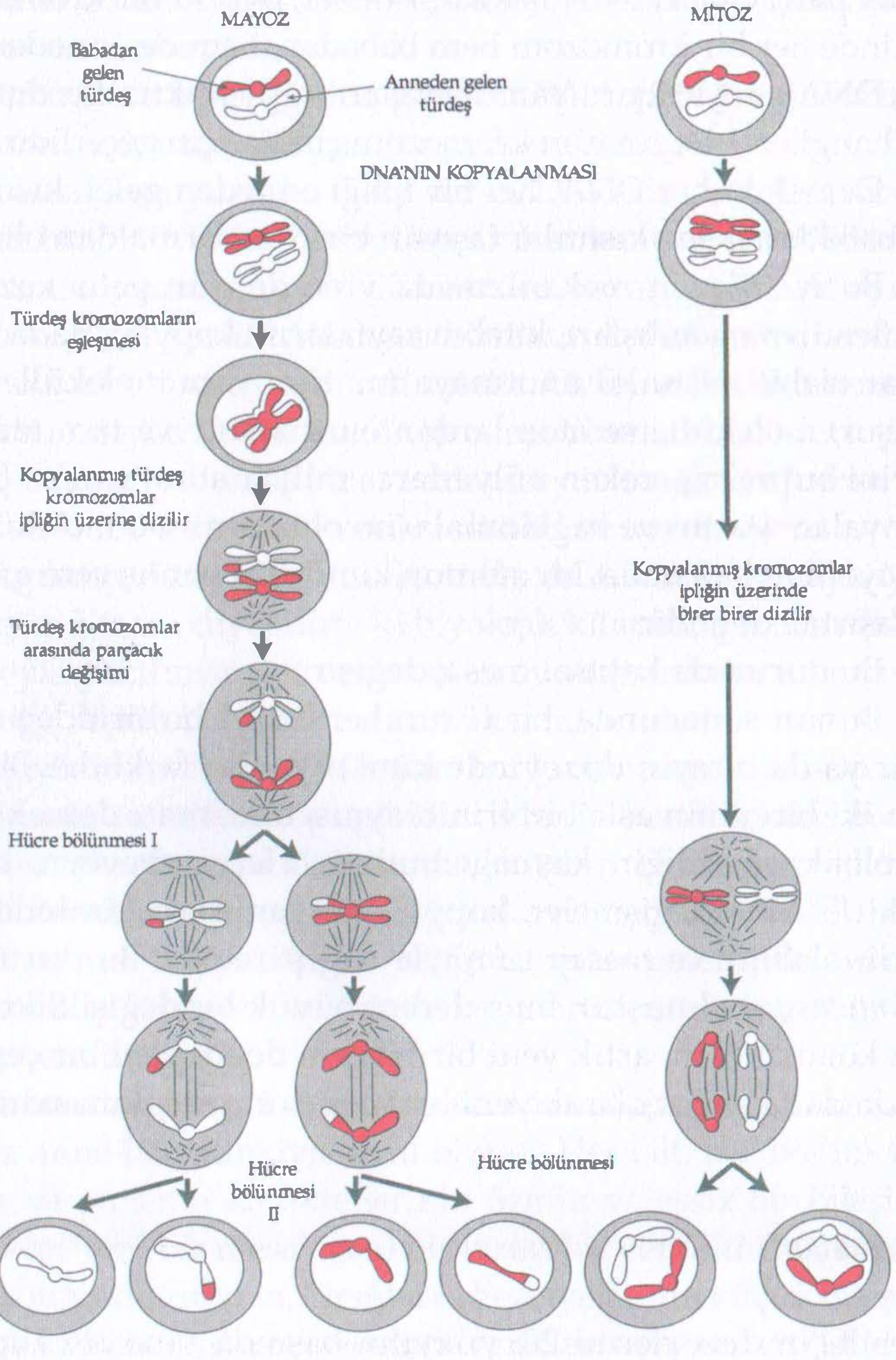
Bu durumda kalıtsal mesaj değişir.

Bunun sonucunda, bir türün her bireyi birbirinden farklıdır ya da bireyin düzeyinde kimi organlar farklıdır. Bir türün iki bireyinin asla birbirinin aynısı olmaması demek olan biyolojik çeşitliliğin kaynağı budur. "Hepsi ebeveyn, hepsi farklı."[78] Ama değişmeler, kopyalama yanlışları kiminde çok derin olabilir ve mesajı tümüyle değiştirebilir. Bu durumda bir *mutasyon* olmuştur; bu o derece büyük bir değişikliktir ki, söz konusu olan, artık yeni bir bireyin değil, yeni bir çeşidin ya da daha ender olarak yeni bir türün ortaya çıkmasıdır.

Mutasyon

Mendel'in deneylerini 20. yüzyılın başında yine ele alıp yeniden hayranlıkla keşfeden Hollandalı De Vries şu dâhiyane sezgiye vardı: Türlerin üremesi hep yalnız Mendel kuralları-

78 Jean-Pierre Langaney'in düzenlediği mükemmel bir serginin adı.



Şekil 10.1
N. Le Douarin'e göre, hücre bölünmesini gösteren şema.
Solda, eşeyli üreme sırasında (mayoz).
Sağda, hücresel üreme sırasında (mitoz).
Her biri çifte sarmaldan oluşan uzunca nesneler kromozomlardır.

na göre olmaz. Ara sıra anne-babanınkilere yabancı bir karakter ortaya çıkıverir. De Vries, bu ani değişikliğe mutasyon adını verdi.

Birkaç yıl sonra Amerikalı Morgan, çok çabuk üreyen ve dolayısıyla "kolayca" deney yapmayı sağlayan sirke sineğini, drozofili kullanarak, sineği X ışınlarına ya da morötesi ışınlara tutup yapay mutasyonlar doğurdu.

Mutasyonların keşfi tür değişimlerinin, yani evrimin anahtarını, motorunu, nedenini ortaya çıkardı. Ne Lamarck'ın, ne de Darwin'in keşfetmiş olduğu asıl nedeni. Bununla, edinilmiş karakterlerin kalıtımı tümden ortadan kalktı, artık gerekli değildi. Evrimin motoru mutasyondur. Bunlar herhangi bir biçimde, rastlantısal olarak oluşurlar; az ölçüde olduklarında yeni karakterler, yeni bireyler, yeni birey grupları oluştururlar, ama büyük olduklarında yeni türler de ortaya çıkartırlar.

İşte doğal ayıklanma en yetenekli, en başarılı olanları bu şans oyunundan hareketle seçecek, ayıklayacaktır. Artık burada biyolojik evrim, kuramını bulmuştur. Buna Neo-Darwinizm adı verilir; bu, evrim kuramıyla genetik yasalarının sentezidir, mutasyon-ayıklanma birleşimidir, ünlü moleküler biyoloji uzmanı Jacques Monod'un zamanı delen şu formülle anlattığıdır: *Rastlantı ve zorunluluk*.

Belirttiğimiz gibi DNA, mutasyonların hemen anlaşılmasını sağlar. Bunlar DNA'nın kopyalanması sırasında, eşeyli üremede oluşan büyük molekül "kazaları"dır. Kazalar küçük olduğunda, anlattığım gibi, çeşitliliği yaratırlar; büyük olduklarında doğal ayıklanmanın saklayacağı ya da eleyeceği, yalnızca en yeteneklileri, en uyumluları varlıklarını sürdürmeye bırakacağı yeni türler yaratırlar.

Hücre: biyolojik "atom"

19. yüzyılda Virchow[79] isimli bir Alman doktor temel bir olguyu keşfetti: tüm canlı varlıklar hücrelerden oluşur. "Tüm hayvanlar, her biri yaşamın tüm özelliklerini kendinde taşıyan canlı birimlerin toplamından oluşur" diye yazar Virchow. Lamarck'ın savunduğu, canlının birliğinin olumlanmasıdır bu, ama aynı zamanda da kâhince bir öngörüdür.

Çünkü Virchow, bir canlı varlığın her hücresinin, ilk yapı taşını oluşturdukları hayvanın ya da bitkinin tüm DNA'sını kendinde taşıdığını bilmiyordu. Örneğin, bir tek insanın 100 milyar hücresinin içinde bulunan DNA'ların iplikçikleri çözülür ve uç uca eklenirse, Dünyayla Ay arasındaki uzaklıktan daha uzun bir iplik elde edilir. Her hücrede, canlıyı bütünüyle yeniden oluşturmaya olanak veren tam bir plan vardır. Bu özseldir, temeldir, yaşamın büyük özgünlüğüdür.

Hücrenin bir zarı vardır –hücreyle onun dış dünyası arasındaki sınırdır bu–, genellikle bir çekirdeği vardır, ayrıca yarı sıvı, albüminli bir madde olan protoplazma ya da sitoplazmanın içinde yüzen organitlere (ayırt edilebilir küçük bileşikleri tanımlamak için kullanılan bilimsel kelime) sahiptir. Örneğin mitokondri ve ribozomlar bunlardandır. Bu hücreler hâlâ bilinmeyen bir güçle birbirlerine tutunmuşlardır ve bu hücre birleşmeleri dokuları oluşturur. Kemik dokusundan, sinir dokusundan, kas dokusundan, vb. söz edilir. Birçok atom tipi olduğu gibi, birçok hücre tipinin de olduğu anlamına gelir bu. İnsan bedeninde toplam 100 milyar hücre bulunmasına karşın "yalnızca" 70 tür doku bulunur.

Yüzyılın başında, Weismann, hücresel kalıtım faktörünü

79 Rudolf Virchow (1821-1902), Berlin'de tıp profesörü, hücre biyolojisinin yaratıcısı, ardından da Bismarck karşıtı ilerici partinin lideri.

taşıyanın hücre çekirdeği olduğunu açıkladı. Hücreyi ve hücrenin üremesini yöneten, çekirdektir. Bunun ardından Johannsen, kalıtımın temel birimi olarak gen sözcüğünü kullandı. Mikroskoptaki ve hücre incelemelerindeki gelişmelerden yararlanılarak, hücre çekirdeğinin içerisinde küçük, esnek çubukçuklar saptandı ve bunlara kromozom[80] adı verildi (çünkü bu çubukçuklar hücre preparatları içerisinde renklendiricilerle boyanabilirler).

Bundan sonra kromozomların gözlemi üzerinde yoğunlaşıldı. Her tür için sayıları saptandı. Bunlar çift çifttir. Her türün kendine özgü kromozom çifti sayısı bulunduğu anlaşıldı. Hücre üremesi sırasındaki davranışları incelendi: bir hücre iki hücre doğurmak üzere ikiye bölündüğünde, eşeyli üreme sırasında, bir sperm bir ovülle birleşip döllenmiş bir yumurta oluşturduğunda, vb.

Hücre çoğalmasında kromozomların ikiye bölündüğü, döllenme sırasında ise birleştiği gözlendi.

Hücre genetiği modeli daha da ilerletildiğinde, kromozomların genlerin taşıyıcısı olduğu ileri sürüldü (ünlü kalıtımsal genler).

Bu keşifler Weismann'ın çizdiği resmi sağlamlaştırdı: canlı varlıklarda geçici, görülebilir ama aktarılamaz olan ve *Soma* –bedensel– (somatik nitelemesi buradan gelir) adını verdiği kısımla, görülmeyen, hücrenin merkezindeki çekirdekte saklı olan ama nesilden nesile aktarılan ve genlere ilişkin anlamında *Germen* adı verilen kısmı o ayırt etmişti.

Çifte sarmal tüm bunlara bir anlam verir; daha önce söylemiştik, ama yineleyelim.

Kromozom, uzun bir DNA çift zinciridir.

Bu DNA üzerinde yan yana nükleotid birleşmeleri dizilir: ATGC... AGC... Bildiğimiz gibi, bunlar genetik alfabenin

80 Yunancada *Chromos* basitçe "renk", *Soma* gövde, nesne demektir.

harfleridir. Birkaç harfin ya da yüz kadarının dizilişi genleri oluşturur.

Demek ki klasik genetikçilerin keşfetmiş olduğu gibi, genlerin kromozomların boylu boyunca yerleşmiş olduğu doğrudur. Kimileri ustaca deneyler sayesinde birtakım kromozom parçalarının haritasını çıkarmaya bile başlamıştı. Günümüzde bu, toplam genetik şifrenin çözümleri ve haritalarıyla gittikçe daha büyük bir şaşmazlık ve kesinlik içinde yapılmaktadır.

Kimyanın zaferi

Canlının kimyasal incelemesi, uzun bir süre biyolojiden ayrı, biraz sıkıcı, kuşkusuz yararlı, ama zorunlu olmayan bir alan olarak kabul edildi. Bu biyolojik kimyanın ayrı bir dal olarak görünmesi, canlıların moleküllerinin çok özel olmalarındandı: diğer moleküllerde bulunmayan *yaşamsal güce* sahiptiler.

Bunun en iyi kanıtı, genellikle çok sayıda Karbon atomundan oluşan canlı moleküllerinin çok karmaşık oluşu, yapılarının içinden çıkılması güç ve kimyasal formüllerinin kâğıt üzerine çizmeyi bile umamayacağımız kadar karmaşık olmasıdır. Bu kimyasal oluşumların sınıflandırılması öğrenilmiş ve çok geçmeden üç tür "canlı madde" saptanmıştı: protidler (yani protein grupları), lipitler (yağlar) ve glusidler (şekeri oluşturanlar); ayrıca şekerler, aminoasitler vb. de belirlenmişti.

Ardından, 1828'de Wöhler, laboratuvarda üreyi sentezlemeyi başardı. Sanki biyolojik kimyanın gerçekten de kimyaya ait olduğunu ve yaşamsal güç diye bir şey olmadığını göstermişti! Hayır, öyle olmadı. Yaşamsal gücün alt edilmez savunucuları, canlının üre gibi "sıradan" maddelerden ve ayrıca yaşamsal maddelerden oluştuğuna karar verdiler; yaşam için önem taşıyanlar yalnızca bunlardı. Buna göre, özel bir kimyanın, bir Canlılar Kimyası, yani Biyokimya düşüncesi oluştu.

Bundan sonra fizyolojide ortaya çıkan gelişmeler, özellikle Claude Bernard'ın çalışmalarını izleyenler, biyokimyaya biraz canlılık getirecektir –karaciğerin glikojenik işlevinin, diyabetin incelenmesi, ardından vitaminlerin özellikle iskorpit gibi kimi hastalıkların önlenmesindeki öneminin anlaşılması– ama biyokimya yine hep ikinci planda kalıyordu.

Ayrıca, 1960'lı yıllarda moleküler biyoloji karşıtlarının hüküm sürdüğü Paris Fen Fakültesi'nde, o dönemde bilimsel ününün zirvesinde bulunan, moleküler biyolojinin öncülerinden ve birkaç yıl sonra Nobel Ödülü alacak olan Jacques Monod'nun profesör olarak atanması reddedildi. Bu "baylar" onu, Paris'in dışındaki Kimya bölümünde bir Biyokimya kürsüsüne yönlendirdiler. Dönemin büyük biyoloji ustalarından Profesör P. P. Grassé, bu dalı aşağılamak için ondan "monoküler biyoloji" diye söz etti. Jacques Monod'nunkilerle kıyaslarsak, P. P. Grassé'nin bilimsel yapıtlarından ne kaldı bugün geriye? Bilim, yenilikçiler için zor ve çoğunlukla da yaralayıcı bir kavgadır. Monod'nun öğrencilerinin yürüttükleri sakin akademik kariyeri düşünürsek, Fransa'da öncü olmaktansa mirasçı olmanın daha iyi olduğunu anlarız. Büyük kurumlara girmek için de geçerlidir bu!

Fransa, yaşama zevkinin ülkesidir, yeni alanların kilidini açan, biraz sertçe öncülerin değil.

DNA'nın ortaya çıkışıyla her şey değişir. Bununla Makromoleküler Kimya, yani büyük moleküllerin kimyası, yaşamın tam içine, biyolojinin merkezine yerleşir. Çünkü doğal olarak sorun, yalnızca DNA'nın genetik kodu nasıl depoladığını bilmek sorunu olarak kalmayıp, onun nasıl ürediğini ve bunun da ötesinde, genetik bilgiyi, canlı varlıkların oluşum ve işleyiş planını taşıyan DNA'nın bunu nasıl uygulamaya dökeceğini, dokuları, organları, organizmaları, hayvanları ve bitkileri nasıl oluşturacağını bilmek sorunu oluverir. Tüm bunlar kimyasal reaksiyonlardır. Yaşam, kimyadır. Yaşamı yöneten meka-

nizmalar, kimyasal mekanizmalardır. Böylece kimya canlının temel bilimi oldu ve molekül de bunun temel öğesi durumuna geldi.

Yeni moleküllerin sentezlenmesi, moleküllerin birleşmesi, moleküllerin bir yandan oluşması, diğer yandan bozulması, organizma tarafından kullanılamayan ve atılan moleküler artıklar, bunların hepsi canlının büyük düzeneğinin parçalarıdır. Canlı bir varlık, devasa, karmaşık bir kimya fabrikasıdır. Yaşam için gerekli enerjiyi üreten, aynı anda da kendi kendine üreyen bir fabrika.

Yaşamın bu kimyasal düzeneği hücreler düzeyinde işler.

Hücreler yaşamak ve çoğalmak için gereksindikleri enerjiyi nasıl elde ederler? Nasıl bölünürler? DNA, emirlerini nasıl iletir?

İşte hücreler düzeneğinin anlaşılmasında temel oluşturacak sorular.

Molekül fabrikası ve canlının küçük evreni olarak hücre

Canlının nasıl işlediğini anlamak için DNA yeterli olmaz. Bundan başka iki temel kimyasal bileşimi daha incelememiz gerekir: enzimler ve RNA.

Enzimler, belirleyici bir biyokimyasal rol oynayan proteinlerdir. Kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesini sağlarlar. Onlar olmasaydı bu reaksiyonlar sonsuz bir yavaşlıkta olurdu ya da hiç olmazdı. Kimyacıların deyişiyle, bunlar *katalizör*dür, yani kimyasal reaksiyonun etmenleridir: vazgeçilmez aracılardır; bununla birlikte, reaksiyonda tüketilmezler.

Enzimler proteinlerin sentezini (halk diliyle "et"in sentezini), organların ve bütün olarak tüm canlı maddenin üretilmesini sağlarlar: kemikler, kaslar, sinirler, vb.

Enzimlerin üretilmesinin sırrını kendinde taşıyan, genler-

dir; öyle ki uzun bir süre bir genin bir enzime karşılık geldiğine inanıldı. Bir gen-bir enzim deniliyordu.

RNA[81], DNA'ya çok benzer bir moleküldür.

DNA gibi RNA da dört ayrı nükleotidden oluşan bir koda sahiptir (şu farkla ki dördüncüsü T değil U'dur), ama çifte sarmal biçiminde yapılanmış değildir: molekülü uzuncadır.

Timin'in yerinde urasil vardır – ayrıca DNA'da dezoksiriboz bulunurken, şeker ribozdur, D'nin yerinde R'nin bulunması bundandır! Ama buradaki bu ilk bilgilenişimizde bunlar ikincil önem taşıyor.

RNA'nın temel özelliği, çekirdeğin bir nükleotid dizisini kopyalamayı bilmesidir. Yani bir tür Xerox söz konusudur (Bkz. Şekil 10.2).

Bir parça DNA mesajı taşıyan bu RNA iplikçiği, ribozom adı verilen birtakım "organitler"e ulaşır (bunlar protein fabrikalarıdır). RNA gelir, emrini verir ve siparişe göre şu ya da bu enzim üretilir. RNA, DNA'nın emirlerinin bir *mesajcı*dır.

Hücrelerinde çekirdek olan yüksek canlı varlıklarda, yani canlıların büyük kısmında, DNA çekirdekte bulunur, ama enzimleri üreten "fabrikalar" (ribozom) çekirdeğin dışında, sitoplazmadadır.

Demek ki *mesajcı RNA*, DNA'nın bir parçasını kopyaladıktan sonra ribozoma enzimlerin üretimi için gerekli emri vermek üzere çekirdeğin zarını geçecektir.

Ribozom enzimleri üretecek, bunlar da canlının gereksindiği proteinlerin sentezine olanak verecektir.

François Jacob ve Jacques Monod ile arkadaşlarının 1955-1960 yıllarında Pasteur Enstitüsü'nde çözdükleri ve onlara Nobel Ödülü'nü kazandıran karmaşık düzenek buydu.

Ama hepsi bu değil. Hâlâ gizemli kalan bir nokta var. Pro-

81 Ribonükleik asit.

teinler, aminoasitlerin sıralanmasından oluşur. Bu aminoasitlerin sayısı *yirmi*dir. Oysa yalnızca dört nükleotid var! Dört harfli bir alfabeyle aminoasidin doğası doğru olarak nasıl belirlenir?

Harflerin gruplanması ikişer ikişer olsaydı ($4^2 = 16$) bu yetersiz olurdu, ama üç harfli gruplamalar ($4^3 = 64$) fazlasıyla yeterlidir. Aminoasitlerin doğasını belirlemeye, dolayısıyla protein dizileri üretmeye olanak veren mesaj üç harfli sözcüklerle yazılmıştır.

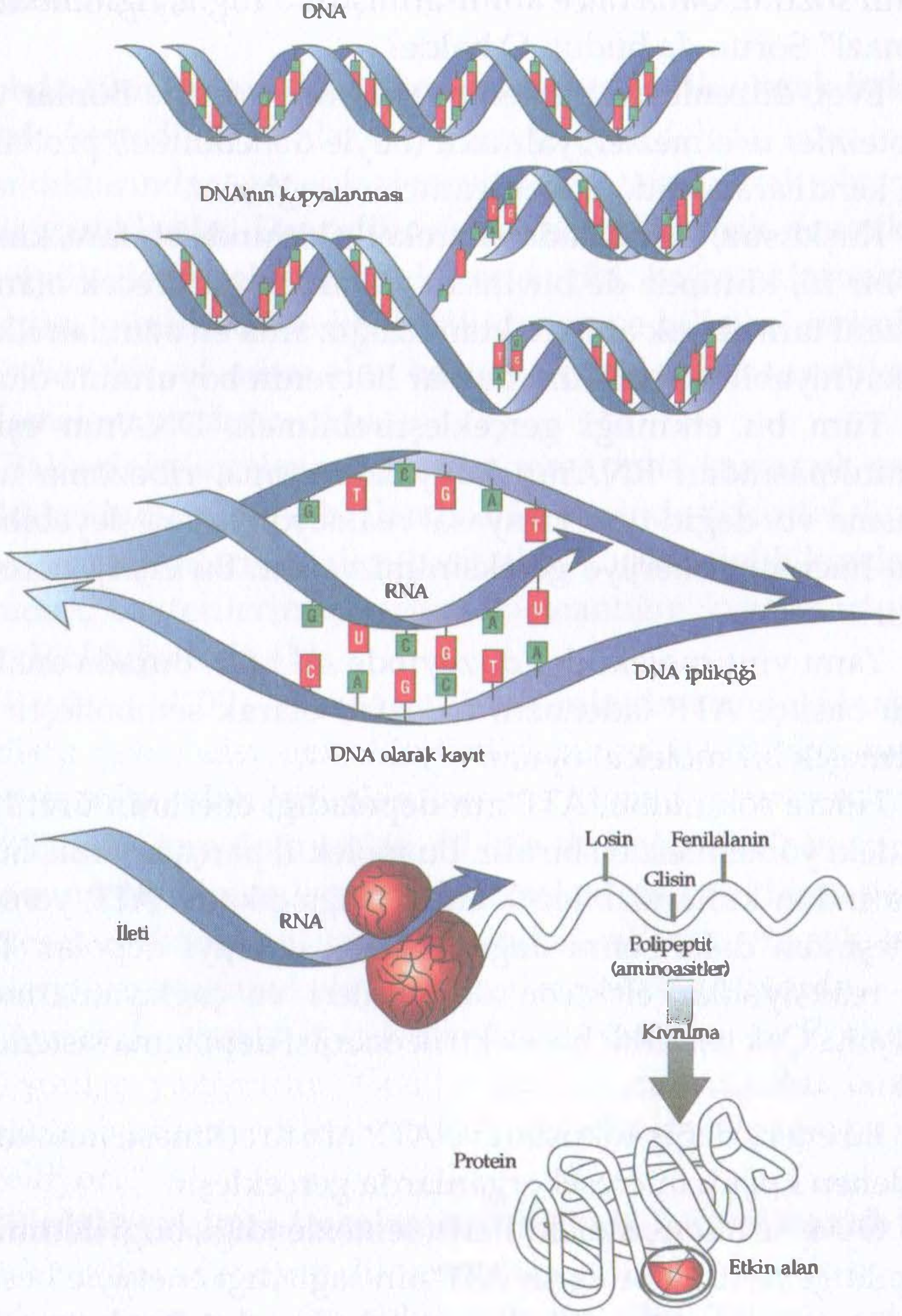
Öyleyse genetik kod, üç harflik sözcüklerde bir araya gelen dört harfli bir koddur.

RNA'nın DNA'dan kopyaladığı, ardından da proteinleri üretmek için çekirdeğin dışına taşıdığı mesaj budur. Proteinler, küçük organitler olan *ribozomlar* düzeyinde sentezlenir. Ribozomlar protein fabrikalarıdır. RNA bunlara üretim emrini aktarır. Bu proteinler birçok türdedirler. Kimilerinin yapısı kasların miyozinlerine benzer, kimileriyse enzimdir.

Enzimler, canlı maddenin temel öğeleridir. Gerçekten de canlı maddenin, başka türlü olanaksız olacak reaksiyonlara girmesini sağlarlar. Bunlar katalizördürler, yani kimyasal reaksiyonların aracısıdırlar. Canlının tüm kimyasal reaksiyonları; proteinlere ilişkin reaksiyonlar gibi şekerlerle ya da lipitlerle (yağlarla) ilgili olanlar, sindirimle olduğu gibi oksijenle (solunumla) ilgili olanlar, hep enzimler sayesinde olur.

Enzimler, canlıyı oluşturan şu olağanüstü kimya fabrikasının temel unsurlarıdır. Enzim fabrikalarıysa ribozomlardır.

Ama tüm bunlar nasıl düzenlenir? Dokular üretmek, dahası organlar üretmek için iyi proteinlere sahip olmak yetmez. Ayrıca bunların uyumlu olarak düzenlenmesi ve her organın doğru yere yerleşeceği bir canlı varlığı oluşturması gerekir... Mimarı nerelerde? Raymond Poincaré'nin şu hoş ve derin an-



Şekil 10.2
DNA kopyalanmasının ayrıntıları. Bir DNA'nın nasıl iki DNA verdiği. Üstte, bir DNA'nın mesajının, mesajcı RNA molekülü tarafından nasıl kopyalandığı. Altta, mesajcı RNA'nın proteinleri üreten ribozoma emrini iletişi.
En altta, bir proteinin görünüşü.

lamlı sözünü daha önce anımsatmıştık: "Tuğla yığınından ev olmaz!" Sorun da budur. O halde?

Evet, düzenleyici genlerin varlığını keşfettik. Bunlar yeni proteinler üretmezler, yalnızca (böyle denebilirse!) proteinlerin kendi aralarında düzenlenmesini sağlarlar.

Kuşkusuz, yumurtadan hareketle kiminde bir fare, kiminde bir fil, kiminde de bir insan yapımına götürecek olan bu düzeni tam olarak anlamaktan uzağız ama en azından ilkesini kavrayabiliyoruz. Tüm bunlar hücrenin boyutunda olur.

Tüm bu etkinliği gerçekleştirebilmek, DNA'nın eşinin yaratılmasından RNA'nın kopyalanmasına, ribozoma ulaşmasına vb. değin tüm kimyasal reaksiyonları ateşleyebilmek için hücrenin enerjiye gereksinimi vardır. Bu enerji nereden gelir?

Yanıt yine moleküller düzeyinde saklıdır. Burada anahtar rolü basitçe ATP (adenozin trifosfat) olarak sembolleştirilen karmaşık bir molekül oynar.

Hücre solunumu, ATP'nin depoladığı enerjinin üretilmesindeki yöntemlerden biridir. Bu molekül parçalanarak, hücre tarafından kullanılabilecek enerji açığa çıkarır. ATP, yeniden birleşirken daha sonra dağıtabileceği enerjiyi depolar. Tüm bu reaksiyonlar elektron değişimleri ve çağlayanlarından oluşur... Çok ustalıklı bir elektrik enerjisi depolama sistemidir bu!

Bu enerji değiş-tokuşları ve ATP'nin üretilmesi, mitokondri denen küçük hücresel organlarda gerçekleşir.

Oyleyse hücre, moleküllerin sentezlendiği, bilgi iletiminin yapıldığı ve tüm bunların ATP'nin sağladığı enerjiyle beslendiği gerçek bir minyatür kimya fabrikasıdır. Bunların tümü kusursuz derecede eşgüdümlü, düzenli ve programlıdır.

Aslında tüm bu incelikli hücresel düzenek ilk olarak bakterilerde keşfedildi; bunlar tek hücreli, çekirdeksiz, ama hızla çoğaldıklarından genetik deneyler için tam olarak elverişli canlı varlıklardır. Drozofilin (sirke sineği) klasik genetikteki büyük ilerlemelere olanak verişi gibi, bağırsaklarımızda yaşayan, günlük dilde kolibasili denen ve bilimsel terimlerle *Escherichia coli* adını alan bakteri de moleküler genetikteki ilerlemelere yardımcı oldu.

Bakterinin incelenmesinden sonra, daha karmaşık canlı varlıklar incelenmeye başlandı: hücrelerinde çekirdek bulunan ama organları oldukça basit olan kurtlar (iplik kurtları). Buradan, bakterilerin işleyişindeki mantığın kurtlar için de geçerli olduğu anlaşıldı.

Böylece, 1970'li yıllarda, canlının anlaşılmasındaki bu olağanüstü gelişmeler gerçekleştirilirken, bu bilim destanının kahramanlarından biri olan Jacques Monod şunu açıklıyordu: "Bakteri için doğru olan, fil için de doğrudur"; bununla, yaşamın işleyişini anlamak için temel adımın atıldığını ve bu hücresel mekanizmaların bilgisinden çıkarak yüksek hayvanların yaşayışının kolayca anlaşılacağını belirtiyordu.

Ayrıca *Le Hasard et la Nécessité*'de (Rastlantı ve Zorunluluk) şunları yazıyordu: "Gen haritasının mikroskobik boyutta oluşu, bu tür işlemleri şimdilik ve belki de her zaman için engelliyor..."

Bir bilim dalının kurulmasına katkıda bulunmuş çok büyük bir bilim adamının dile getirdiği, geleceğe dair iki görüş. Bunların kısmen yanlış olduğu ortaya çıktı (Bilimin çabuk ilerlediğine kanıt gerekirse, işte bir kanıt!).

Bakteriden file giden yol uzundur, hatta çok uzundur ve onu kateden yalnızca bilim adamları olmadı; doğa da bu yolu aşmak için 4 milyar yıl geçirdi. Çok sayıda hücreden, doku-

dan, değişik görevleri olan çeşitli organlardan yüksek bir canlı varlığı üretmeyi sağlayan mekanizma, bir bakterinin yaşayışından çok daha karmaşıktır, hepsi de DNA'dan türemiş olsa da.

Birkaç yıl önce *Introduction à une Histoire naturelle* (Bir Doğa Tarihine Giriş) adlı kitabımda, Pierre Chambon'un Collège de France'taki dersinde sorduğu soruları yansılayarak şöyle yazıyordum: "Moleküler biyolojinin vardığı sonuçları yüksek organizmalara 'aktarmadan' ya da uygulamadan önce yanıtlanması gereken sorular gerçekten de korkutucu."

Hücre bölünmeleri süreci içinde öyle bir an gelir ki burada yavru hücreler anne hücrelerle aynı değildir, çeşitli yapılardadır: biri sinir hücresine dönüşür, diğeri kas hücresine, bir diğeriyse bağırsak hücresine.

Bu ayrımlanma nasıl belirleniyor? Bu hücreler başka hücrelerle bir araya toplanmak, onlara tutunarak bir doku, ardından da bir organ oluşturmak için bu başka hücrelerin varlığını nereden "biliyorlar"? Bir organın yapısını, iç dokusunu belirleyen kod tam olarak nedir? DNA gibi doğrusal, tek boyutlu bir yapı üç boyutlu bir yapılar dizisini, birbiri içine geçmiş organları biçimlendirmeyi nasıl beceriyor? Sonra da tüm bunlar bir canlı varlığı, bir bütün olarak işleyen bu makineyi oluşturmak üzere nasıl böylesine şaşmaz biçimde birleşebiliyor? Her hücre, her organ, her işlev nasıl oluyor da bir bütüne katılıyor? Bu milyarlarca küçük hücresel fabrika nasıl beraberce çalışıyor da uyum içinde yaşayan, başka bir deyişle dışarıdan enerji ve bilgi alan ve karşılığında kendisi de canlı madde üreten, enerji yayan ve üreyen tek bir sistemi oluşturuyor?

İşte gelişim biyolojisinin ve modern embriyolojinin asıl güçlüğü budur. Nobel Ödüllü Gerald Edelman buna Topobiyoloji adını veriyor.

Bu problemlerle uğraşmak için bugün elimizde Jacques Monod'nun ikinci öngörüsünü yanlış çıkaran bir teknik var.

Monod'nun insan geniyle oynanması olasılığı üzerine kuşkularını dile getirmesinden sonra beş yıl geçmemişti ki genler üzerindeki ilk oynamalara başlandı.

Bunun ne anlama geldiğini hâlâ tam olarak bilmiyoruz. Angström (1 Å = 10^{-8} santimetre) boyutunda çifte sarmallar üzerinde sıralanmış milyarlarca nükleotidin dizilişini değiştirmeyi nasıl başarıyoruz?

Fiziğin klasik olanakları (elektron bombardımanları ya da lazerler) içinde akla sığmayacak bu beceri, DNA zincirlerini belirli noktalarda kesen bakteriler ve kopmuş parçaları birleştiren başka bakterilerle gerçekleştirildi. Bu tür yöntemleri anlayabilmek için gereken soyutlamanın derecesini düşünün bir kez...

Demek ki modern biyolojinin büyük serüveni bundan böyle bu bağlamda sürüyor. Hem hayranlık, hem de endişe uyandıran bir serüven bu: DNA ile oynamak, onu dönüştürmek, yaşamın tam merkezine dalmak demektir.

Canlıda değişiklikler yapmak inanılmaz geliyor, öyle değil mi? Kalıtımsal hastalıklar taşıyan genleri sağlam genlerle değiştirmeyi öğrenmek? Hasta hücreleri sağlıklı hücrelerle değiştirmeyi başarmak ve böylece yeniden, yapıcı bir tıbba kapı açmak? Aynı zamanda da kuşkusuz, ölümün, yaşamın durmasının ne anlama geldiğini anlamak!

Öte yandan, özümüzün derinliklerini oluşturanın, hücrelerimizin, çekirdeklerimizin değiştirilebilmesi düşüncesi bizi biraz korkutuyor... Özellikle de *Jurassic Park* gibi kimi bilimkurgu filmleri bizi artık her şeyin olanaklılığına inandırırken.

Burada uzun anlatımlara dalmadan, açıkça iki şey söyleyelim.

Bir taraftan, biyoloji geliştikçe bazı etik sorunların çıkacağı açıktır. Bunlar önemlidir, biyologları ilgilendirdikleri kadar toplumu da ilgilendirirler. Kamuoyunda büyük tartışmalar açılması da iyidir.

Ama diğer taraftan, telaşa hiç gerek yok, çünkü her şeyi anlamış olmaktan, dolayısıyla da canlının üzerinde her istediğimizi yapabilmekten çok uzağız. Bazı kanıtları anımsayalım. Öncelikle, *Jurassic Park* gerçekleştirilemez. *Soma* ve *Germen* iki ayrı bütündür; bu da şu anlama gelir ki neyin DNA'sı olursa olsun kilolarca DNA yesek bile bunun ne sağlığımız üzerinde, ne de sonraki genetik mirasımız, yani DNA'mız üzerinde bir etkisi olur. Zehirli bir madde yediğimizde bizi zehirleyen DNA değil, *Soma*'nın içinde bulunan zehirli bileşendir. Yine de bazı "çevrebilimciler"in korkuyla "beni kimse asla gen yemeye zorlayamaz!" dediklerini duydum. Bu sözün ne kadar boş olduğunu şimdi gayet iyi anlıyoruz: hep gen yedik, yemeseydik çoktan ölmüş olurduk!

İşte bu yüzden, gen aktarımlı mısırın DNA'sının bizim üzerimizde hiçbir etkisi yoktur. İyi ki böyle, çünkü her gün milyarlarca kilometre uzunluğunda yabancı DNA yiyoruz.

Kuşkusuz, tüm bunlar modern biyoloji üzerine daha fazla bilgi edinmemiz gerektiğini bir kez daha gösteriyor. Döllenmiş bir yumurtadan canlı bir varlığa nasıl geçilir? Bunu gelişim biyolojisi inceler. Organizmalarımız dıştan gelen saldırılara, hastalıklara, enfeksiyonlara vb. karşı kendilerini nasıl korur? Bunların yanıtını immünolojide buluruz.

İnsan geninin bakımını yapmak, onu iyileştirmek ya da sağlığını korumak için nasıl ve nereye kadar değiştirebiliriz onu? Yeni tıp bunu programına aldı. Ama bunların tümü, DNA ve hücre mekaniği üzerine sahip olduğumuz bilgilere dayanır. Yaşam, mekanizmalarını anlamamız için gereken anahtarları bize birer birer veriyor. Ama (henüz diyebilir miyiz?) kendi sırrını vermedi. Maddeden yaşama, düzensizden düzenlenmişe, madensel olandan canlıya geçmeyi sağlayacak olanı...

11
Vatanımız yerküre

Yerkürenin incelenmesi hem en eski bilimlerden biridir, hem de en yenilerden biri.

Gerçekten de en eskilerinden biridir, çünkü kuşku yok ki İnsan, sistemli bir düşünme oluşturduğu andan beri yerkürenin doğasını, biçimini, hareketini, Evrendeki konumunu sorguladı. Fiziğin ve geometrinin ilerlemesinin kökeninde bu sorgulamalar yatar.

Aynı zamanda en genç bilimlerden biridir, çünkü yerbilimlerini tam hakkıyla bağımsız bir bilim haline getiren bilgi birikiminin oluşması ancak son elli (belki yetmiş ya da bunu gerçekten hak eden Wegener'e kadar geri gidersek seksenden biraz daha fazla) yılda gerçekleşmiştir.

Ben bu olağanüstü serüveni yaşama, ona katılma, onun içinde gezinme şansını yakaladım, zaten serüven henüz bitmiş değil. Bu yavaş yavaş kımıldanış ve çekingenlikler neden? Bu ansızın ortaya çıkış?

Yerbilimlerinin astronomi, çevrebilim ve demografiyle ortak bir özelliği olarak laboratuvarda deney yöntemlerini kullanamama engeli (hep öyle mi olacak?) vardır.

Tarihteki ilk bilimsel girişim çevremizdekini gözlemlemek olduğuna göre, yerkürenin, kayaların, minerallerin, fosillerin, ayrıca denizin, havanın, iklimin gözlenmesinin bilimin başlangıcını oluşturması çok doğaldır.

Ardından, Galilei'den başlayarak bilim, deney ve kuram olmak üzere iki kanatlı bir çerçevede düzenlendi. Buradan çıkarak fiziğin büyük serüveni gelişti. Yalnızca bilginin ilerlemesi ya da fiziğin kendisi için değil, aynı zamanda Evrenbilimleri ve yerbilimleri için de vazgeçilmez bir serüvendi bu, çünkü fizik bilimlerini kullanmadan nedenselliği açıklayamayız.

Bundan sonra biyoloji görülmemiş bir gelişme yaşadı. Ulaşılmış bulunan çok önemli sonuçlara karşın bu bilim hâlâ başlangıç aşamasında.

Bunların sonucunda, saf gözleme dayalı bilimler eskimiş bilimler olarak görülmeye başlandı. Bununla birlikte, uzay araştırmalarının, Plaka Tektoniği'nin ortaya çıkışıyla, ayrıca çevre problemlerinin kendini göstermesiyle, gözlem bilimleri (astronomi, yerbilimleri, çevrebilim) yeniden önplana çıktılar ve aynı zamanda tarihsel bilimler oldular; bu boyut deney bilimlerinde kesinlikle eksikti. Astronomi, arka planında, Evrenin tarihidir; jeoloji yerkürenin tarihidir; çevrebilimse yaşamın ve onun "düzenli bir topluluk" ve türlerin evrimi için bir yuva olarak gelişmesinin tarihidir.

Yerbilimlerinin bu yeniden doğuşu öylesine büyük bir gelişmedir ki Michel Serres 21. yüzyılın yerbilimlerinin yüzyılı olacağını yazabilmiştir. Ben onun kadar umutlu değilim ama yerbilimlerinin yeni yüzyılın temel bilimlerinden biri olacağına inanıyorum. Belki hâlâ farkında değiliz ama son yarı yüzyılın en büyük yeni bilim dallarındandiriydiler.

Yerküre ve onu inceleyen bilimler üzerine birçok kitap yazdım, ama burada bunların bir sentezine kalkışmak uygun olmaz.

Yerbilimleri üzerine temelde kültürel bir açıdan ne bilinmesi gerekiyorsa onu ortaya koymaya çalıştım; daha fazlasını bilmek isteyen okuyucuyu önceki veya, gerçekleşirse, gelecekteki kitaplarımın daha derinleşmiş açıklamalarına yönlendiriyorum.

Yerkürenin biçimi

Yerküre yuvarlaktır, herkesin bildiği gibi, kutuplarda hafif bir basıklık ve buna karşılık ekvatorda bir şişkinlik vardır. Yarıçapı yaklaşık 6.400 kilometre, çevresi 40.000 kilometredir (en iyi bildiğimiz ölçümlerden biridir bu).

Bunu ne zamandan beri biliyoruz?

Yerkürenin yuvarlak olduğunu uzun süredir biliyoruz. Kısa yoldan bir atıf yapmak için, Aristoteles'in yerkürenin yuvarlaklığından kuşku etmediğini belirtelim. Yunan denizciler bunu gemilerin ufukta kaybolusuna bakarak anlamışlardı, yerküreyi Evrenin ve sabit kürelerin merkezi yapan Aristoteles, onların gözlemlerini kurama dökmekte güçlük çekmedi.

Yerkürenin yarıçapının ölçümüne gelince, bunu birkaç yüzyıl sonra, İskenderiye'de, Eratosthenes yaptı. Yine bir üçgenleme yöntemiyle (Bkz. Şekil 11.1).

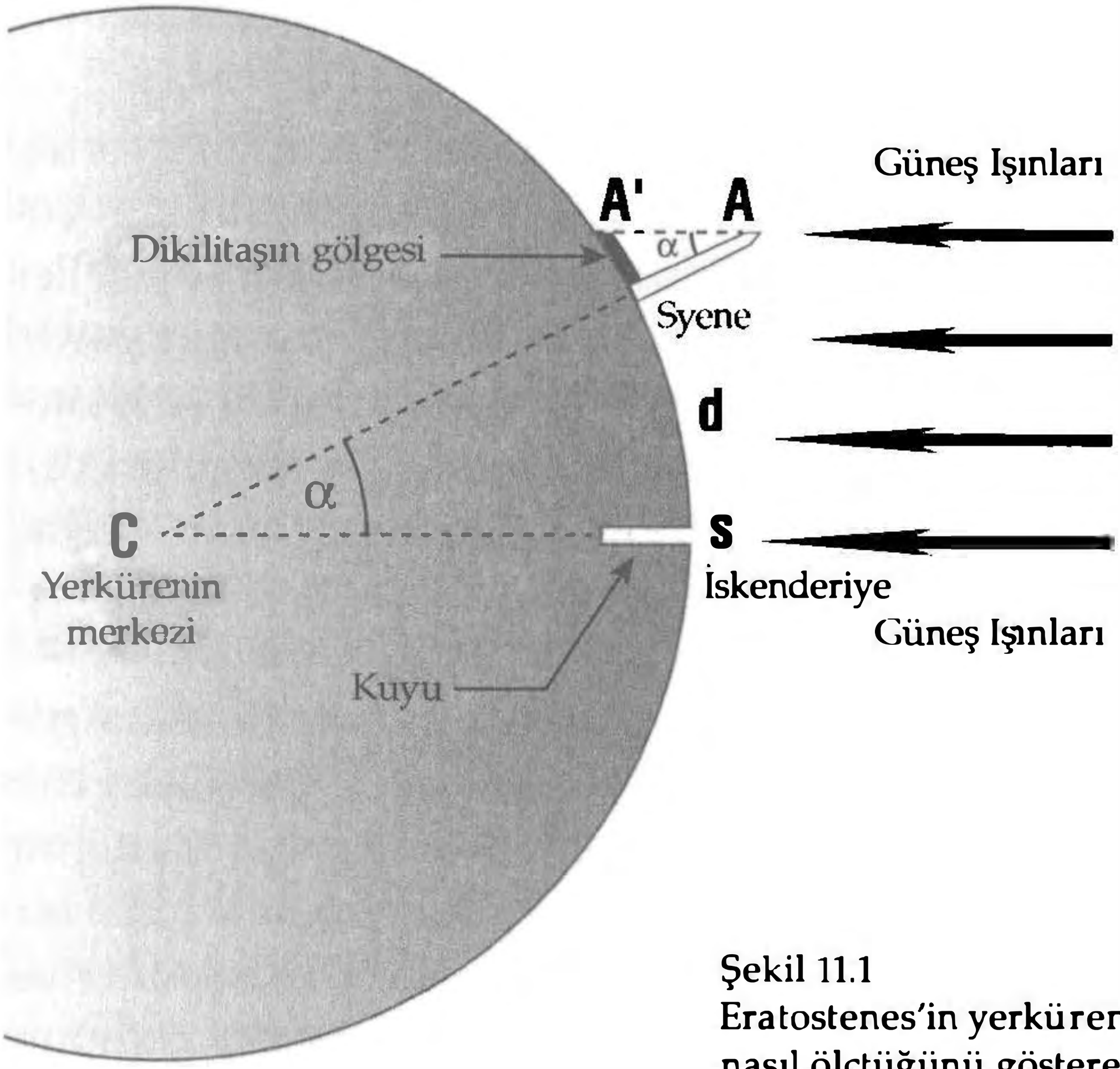
İskenderiye'de Güneşin yaz gündönümünde dorukta göründüğünü ve ışınlarının yerkürenin yüzeyine gerçekten dik olduğunu doğrularcasına bir kuyunun dibini aydınlattığını gözlemleyerek, Syene'deki (bugünkü Asvan yakınlarında) bir dikilitaşın o andaki gölgesinin uzunluğunu ölçtü. İskenderiye ile Avsan arasındaki uzaklığı bilerek, yerkürenin yarıçapını yandaki şeklin açıkladığı gibi hesapladı.

Kuşkusuz buradaki güçlük, Syene ile İskenderiye arasındaki uzaklığı ölçmekti. O dönemde bu ölçüm, ölçülü yürümek için eğitilmiş, "ritimli" adım atan yürüyücüler aracılığıyla yapılıyordu. Gidiş ve dönüş yollarını birçok aşamada ölçtüler.

Eratosthenes bugünkü birimlerle 4.600 kilometreye karşılık gelen bir değer buldu; gerçek değerle (6.400 kilometre olduğunu belirtmiştim) kıyaslandığında azımsanmayacak derecede başarılı bir ölçüm.

Ayın çapı da bu ölçümden hareketle hesaplandı –bunun

için, bir Ay tutulması sırasında yerkürenin gölgesini katetmesi için geçen süre ölçüldü– (Bkz. Şekil 4.2), ardından da, Newton'dan söz ederken gördüğümüz gibi, yine üçgenleme ilkesi yoluyla Dünya-Ay uzaklığı hesaplandı.



Şekil 11.1
Eratostenes'in yerkürenin yarıçapını nasıl ölçtüğünü gösteren şema.

İskenderiye'deki Yunanların Dünyanın yuvarlak olduğunu bildiğini, sonra bu düşüncenin kaybolduğunu ve Ortaçağ'da yerin düz olduğunun sanıldığını hepimiz okulda öğrenmiştik. Kiminde bize Vasco de Gama, Macellan ya da Kolomb gibi büyük denizcilerin 16. yüzyıldaki tehlikeli yolculuklarına Dünyanın yuvarlak olduğunu göstermek için kalkıştıkları bile söylendi.

Bu inanış ne yazık ki yaygındır ama yanlıştır. Kilise dünyasını bulandıran küçük bir kâtipler zümresinin dışında, Dün-

yanın yuvarlaklığına inanış tüm Ortaçağ boyunca sürdü. Oxford gibi Sorbonne'da da öğretilen, Francis Bacon gibi Nicolas Oresme'in de öğrettiği ve doğal olarak denizcilerin[82] inandığı kuram budur. Ama yine de Newton'ın kuramları gelip bilmeceyi çözene dek, yerin öbür tarafında baş aşağı yaşayan insanlar bulunduğu düşüncesi herkese pek tuhaf gelmiş olmalı.

Yerkürenin yarıçapının ölçümünde Eratosthenes'in düşüncesi temel dayanak olmaya devam etti. Eğer yer küre biçimindeyse, bir meridyen kesiti, merkezden 360°lik bir açı yapar. Öyleyse yarıçapı hesaplamak için bir dereceye karşılık gelen çember yayının uzunluğunu tam olarak ölçmek yeter. Bu değeri 360 ile çarparak meridyen çevresini elde ederiz; bunun da 2 π r'ye eşit olduğunu biliyoruz. Bundan dolayı, bir (ya da birçok) meridyen derecesi ölçmek vazgeçilmez bir zorunluluktur.

Yer yüzeyinde bir dereceye karşılık gelen uzaklığı ölçmek için 18. yüzyıl bilim adamları ritimli yürüyücülerinkinden daha şaşmaz bir yönteme başvuracaklardır. Üçgenleme yöntemidir bu. Anımsarsak, bu yöntem bir üçgenin tabanını özenle ölçüp, belirli noktaların (dağlar, ağaçlar, kilise çan kulesi...) hedeflenmesiyle yapılır; her birinin hedefleme çizgisiyle (tabanın iki köşesinden birinden başlayarak) taban arasındaki kerteriz belirlenir. Hedeflenen bu nesnelerin yönlerinin tabanla yaptığı açılar ölçülerek, hedef noktaların tabana uzaklığı belirlenebilir.

16. yüzyılda bu yöntemle yerkürenin yarıçapı 6.000 kilometrenin üzerinde bulunmaya başlanmış, böylece Eratosthenes'in çalışması ileriye götürülmüştür.

17. yüzyıl ortalarında, sarkacın salınımları konusu etrafında, ama asıl nedeni yerkürenin biçiminin tam ne olduğu sorusu olan bir tartışma patlak verdi.

82 Bkz. Rudolf Simek, "Sphère ou disque, la forme de la Tere" (Küre mi, daire mi; Yerin biçimi), *Pour la Science*, özel sayı: *Les Sciences au Moyen Âge* (Ortaçağ'da Bilimler), 2003.

Sarkaç, dikey bir ipe asılmış bir ağırlıktır. Buna bir itme verildiğinde salınır. Galilei bundan kronometre olarak yararlandı. Christiaan Huygens sarkacın vuruşlarının süresini hesapladı ve bunun sarkacın uzunluğuna bağlı olduğunu, asla ucundaki cismin kütlesine bağlı olmadığını gösterdi. Böylece saatçiliğin temellerini attı... ve bir sarkacın saniyede bir kez vurması için Paris'te 99 santimetrelik[83] bir ip gerektiğini saptadı.

1672'de Fransız Jean Richer, Guyana'da Cayenne'e yaptığı bir yolculuktan (tümüyle başka amaçlı) sonra sarkacın Cayenne'de Paris'tekinden daha yavaş salındığını belirtti. 1676'da İngiliz astronom Halley, Sainte-Hélène volkanik adasına yaptığı bir yolculuktan sonra şunu açıkladı: "Yüksekte bir dağ zirvesinde bulunduğunuzda, sarkaç ovadakinden daha yavaş atar."

Newton yerçekimi kuramı yardımıyla bu gözlemleri hemen yorumladı. "Eğer sarkaç dağın tepesinde daha yavaş salınıyorsa," dedi, "yerkürenin merkezinden daha uzakta bulunmasından ve burada yerçekiminin daha zayıf olmasındandır".[84] Ekvatora yaklaşıldıkça yavaşlaması da aynı nedenledir. Yerkürenin ekvatorda şişkin, kutuplarda basık olduğunu, yusyuvarlak olmadığını böyle anlar!

Kraliyet Bilimler Akademisi'nin hüküm sürdüğü Paris'te tutum, Descartes taraftarı ve Newton karşıtıydı. Uzaktan etkiyi hâlâ saçma buluyorlardı. Descartes'ın burgaçlarını yeğliyorlardı. Bu, kendisi de Newton'ın kuramına karşı olmakla birlikte, Huygens'in (Hollandalıydı ama Paris'te kalıcı biçimde yerleşmişti) kutuplardaki basıklık düşüncesini anında kabul etmesini engellemedi; bunu (haklılıkla) merkezkaç kuvvetine bağlıyordu.

83 Bu yaklaşık bir metre demektir. Bir saniye, bir metre! Garip değil mi bu? Aslında, metreyi tanımlamanın bir yolu da budur.

84 Ünlü 1/R2'li yasayı unutmayın. R ne kadar büyükse (merkezden ne kadar uzaktaysak), çekim o kadar zayıftır.

Ama grubun geri kalanı, özellikle Paris Gözlemevi'nin müdürü olan Jean-Dominique Cassini bu düşünceye sertçe karşı çıkıyordu. Üstelik Cassini, oğluyla birlikte yaptığı yerölçümlerine dayanarak bunun tam tersini savundu: yerküre kutuplarda basık değildir; bir zeytin ya da ragbi topu gibi kutuplara doğru uzuncadır.

Bundan sonra, İngiliz Kraliyet Bilimler Akademisi ve Paris'teki Kraliyet Akademisi arasında söz düellosu gelişecektir. Özellikle Fransa'da Pierre-Louis Moreau de Maupertuis dönemin en güçlü kalemi Voltaire'in de desteğiyle Newton'ın tarafını tutunca, tartışma çok alevlendi. Aslında bu çifte dönüşümün kökünde, Newtoncı tezler yönündeki sadık bir birlikteliğin içinde ilgisini çok geçmeden bu iki adam arasında paylaştıran Châtelet markizi güzel Émilie de Breteuil[85] vardı. Newton'ı Fransızcaya çevirmişti ve yapıtının bir gerçekler hazinesi olduğuna dostlarını inandırmayı başardı.

1735'te Paris Bilimler Akademisi, bir derecelik meridyeni kutupta ve ekvatorda ölçmek göreviyle iki gezi düzenlemeye karar verdi: biri Laponya'ya, diğeri Peru'ya.[86] Kuşkulu bir kişinin, Louis Godin'in (dönüşünde Akademi'den atıldı) yönetimindeki Peru gezisinde Pierre Bouguer, Charles Marie de La Condamine, Joseph Jussieu ve cerrah Seniergue gibi birtakım önemli kişiler vardı.

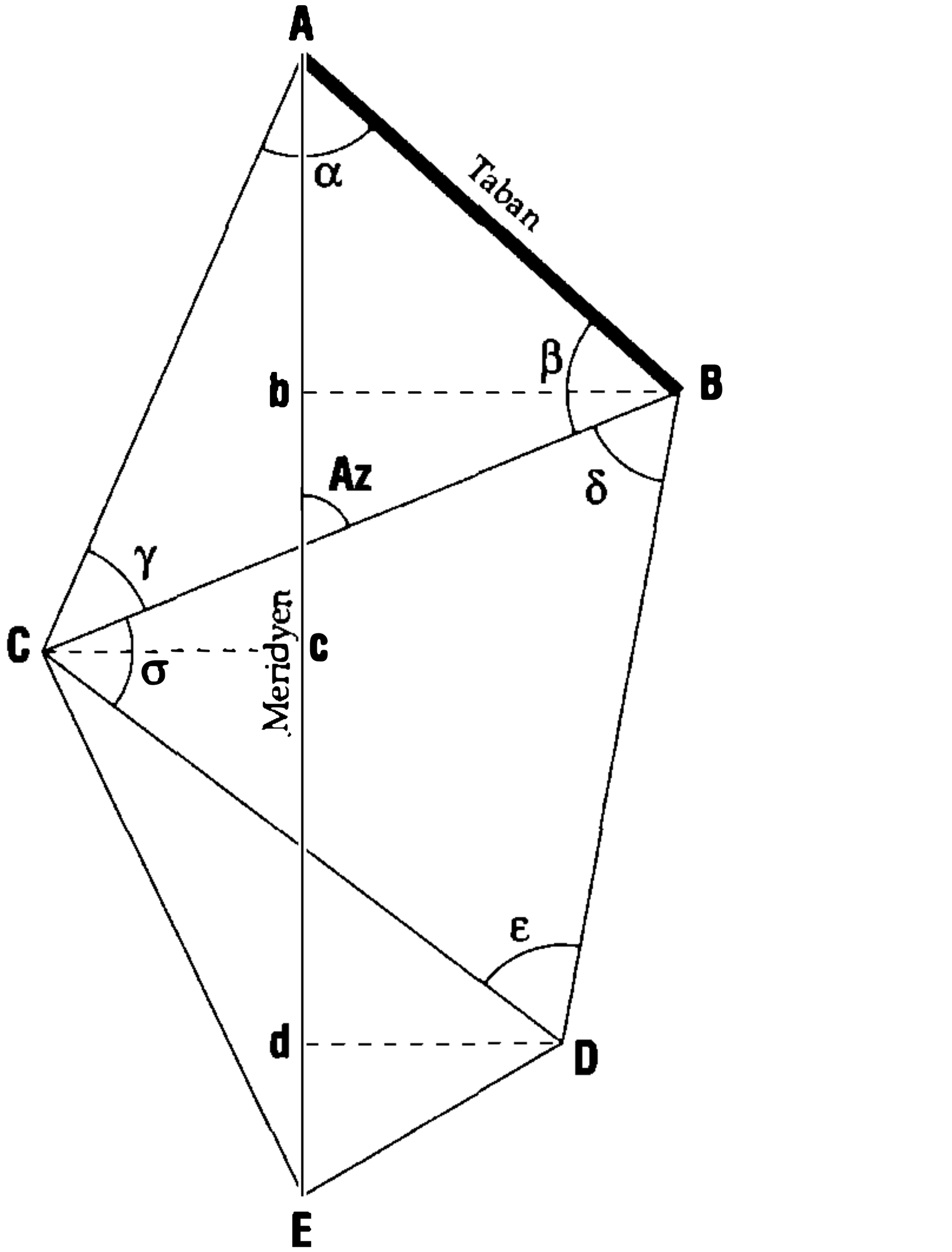
Bu iki gezideki romanlara layık[87] olayları burada anlatmayıp sonuçlarını vermekle yetineceğiz.

Maupertuis meridyenin Laponya'da Paris'tekinden daha kısa olduğunu çabucak saptadı. Peru gezisi daha romantik ve

85 Markiz, Newton'ın *Principes*'inin Latinceden Fransızcaya ilk (ve tek) çevirisini yapmıştır.

86 O dönemde Peru'nun yönetiminde olan bugünkü Ekvador Devleti'ne.

87 Bkz. Arkan Simaan, *La Science au péril de sa vie* (Hayat pahasına bilim), Paris, Vuibert-ADAPT, 2002. Ayrıca, Florence Trystan, *Le Procès des étoiles* (Yıldızlar davası), Paris, Seghers, 1999.



Şekil 11.2
Üstte, üçgenleme ilkesi.
Altta, kutupların basıklığını gösteren şema.

kimi olayları daha trajik oldu; büyük bir gecikmeyle, meridyenin ekvatorda Paris'tekinden daha uzun olduğu sonucuna (tamamlayıcı sonuç) vardı.

Bu gezilerin sonucunda bile Descartesçılar, yenildiklerini kabul etmezler. Yerölçümlerinin kabul edilemez, yanlışlarla lekelenmiş olduğunu açıklarlar.

Maupertuis kızar ve kendisini güçlü biçimde savunur, ama birçok beceriksizlik de yapar; sonunda Kraliyet Akademisi'nden kovulur (Godin de) ve Prusya'da II. Frederik'e sığınır.

Kuşkusuz, bugün artık tartışma bitti. Yerkürenin kutuplarda basık olduğunu herkes kabul ediyor ve bu basıklığın oranı 1/298 olarak hesaplanıyor (Newton 1/230, Huygens 1/576 değerlerini bulmuşlardı).[88] Bunun nedeni yerkürenin dönüşüdür ve bu açıdan Huygens de ve Newton da haklıydı.

Yerkürenin hareketleri

Yerküre kendi etrafında ve Güneşin etrafında döner. Bunu Yunan Pythagoras Okulu'ndan beri biliyoruz; bilindiği gibi bu düşünce, Aristarkhos, Kopernik, Kepler, Galilei ve buna bağlı fizik ve matematik kuramını oluşturan Newton tarafından yeniden ele alındı.

Yine de yerkürenin kendi etrafında döndüğünün ilk doğrudan fiziksel kanıtı oldukça geç geldi. Bu, Léon Foucault'nun 1851'de yaptığı ve 1852'de Panthéon'da görkemli bir biçimde yinelediği ünlü deneyine dayanır.

Işık hızının saptanmasında Fizeau ile yarışan dâhi deneyci Léon Foucault, Newton'ın kanıtladığı, yerkürenin dışındaki bir kütleye uygulanan çekimin, yerkürenin merkezinde bu-

88 Yerkürenin yarıçapı yaklaşık 6.400 kilometre olduğuna göre, kutuptaki yarıçapla ekvatordaki yarıçap arasında 20 kilometrenin biraz üzerinde bir fark oluşur.

lunan ve tüm kütleyi taşıyan bir noktanın uyguladığı çekime indirgenebileceği kuramına başvurdu.

Yeryüzü üzerinde bir sarkaç asar ve onu dikey doğrultudan uzaklaştırırsak, sarkacın ipinin oluşturduğu doğru ile yerkürenin merkezi bir düzlem oluştururlar. Sarkaç bu düzlemde sallanacaktır, çünkü hiçbir güç onu uzaklaştırmaya çalışmaz (bağlantı noktasının yeterince gevşek olması koşuluyla). Ama sarkaç sallandığı sırada yerküre döndüğünden sarkacın salınım düzlemi dönüyor gibi olur: Léon Foucault bunu gözlemler, çünkü sarkacının topuna sivri bir uç koymuştur ve bu uç ince bir kumun yüzeyini hafifçe sıyırır – sarkacın küçük bir kum yükseltisinde belirlenen izi batıdan doğuya doğru bir daire çizer.

Newton'ın astronomi gözlemlerine dayandırdığı ve matematiksel olarak doğruladığı düşünce böylece fiziksel, deneysel olarak kanıtlandı.

Ama daha sonraki çalışmalar bu dönüşün basit olmadığını gösterecekti.

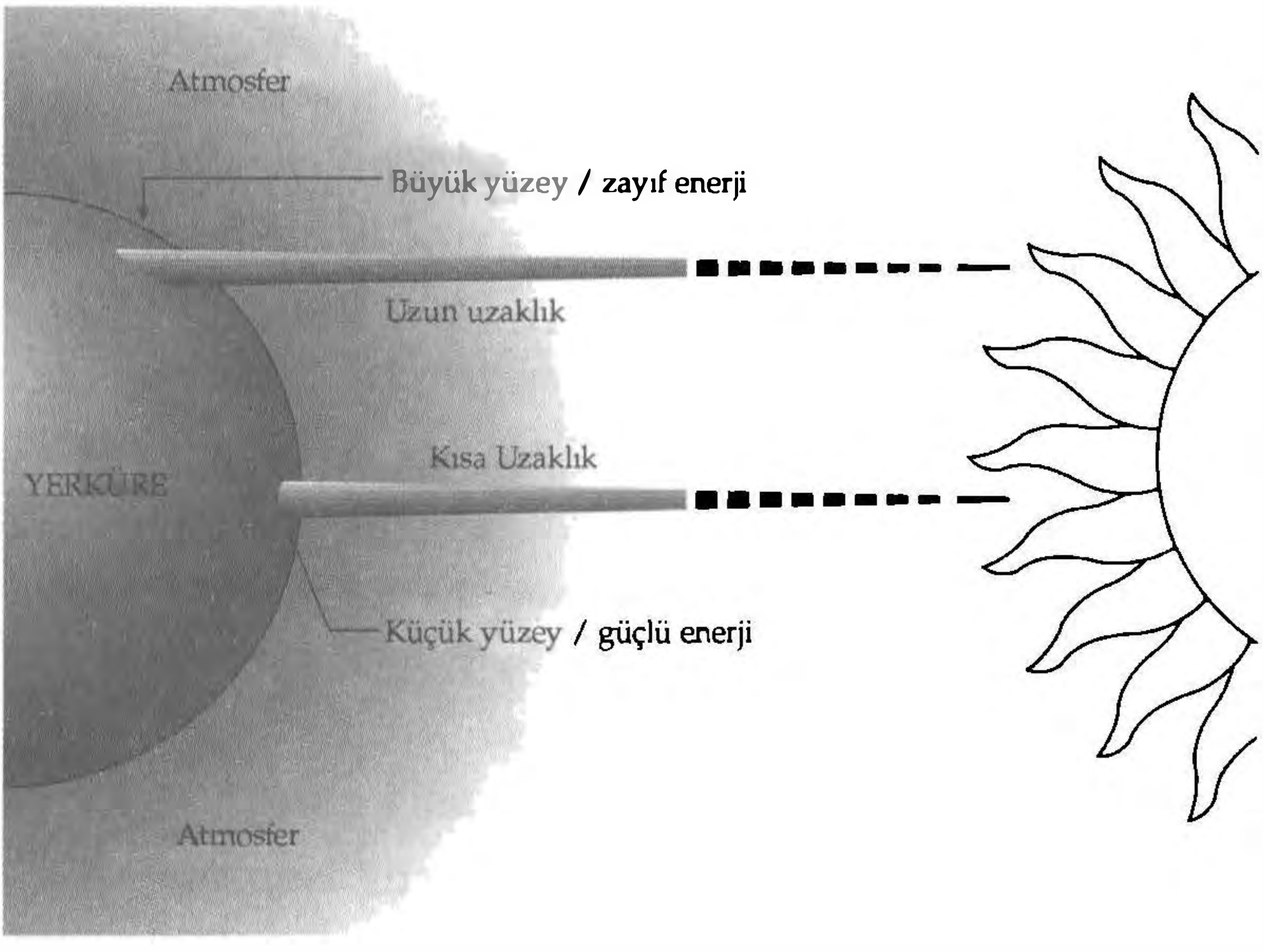
Yerkürenin dönüş ekseni ekliptik düzleme (Dünyanın Güneş etrafındaki dönüşünün düzlemine) göre eğimlidir.

Kütlelerin yerküre içindeki dağılımının eşit olmaması ve yerkürenin biçiminin değişebilir olması, yerkürenin dönüş ekseninde oynamalara yol açar.

Bu oynamaları yaratan, temelde Güneşin, Ayın ve diğer gezegenlerin, özellikle de hepsinin en büyüğü olan Jüpiterin çekim gücüdür.

Bu "Newtoncı" çekimler zayıf, hatta çok zayıftır, ama yeryuvarının kendi etrafındaki dönüşünü ve Güneş etrafında çizdiği elipsin biçimini değiştirmeye yeterlidir. Dönüş ekseninde görülen jiroskoptakine benzer değişmeler ("presesyon", gerileme denir), Güneş etrafındaki dönüş elipsinin biçimindeki değişmeler, dönüş ekseninin ekliptike göre eğimindeki

değişmeler,[89] bunların tümü yerkürenin Güneşten ışık enerjisi alışında önemli düzensizliklere neden olur – iklimin, bilindiği gibi, yaşamın gelişmesine elverişli olacak bir iklimin temel belirleyicisi budur.



Şekil 11.3
Kutuplarda güneş almanın ekvatordakine göre nasıl daha az olduğunu gösteren şema.

89 Eskiden çocuklar topaçlarla oynarlardı, sonraları jiroskopla oynadılar. Bu oyunlar dönen cisimleri etkileyebilen düzensizlikleri iyi gösterir.

Milankovic döngüleri

1920-1938 arasında, Yugoslav astronom Milutin Milankovic, yerkürenin güneş almasındaki bu dalgalanmaları hesaplamaya (elle!) girişti. Güneş alma döngülerine karşılık gelen 20.000, 40.000, 100.000, 400.000 yıllık bir dizi periyodu güncelledi. Kısa bir süre sonra, okyanuslardan alınan çökeltilerin ısıya duyarlı özelliklerinde (kireçtaşının yüzde oranı, fosiller) Milankovic'in hesaplarına denk düşen periyotlar ortaya çıktı.[90]

Jeologlar gibi meteorologlar da bu düşünceye şiddetle karşı çıktılar. Oysa Milankovic doğruyu söylüyordu. Onun döngüler kuramı bugün birkaç küçük güçlüğe karşın ana çizgileriyle doğrulandı. Zaten jeolojik gözlemler sayesinde bu kestirimler ayrıntılı ve kesin biçimde doğrulanıyor...

İklim

İklimin başta gelen belirleyicisi astronomiye ilişkindir, ama tek belirleyici bu değildir. Dünyanın atmosferi de başlı başına bir rol oynar.

Dünyanın atmosferi başlıca iki gazdan oluşur: Azot (% 80), Oksijen (% 20) ve daha az ölçüde olmak üzere Karbonik Gaz ve Ozon gibi başka gazlar da içerir.

Bu küçük miktardaki gazlar iklimin belirlenmesinde önemli bir rol oynarlar. Gerçekten de bunlar hem görülebilir ışık tayfında bulunan doğrudan Güneş ışınlarını, hem de yeryüzünün yeniden yaydığı (yansıttığı değil) ve görülür kırmı-

90 Milankovic'in bu ünlü döngülerini Sicilya'da, Agrigente'nin birkaç kilometre uzağında "ayaklarınızı ıslatmadan", kumsallara tepeden bakan beyaz yamaçlarda görebilirsiniz.

zıdan daha düşük frekanslarda yer alan, kızılötesi adı verilen ışınları soğururlar.

Yeniden yayılan bu ışınların soğurulması, Dünya atmosferinin enerjiyi hapsetmesidir; eğik camları ışınları yansıtan ve hapseden bahçe serasına olan benzerlikten dolayı buna sera etkisi denir.

Oysa bu gazların bolluğu yerkürenin kendi etkinliğine bağlı olarak değişir. Örneğin volkanlar Karbonik Gazlar yayarlar. Yeşil bitkilerse bunun tersine, fotosentez denen süreçte Karbonik Gazı emerler. Karbonik Gazlar okyanusta çözünür; sıcaklık ne kadar düşükse o kadar iyi çözünür.

Demek ki tüm girdiler bu karmaşık sistemin işlemesi ve dalgalanmalar olabilmesi için bir araya gelmiştir.

Sıcaklıkta astronomik olaylar nedeniyle ortaya çıkacak küçük bir artış okyanuslardan gaz salınmasına neden olur. Bu biçimde serbest kalan Karbonik Gaz biraz daha fazla kızılötesi ışın emer ve böylece sıcaklığı biraz daha artırdığından olayı daha da büyütür. Diğer taraftan, Karbonik Gazların fazlalığı fotosentezi, dolayısıyla da yeşil bitkilerin gelişmesini körükler; bu da Karbonik Gazın yeni bir emilmesine ve sıcaklığın düşmesine neden olur. Ama tüm bunlar belirli bir hızla gerçekleşir, zaman alır; dalgalanmaların nedeni budur.

Bu dalgalanmalar üzerine şunu biliyoruz: bunlar 4 milyar yıldır öyle olmuştur ki genel koşullar yeryüzünde yaşama uygun sınırlarda kalmıştır ve yerküre ne buzul (bugünkü Mars gibi), ne de kızgın (Venüs gibi) bir gezegen olma tehlikesi altındadır.

Sanki yerkürenin ısısının ve ikliminin bir düzenleyicisi, bir homeostatı vardır.

Bugün hem bilimsel, hem de politik alanda bir kaynaşmaya neden olan, İnsanın kömür ve petrol yakarak Karbonik Gazlar yaymaması ve bunların atmosferdeki oranını artırmasıdır. Bununla sera etkisi yapay olarak artırılmaktadır. Bu koşullar-

da yeryuvarının sıcaklığının artması, okyanusun genişlemesi, buzulların erimesi ve deniz seviyesinin yükselmesi gerekir.

Bu, kuramsal senaryodur. Ama bu sayısal tahminler bugüne değin gözlemlerle doğrulanmadı; iklim duyulur derecede değişmiş ve biraz ısınmış gibi gelse de. Öyleyse?

Bugün herkes için kabul edilebilir tek sonuç, iklim üzerine bilgimizin çok yetersiz olduğudur...

Yerkürenin kütlesi

Cavendish iki kütle arasındaki evrensel çekim gücünü açıklamak için yaptığı ünlü deneyini yayınladığında, buna "Yerküre Kütlesinin Ölçümü" başlığını koyar. Bunu yapmak için iki kütlenin birbirine uyguladığı çekimi bir burulma sarkacı kullanarak ölçer. Yapması güç bir deney. Bununla birlikte Cavendish'in belirlediği yerçekimi sabiti, $G \frac{mm}{R^2}$ formülünün büyük G'si, çok doğru ve başarılı bir sonuçtur.

Buradan hareketle, ayrıca yerçekimi ivmelenmesini de ölçerek, yani saniyede yaklaşık 10 metrenin karesini kullanarak, yerkürenin kütlesini hesaplamak oldukça kolaylaşıyordu.

Cavendish, bunu 4×10^{27} gram olarak hesapladı.[91]

Yerkürenin hacmini bildiğinden onun ortalama özgül kütlesini,[92] yani birim hacme düşen kütleyi hesapladı ve santimetreküpte 5,5 gram değerini buldu.

Yüzeydeki kayaların yoğunluğu yalnızca 2,5 gram olduğundan, bu sonuç hemen yerkürenin yapısı sorusunu ortaya

91 Bugün kabul edilen değer 5,873 x 1027 gramdır.

92 Yoğunluk ve özgül kütle sıklıkla birbirine karıştırılır; bunun bir nedeni eski c.g.s. (santimetre, gram, saniye) sisteminde aynı birimlerle ölçülmeleridir, ama bugünkü uluslararası sistemde artık aynı birimlerle ölçülmezler. Özgül kütle, kütlenin hacme bölümüdür, yoğunluk ise özgül kütlenin, santimetreküpte 1 gram olan suyun özgül kütlesi cinsinden ifadesidir. Buna göre yerkürenin özgül kütlesi 5,5 g/cm3 (SI) , yoğunluğu ise basitçe 5,5'tur.

attı. Buna göre, yerkürenin merkezine yaklaşıldıkça çok daha yüksek yoğunlukta maddelerle karşılaşılacağını kabul etmek gerekiyordu. Neydi bunlar? Altın mı? Elmas mı? Hangi derinlikte bulunuyorlardı?

Bu ölçümle, yerbilimlerinin en büyük soruşturmalarından biri ortaya atılmış oldu.

Gezegenimizin yarıçapı 6.400 kilometreyken, kazılar en fazla 15 kilometre derinliğe ulaşabilirken ve yüzeydeki maddelerle içteki maddelerin yapısının (en azından yoğunluğunun) birbirinden farklı olduğu kesin olarak biliniyorken, onun iç kısmının bileşimini ve özelliklerini nasıl bilebiliriz?

Günümüzde yerkürenin derinliklerinin yapısını ve bileşimini açıkladığımızda, konunun dışındaki insanlarda, atom kuramını reddedenlerin aklını bulandıran kuşkuculuğun benzeri bir kuşku duvarına çarparız. Onu görmediğimize göre, ondan nasıl emin olabiliriz?

Dolaysız görüş kimi durumda zorunlu olsa da, bilim yalnızca görsel saptama üzerine kurulmamıştır! Ya da diyebiliriz ki, onun içini bize gönderdiği sinyallere dayanarak "görmenin" birçok yöntemi vardır – kuşkusuz, bunları okumayı bilmek koşuluyla: yer sarsıntıları, volkanların lavları, yerçekimi, manyetizma... çözmeyi öğrenmemiz gereken ve sayesinde yerkürenin bileşimini ve yapısını artık oldukça iyi bildiğimiz birçok sinyal.

Yerkürenin görünmezi

Burada ayrıntıya girmeyeceğim, yerkürenin derinliklerini, yapısını ve bileşimini bilmek için ne yapıldığını açıklamaya da çalışmayacağım. Bu, bilimin modern çağdaki serüveninin bir parçasıdır ve çok karmaşık teknik anlatımlar gerektirir. İlkesinden söz edelim.

Bu ilke, Sherlock Holmes'unkidir: deliller toplamak, bunları uç uca eklemek, birbirine uyumlu duruma getirmek, olanaklı, yani fizik ve kimya yasalarıyla uyumlu bir senaryo oluşturmak.

Ya bilginin kaynağı?

Öncelikle deprembilimi. Yer sarsıntıları yerküreyi kateden dalgalar yayarlar. Bu dalgalar bir doktorun ultrason tarayıcısıyla yaptığı gibi kullanılır. Yeryuvarını bu yöntemle tararız.

Volkanlara gelince, bunlar derinliklerden yüzeye maddeler taşırlar: ardından, bunların yapıları incelenir. Ama yüzeydeki kısımların jeolojik incelemesi de yapılır. Bunlardan başka, paha biçilmez değerde birçok başka ipucu da vardır.

Örneğin meteorlar. Gökten düşen bu taşlar Güneş sisteminin ilk anlarından gelen mesajlardır. Bu taşlar o dönemden beri uzayda gezinmiş, tüm gezegenlerin çekim gücünden kaçmış, sonunda yerküreninkine yakalanmıştır. Bu tanıklar olmasaydı hiçbir şey yapamazdık.

Ama tüm bunlara, yerin manyetik alanının bugünkü ve geçmişteki durumunun incelemesini ve yeryuvarının ta merkezine varıncaya dek hüküm süren olağanüstü basınç ve sıcaklık koşullarının (1 milyon atmosfer, 5.000 derece) oluşturulmaya çalışıldığı laboratuvar deneylerini de eklemek gerekir.

Ayrıca, kuşkusuz birçok düşünceyi, hesaplamayı ve doğrulamayı da.

Sonuç?

Yerküre bir rafadan yumurta yapısındadır. Okyanuslar ve kıtalar olmak üzere, iki tip örtüden oluşmuş sert bir kabuk; 3.000 kilometre kalınlığında bir mantonun sardığı sıvı bir çekirdek ve bunun merkezinde yüzen sert bir iç çekirdek.

Manto ve kabuk, moleküllerinin yapışıklığı Silisyum ile sağlanan üst üste yığılmış Oksijen atomlarından oluşur. Bu birleşimlere silikat adı verilir. Çekirdekse buna benzemez,

sıvı demir madeninden oluşmuştur. Bu sıvı demir madenindeki burulmalar, nasıl işlediğini hâlâ iyi anlamadığımız, ama Maxwell denklemleriyle anlatılan, elektrik alanlarıyla manyetik alanların ilişkisine bağlı bir mekanizmayla, yerin manyetik alanını yaratacaktır.

Yerkürenin yaşı

Yerkürenin yaşı uzun bir süre sorulmadı. Gezegenimiz zamanın başlangıcından beri var olmuş gibi görünüyordu; kendi kendisiyle özdeş, sanki geçmişin sonsuzluğundan geleceğin sonrasızlığına dek aynı olaylar yinelenmiş gibi.

Buna göre, modern jeolojinin kurucusu James Hutton (1798), şöyle diyordu: *"No vestige of a beginning, no prospect for an end."*[93]

Yerkürenin yaşı sorusunu en açık biçimiyle ilk soran, 1850'ye gelinirken, bir fizikçi oldu: Lord Kelvin. Yeryuvarının derinliklerine dalındıkça sıcaklığın kaç derece arttığı daha önce ölçülmüştü; madenciler bunu Romalılardan beri biliyordu. Lord Kelvin, Joseph Fourier'nin ısının yayılması üzerine yaptığı çalışmalara dayanarak, derinlik arttıkça sıcaklığın artmasının yerkürenin soğuduğu ve sıcaklık kaybettiği anlamına geldiğini ileri sürdü. Hesaplamalar yaptıktan sonra, yerkürenin yaşını 100 milyon yıl olarak açıkladı.

Ayrıca, Güneşin yaydığı (dolayısıyla kaybettiği) ışık enerjisini göz önüne alarak, onun da yaşını hesapladı ve yine 100 milyon yıl sonucunu buldu.

Jeologlar koro halinde karşı çıktılar: 100 milyon yıl; bu fazla genç bir yaş. Yerküre çok daha yaşlıydı! Aralarından Charles Lyell ve ayrıca, biyolog olduğu kadar jeolog da olan

93 "Ne bir başlangıcın izi, ne de bir sonun işareti."

Charles Darwin, Lord Kelvin'in en ateşli karşıtlarıydı. Geçerli olabilecek pek fazla sağlam sayısal kanıtları yoktu, ama bir tür sezgileri vardı, kayaların erozyonunun ya da deniz ve göllerde tortulların birikiminin hızları üzerine gözlemlere dayanan cesurca bir tür çıkarsamaları vardı. Onlar milyarlarca yıldan bahsediyorlardı. Bu oldukça fazla, hatta inanılmaz görünüyordu. Ama haklıydılar!

"Lord Kelvin'in yanılgısı"nı radyoaktivitenin keşfi kanıtladı. Gerçekten de, Pierre Curie ve Laborde 1902'de, radyoaktivitenin ısı yaydığını gösterdiler. Bu buluşun yeryuvarının içindeki bir ısı kaynağının varlığını gösterdiğini hemen anladılar; bu kaynak kayaların içine dağılmış olan radyoaktif elementlerin (Uranyum, Toryum, Potasyum) parçalanmasıydı. Rutherford da iki Fransızdan bağımsız olarak aynı düşünümü yaptı.

Londra Jeoloji Derneği'nde Lord Kelvin'i Lyell ile karşı karşıya getiren tartışmalardan birinde, Lord Kelvin Lyell'e şöyle demişti: "Hesabımın yanlış olması için, yerkürenin içinde bir sıcaklık kaynağı olması gerekir." Lyell yanıtlamıştı: "Neden olmasın ki?" Buna Lord Kelvin şu yanıtı vermişti: "Enerjisiz motor da bu tür düşüncelerle icat ediliyor!"

Oysa Lyell'in sezgisi doğruydu. Yerkürenin bir içsel enerji kaynağı vardır: radyoaktivite.

İngiliz fiziğinin yükselen yıldızı Rutherford, İngiliz Fizik Derneği'ndeki bir sunumunda milyarlarca yıldan söz ettiğinde artık çok yaşlanmış olan Lord Kelvin bunu centilmence kabul etti.

Öyleyse yerkürenin yaşı milyar yıl düzeyindeydi.

Ama tam olarak kaçtı? Onu nasıl tahmin edilebilir ya da hesaplayabiliriz?

Bir taraftan Pierre Curie'nin, diğer taraftan da Ernest Rutherford'un, radyoaktif serüvenin büyük kahramanlarından bu ikisinin bunu yanıtlamalarını yine radyoaktivite sağlayacaktı.

Belirttiğimiz gibi, radyoaktif bölünme bir saatin dakikliği kadar düzenli olur, bir radyoaktif izotop hiçbir şeyin bozamayacağı mutlak bir düzen içinde bölünür: ne sıcaklık, ne basınç, ne de içinde bulunduğu kimyasal formül. Radyumu eriyene dek ısıtabiliriz, onu çözündürebiliriz, buharlaştırabiliriz, en yüksek basınçlar altında tutabiliriz, kısacası en uç koşullar altında bırakabiliriz, ama bunların hiçbiri onun radyoaktifliğini etkilemez. Radyum, çevresine karşı tam duyarsızlık içinde, önüne geçilmez biçimde bölünür.

Radyoaktivite, kum saati gibi işleyen bir saattir. Bölünen elementi ve bölünme sonucunda ortaya çıkan kararlı elementi bilmek yeterlidir. Ayrıca, jeolojik kronometrenin işlemesi için, çok çabuk bölünmeyen ve özellikleri jeolojik zamanlarla uyumlu radyoaktif elementler bulunması gereklidir. Evet, böyleleri vardır. Bunlar arasında Uranyum, Toryum, ayrıca Potasyum ya da Rubidyum sayılabilir.

Böylece kayaların, minerallerin yaşını, yani oluşmak, kristalleşmek için geçirdikleri süreyi ölçmek için kusursuz bir araca sahibiz. Jeoloğun gereksinim duyduğu araç buydu. Yerkürenin tarihçisi olarak bir zamandizini hazırlamak için elinde hiçbir aracı yoktu.

Kuşkusuz biliyordu ki bir katman bir başka katmanı kaplıyorsa, ondan daha gençtir; bu ilkeden yararlanarak göreli bir zamandizini oluşturulmuştu. Fosiller sayesinde, jeolojik zamanlar çağlara bile bölünmüştü: Paleozoyik, Mezozoyik, Tersiyer, Kuaterner, ardından her çağ kendi içinde devirlere bölünmüştü: örneğin Paleozoyik çağ Kambriyen, Ordovisiyen, Siluryen, Devonyen, Karbonifer, Permiyen olarak bölünüyordu. Ama tüm bunlar görelidir. Jeolojik çağların her birinin ne kadar süreye karşılık geldiği bilinmiyordu.

Sonuçta jeolog, Napoléon'un XIV. Louis'den ve Vercingétorix'ten sonra geldiğini bilen, ama bu dönemlerin zaman aralıklarını bilmeyen bir tarihçi gibiydi.

Kesinleşmiş zamandizini tarihsel jeolojinin ya da jeolog için her şeyin tarih demek olduğu bilindiğine göre kısaca jeolojinin büyük devrimi oldu.

Bu zamandizini yerküre tarihinin görkemli bir panoramasını çizer. En yaşlı kayalar neredeyse 4 milyar yaşındadır. İlk karmaşık yapılı ayırt edilebilir organizmalar bundan 550 milyon yıl önce ortaya çıktı, ama ilk su yosunları bundan 3,4 milyar yıl önce zaten vardı. Öyleyse, aslında çok çabuk ortaya çıkmasına karşın yaşamın kendisini göstermesi için 3 milyar yıla yakın süre beklemek gerekti. Evrimin yolunu bulması için 3 milyar yıl geçmesi gerekti...

Ya aşağı yukarı eşit sürelerde oldukları düşünülerek tanımlanan jeolojik devirler? Paleozoyik 300 milyon yıl sürdü, Mezozoyik 150, Tersiyer 60, Kuaterner 4 yıl Eskiyi görüşümüz ileri bir miyoplukla engellenmişti sanki.

Ya İnsan ne zaman ortaya çıktı?

Bundan 4 milyon yıl önce, belki 5 ya da 6. İlk kayaların 4 milyar yıllık oluşuyla karşılaştırılınca kısa bir süre!

Kısacası, biyolojik evrim basamaklarının zamanlaması birçoklarının beklediği sürekli, tek düzenli, düzgün ritimli gelişmeyi içerir. Uzun, hatta çok uzun, kaotik bir evrimle karşı karşıyayız, özellikle olumsallığın hüküm sürdüğü bir evrim. Rastlantının ve zorunluluğun.

Ya yerkürenin yaşı? Güneş gibi, yerküre de 4,5 milyar yaşındadır. Bu yaşın belirlenmesi ancak meteorların yardımıyla olanak kazanan çok ince bir işti. Clair Patterson adı, kalıcı bi-
çimde bu keşifle, jeolojik takvimimizin 1 Ocak'ının keşfiyle birlikte anılacaktır.

Bu noktadan sonra nükleer fizik yerbilimlerini kuşatacak, üstelik İzotopik Jeoloji ya da Nükleer Jeoloji denen yeni bir bilim dalını da esinleyecektir.

Ama bu başka bir öykü.

Radyoaktif zaman dizininin oluşturulmasının kuşkusuz en önemli sonucu, yerküre dinamiğinin ortaya çıkmasına olanak vermesidir.

Yer yüzeyinin büyük başkalaşımlara uğradığı uzun süredir biliniyordu. Kabartılar yağmur ve rüzgârla yıpranır, bozulur, aşınır. Maddeler nehirlerle denizlere taşınır. Bu parçacıklar tortulları oluşturacak biçimde dibe çökerler. Bu dönüşümlerin suyun çevriminden kaynaklandığı da biliniyordu: okyanusun üzerinde buharlaşma, bulut, taşınma, yağmur, sel ve yine okyanusa dönüş.

Atmosferin hızlı değişmelerle hareketlendiği de biliniyordu (hortumların şiddetine varıncaya kadar), okyanusların yüzeyinde hızlı hareketler ve derinliklerle yüzey arasındaki değiş-tokuşlarda daha yavaş hareketler olduğu, bunlar da biliniyordu.

Ama ayaklarımızın altında neler olduğunu hiç bilmiyorduk. Kimilerine göre yeryuvarının içsel bir hareketi vardı ve ara sıra Buffon'un "ateşli dağlar" dediği dağların tepelerindeki volkanik püskürmeler ya da yer sarsıntıları gibi beklenmedik olaylarla kendisini gösteriyordu, ama tüm bunların mantığı neydi? Bu olaylar yersiz, rastgele, önceden kestirilemez gibi görünüyordu.

Yerkürenin içsel etkinliğinin yüzeyden görünümüne bir anlam, bir örü veren, 1960-1970 yıllarında Plaka Tektoniği'nin keşfi oldu.

Yerbilimlerinde devrim yapan bu keşif, aslında gerçek bir devrim değildi. Çünkü Alfred Wegener kıtaların kayması kuramını daha 1910'da ortaya atmıştı. Ama o dönemde neredeyse hiç kimse Alman meteoroloğa inanmamıştı, oysa Atlantik'in iki tarafında eski Gondwana kıtasının kıyılarını çizerken dayandığı savları sağlamdı. Sonraları, 1960'lara geli-

nirken, okyanusların keşfiyle birlikte bilim adamları özel bir sualtı yapılanışıyla ilgilendiler: okyanus sırtları.

Yeryuvarının tüm okyanus tabanlarını dev bir kayış gibi kesen bu uzun biçimli sualtı kabartılarının kaynağı volkaniktir. Bunlar süregelen volkanlardır. Ama denizin 1.000 metre altında yer aldıklarından görülmezler. Oysa bu volkanlar ya da daha doğrusu bunların lavları, okyanusların tabanını oluşturur ve okyanus sırtlarının temel özelliği okyanusların döşemesini oluşturmaktır.

Bunu keşfetmek için elde çok özgün bir jeoloji yönteminin bulunması gerekiyordu: paleomanyetizma.

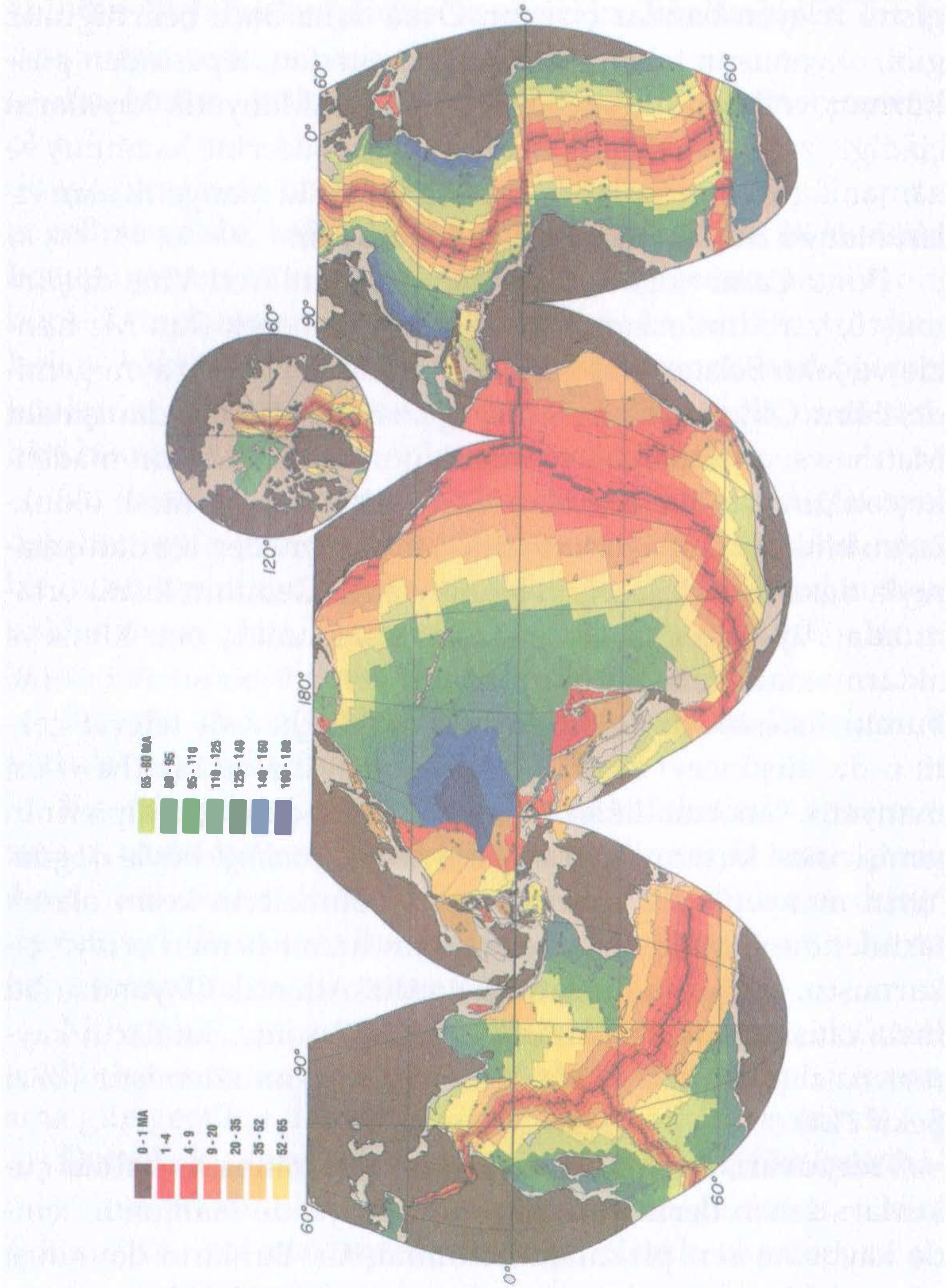
William Gilbert'tan beri (yani 1600'den beri) biliyoruz ki yerküre kendi içinden kaynaklanan bir manyetik alana sahiptir. 1910'larda, Fransız Mercanton ve Brunhes'ün etkisiyle şu da keşfedildi: bir volkanik lav soğuduğunda, içinde kristalleştiği manyetik alanda donup kalır.

Böylece lav, manyetik belleğini koruyan küçük bir mıknatısa dönüşmüştür. Öyle ki bu bellek bize, Bernard Brunhes'ün Clermont-Ferrand Gözlemevinde keşfettiği şaşkınlık uyandırıcı bir olayın varlığını gösterir: geçmişte yerkürenin manyetik alanı tersine dönmüştür. Belirli dönemlerde Kuzey Kutbu Güney Kutbu olmuştur ya da tersi görülmüştür.

Buna göre, bir volkanik lavlar alanı üzerindeki etkin manyetik alanı ölçtüğümüzde, belleğe alınmış eski alanın yükünün bunun aynısı mı, tersi mi olduğuna bağlı olarak, lavda kayıtlı bulunan fosil alan etkin alana ya katılır ya da ondan ayrılır.

Okyanus dibindeki manyetik alanın "rölövesi"ni aldığımızda, bu alanın sırtların değişik yerlerinde dalgalanmalar yaptığını görürüz. Kimi yerde beklenenden daha yüksek, kiminde daha düşüktür.

Ama daha garip olanı, kayıtlardaki bu "tepeler"in ve "çukurlar"ın sırtlara göre simetrik olmasıdır. Sırtların çiz-



Şekil 11.4
Okyanus diplerinin genişlemesinin mekanizmasını gösteren okyanus tabanları haritası. Renkler, tabanın kısımlarının oluştuğu yaş aralıklarına karşılık gelir.

gisini izleyen bantlar çizerler. Oysa daha önce belirttiğimiz gibi, okyanusun tabanı, sırtların ortasından, tepesinden püskürmüş volkanik lavlardan oluşmuştur. Manyetik kayıtların çizdiği "zebra derisi"nin, sırtların lavları üzerine kazınmış ve zamanla çeşitli noktalarda kaymış olan eski manyetik alan izleri olduğu düşüncesi buradan doğmuştur.

Bunu Cambridge'de tez öğrencisi olan Fred Vine düşünmüştü; yerbilimlerinde kendisi gibi ünlenecek Dan Mc Kenzie ve John Sclater gibi başka öğrencilerle birlikte aynı gemide, Hint Okyanusu'nda görev gezisindeydi. Tez danışmanı Matthews, o sırada balayı yolculuğundaydı. Bir altın madeni keşfettiğinin bilincinde olan Vine, zeki, hızlı ve hırslı olduklarını bildiği arkadaşlarının dikkatini çekmeden tez danışmanıyla nasıl haberleşeceğini bilemiyordu. Geminin kısıtlı ortamında büyük bir düşünceyi içinde saklamak, onu kimseye aktarmamak, genç bir bilim adamı için zor bir sınavdı. Vine bunun üstesinden geldi. Ardından Matthews'a telgraf çekti; o da düşünceyi anında benimsedi. Vine ve Matthews'un manyetik "anormallikler", aynı zamanda da deniz diplerinin genişlemesi kuramı (İngilizce *sea-floor spreading*) böyle doğdu. Yerin manyetik alanındaki tersine dönmelerin kesin olarak tarihlenmesi, bu genişleme olayının hızını hemen ortaya çıkarmıştır. Bu, yılda bir santimetredir. Atlantik Okyanusu bu hızla oluşmuştur. Bu kuramı birkaç yıl sonra, kıtaların kaymasına ilişkin ünlü Plaka Tektoniği kuramı izlemiştir (Bkz. Şekil 11.4).

Yeryuvarı, sırtlardan başlayan ve okyanusun dalma çukurları denen derin çukurlarının düzeyinde mantonun içinde kaybolan sert plakalara bölünmüştür. Bunların davranışı yüzeydeki geometrinin kurallarına uyar. Plakalar arasına hapsedilmiş mantar parçaları gibi olan kıtalar asla yeniden mantonun içinde yutulmazlar. Wegener'in dediği gibi kayarlar, kırılırlar, kaynaşırlar, çarpışırlar, ama yerin yüzeyinde

kalırlar. Okyanuslar gençtir ve geçicidir, kıtalarsa yaşlıdır ve dolayısıyla yerkürenin belleğini taşırlar!

Bu kuram, jeoloji üzerine tüm düşünmelerin çerçevesi olacak ve ayrıca temel bir ilkeyi ortaya koyacaktır: jeolojiyi dünya ölçeğinde kavrama gereği. İlk bakışta ne denli şaşırtıcı gelirse gelsin, bakış açısını altüst edecektir bu. Biyolojinin konusu yaşam olduğu gibi, jeolojinin konusu da yerkürenin bütünü, toplamıdır. İnceleme konusu ne kaya, ne tortul dizileri, ne bölge, ne de tüm klasik dönemi boyunca sanıldığı gibi kıtalardır; inceleme konusu yerkürenin kendisidir: onun tarihini bilmek, davranışını anlamak söz konusudur.

Bu kuramın bilim çevresi tarafından, yani bildiğini sandığı her şeyin yeniden sorgulanmasını güçlükle kabul eden bir insan topluluğu tarafından kabulünün zorluğundan kaynaklanan savaşları, beklenmedik olayları, gurur kırılmalarını başka yerde anlatmıştık.

Sonraki aşama, nedenlerin anlaşılması oldu. Bu tektonik plakalar neden hareket ediyorlardı?

Bu soru, yüzey hareketlerinin içsel hareketlerin yansımasından başka bir şey olmadığının gösterilmesiyle sonuçlandı. Ama nasıl oluyor da bu sert manto bir sıvı gibi biçim değiştirebiliyor? İlk bakışta bu olanaksız görünüyor. Yanıt yine ve hep zamandır, jeolojik zamandır.

Milyonlarca yıl geçtiğinde en sert taşlar biçim değiştirebilen bir hamura dönüşür. Etkilerine her gün rastlamadığımız, ama gün geçtikçe daha iyi anladığımız bir fizik sayesinde.

Demek ki yeryüzünün çeşitli katmanları tümüyle hareket halindedir. Manyetik alanı yaratan çekirdek, Plaka Tektoniği'ne yol açan manto ve doğal olarak, okyanus ve atmosfer. *Yerküre, gerçekten de yaşayan bir gezegendir.*

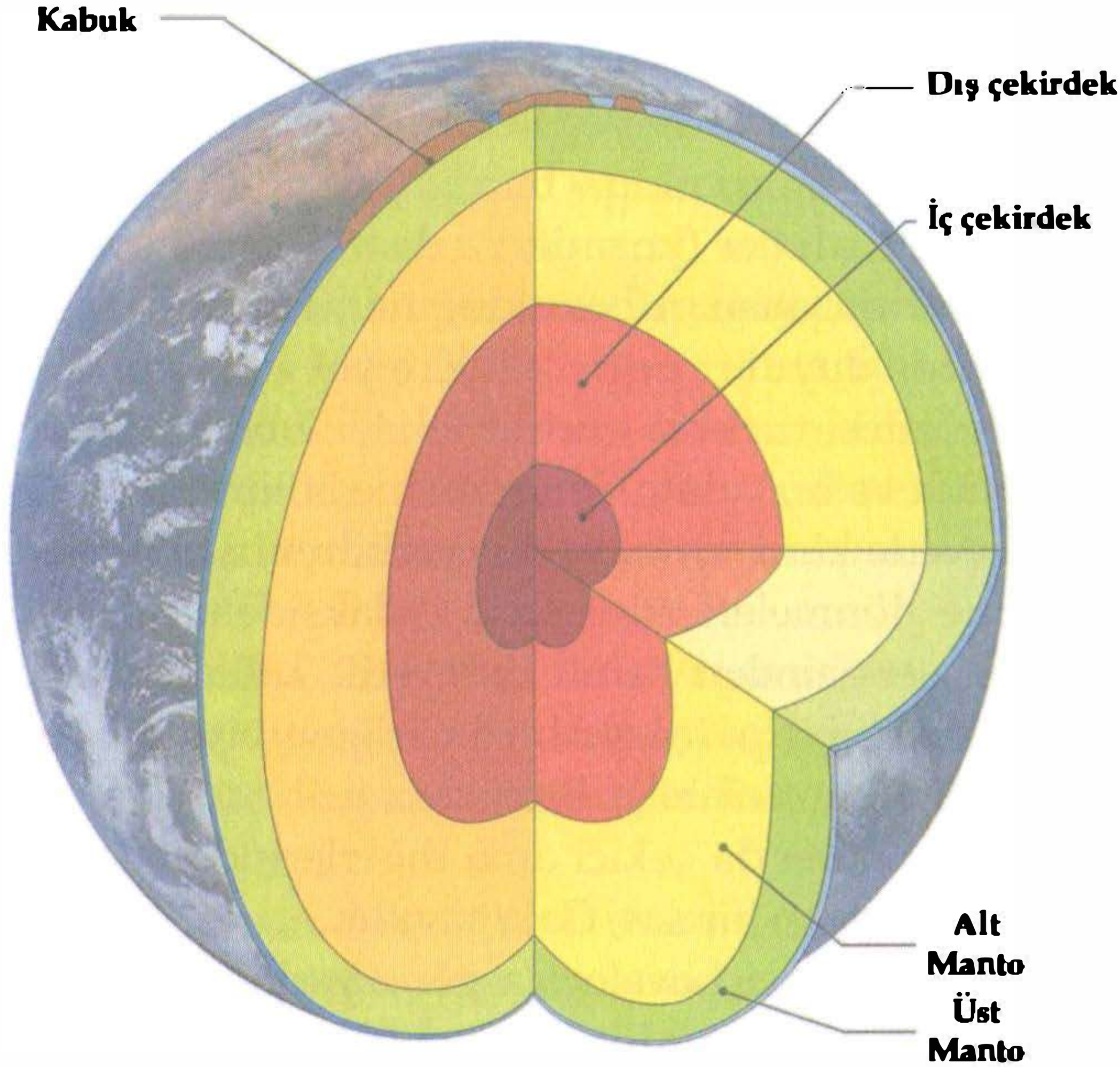
Günümüzde, çeşitli katmanların kökenini ve hareketlerini anlamaya çalışırken, bu katmanlar arasındaki ilişkileri de sorguluyoruz.

Birbirine bağlı, karşılıklı etkileşim ağı oluşturan olaylar topluluğuyla karşı karşıya kaldığımızda, modern bilim dilinde buna sistem deriz. Durgun, donmuş bir yapının değil de öğeleri birbiriyle alışverişte bulunan ve gelişen bir sistemin söz konusu olduğunu belirtmek için, sistem dinamik olarak nitelendirilir. Örneğin yaşayan bir canlı, dinamik bir sistemdir – çeşitli organların ve çeşitli işlevlerin karşılıklı etkilerini anımsayalım. Aynı biçimde, bir ülkenin ekonomisi ve bugünkü dünya ekonomisi de, para denen şu özel "madde"yi değiş tokuş eden, dönüştüren ve ileten dinamik sistemlerdir.

Bu dinamik sistemleri anlamak için modern bilim, büyük ölçüde bilgisayar yardımıyla simülasyona dayanan kavramlar ve inceleme yöntemleri geliştirdi.

Bugün kendi kendimize sorduğumuz temel soru şudur: Yerküre, dinamik bir küresel sistem midir? Katmanlar arasındaki karşılıklı ilişkiler nereye kadar gider?

Kuşkusuz, okyanusla atmosfer karşılıklı etkileşim içindedir ve Güneşin uyardığı bu etkileşimden iklimler doğar. Plaka Tektoniği, mantoyla ve mantonun hareketleriyle kesinlikle yakından ilişkilidir ve bugün mantonun ve çekirdeğin işleyişlerinin de birbiriyle bağlantılı olduğu sanılıyor. Peki bu ilişkiler daha da mı geniş bir alana yayılıyor? Ayrıca, örneğin, volkanik püskürmelerin iklimler üzerindeki etkisi tam olarak nedir? Yerkürenin manyetik alanındaki tersine dönüşlerin büyük volkanik akıntılarla ilişkisi var mıdır? Elmaslar, yeniden mantoya gömülen ve yüksek basınç altında dönüşüme uğrayan kireç taşlarından oluşmuyor mu?



Şekil 11.5
Yerkürenin çeşitli katmanlarını gösteren kesit.

Gaia

Ayrıca, kuşkusuz bir de yerkürenin özsel, temel ve belirgin bir etkileşimi vardır: Biyosferle tüm dış katmanlar arasındaki etkileşim.

Gezegendeki tüm canlı varlıklar bir bütün olarak alınarak buna Biyosfer denir, yeryüzüne yapıştırılmış bir canlı tabakası gibidir bu. Yaşamın gelişmesi, dağılımı, evrimi, yüzeydeki birikintileri nasıl değiştiriyor veya tetikliyor? Klorofilli fotosentezin Karbonik Gaz çevrimini değiştirdiğini ve dönüştürdüğünü önceden biliyoruz; Oksijen atmosferimizde önemli bir gaz durumuna geldiğinde –bu 2 milyar yıl önce oldu–, bu-

nun yerküre dinamiğini tümden değiştirdiğini de biliyoruz. Nefes alan bitkiler, ardından da hayvanlar gelişebildi. Kıtalar bitki örtüsüyle kaplandı ve yeşillendi. Önceden kırmızı-mavi olan gezegen yeşil-mavi oldu – biraz sarıyla birlikte (çöller).

Gezegendeki afetler (kozmik ya da volkanik) sonucunda yerküre ikliminin ansızın bozulduğunu, bunun hayvanlarda ve bitkilerde duyulur değişikliklere yol açtığını biliyoruz. Darwin'in gözdesi türlerin evrimi tekdüze bir hızla olmadı, ani durgunluk ve hızlanma dönemlerine bölündü.

Bu çerçevede kimi savlara göre, yerkürenin manyetik alanının tersine dönmeleri sırasında, Galaksiden gelen yüklü parçacıkların etkisinden kendi manyetik kalkanıyla korunmadığı bir anda, bu parçacıklar zincirleme biyolojik mutasyonlara neden olmuş olabilir. Belki de...

Son olarak, daha da çekici ama diğerlerinden daha fazla kanıtlanmış olmayan bir sav, Gaia savıdır...

İngiliz araştırmacı Lovelock'a göre, yerkürenin homeostatı Biyosferin bütünüdür. Bir iklim değişikliği algıladığında, sistemi başlangıçtaki duruma getirmek için yeşil bitkileri ve daha geniş ölçüde de jeolojideki temel rollerine gittikçe daha fazla inanılan bakterileri işin içine sokarak, tepki gösterir. Biyosfer, yerküre ikliminin başlıca düzenleyicisi, bunun "dengede" kalmasının nedenidir. Belki de...

İnsan, jeolojik etmen

Bu noktadan sonra Biyosferin içinde çok özel bir başka "canlılar çevresi"ni ayırt etmemiz gerekir; Teilhard de Chardin'in Noosfer adını verdiği, tüm kıtalara yayılmış insanların toplamından oluşanı.

Bu 6 milyar bireylik, yarın 8 milyar bireylik Noosfer, yerküre sistemine etki ediyor, çünkü İnsan artık bir jeolojik

etmen durumuna geldi. Kömür ve petrolün yanmasından doğan Karbonik Gaz problemini ve bunun iklim üzerindeki olası sonuçlarını ya da Güney Kutbu'nun üzerinde klor bakımından zengin bileşiklerin yayılmasından dolayı bozulan ozon tabakası sorununu biliyoruz, ama çok daha basit ve çok daha derin etkiler de var. Örneğin günümüzde insan, nehirlerin taşıdığı kadar kum ve çakıl taşıyor. Şu farkla ki nehirler bu maddeleri okyanusa taşırken, insan bunları taş ocaklarından ya da deltalardan daha yükseklerdeki yerleşim alanlarına taşır. Demek ki insan erozyon oyununu tersine oynar.

Bunun tersine, kireçli, potaslı ya da nitratlı gübre kullanımıyla insan, toprağın çözünmesini hızlandırır – dolayısıyla yok olmasını üç-dört kat hızlandırır. Erozyonu iki-üç kat hızlandırır.

Sonuçta insan, geleneksel jeolojik çevrimi altüst etme tehlikesini taşıyan bir erozyon etmeni durumuna gelmiştir: kentsel atıklar, suyun dağıtımı, ormanların yok edilmesi vb., hepsi de gezegenin gelecekteki tarihini belirleyecek etkenlerdir. Milyonlarca yıl üzerinden düşünüldüğünde bu eylemler yerküre mekaniğini kökünden değiştirecektir. Bu kaçınılmazdır. Kafamızı kurcalayan, kuşkusuz, bu olayların insanlık boyutunda algılanabilir olup olmayacağını, zararlı olup olmayacağını bilmektir. Olacaksa, buna nasıl ve hangi düzeyde çare bulunabileceğidir.

İşte yarının jeologları için güzel bir izlence: Antropojeoloji...

Gördüğümüz gibi karşımızda birçok sorgulama ve savlama duruyor ve her biri geleceğin yerbilimlerinin önüne birer araştırma konusu koyuyor... İlgi uyandırıcı konular...

Sonsöz

Bu ciltte önplanda yer alan temel fizik döneminin ardından, doğa bilimlerinin gelişmesi gelir.

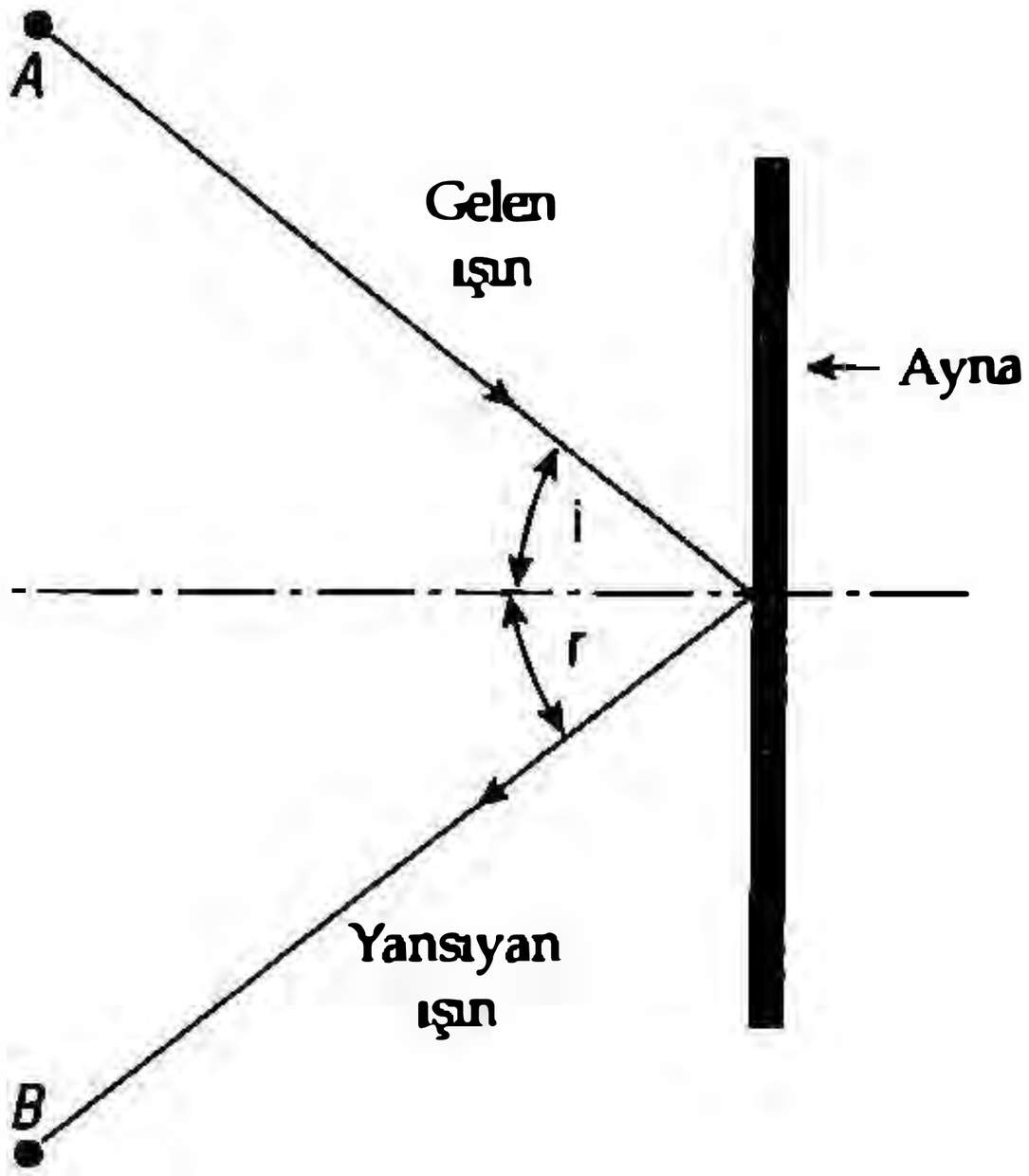
Günümüzün bilimi bir taraftan yaşamın, diğer taraftan da yerkürenin ve Evrenin sırlarını çözmeye çalışıyor.

21. yüzyılın bilimleri biyoloji, çevrebilim, yerbilimleri ve astronomi olacak.

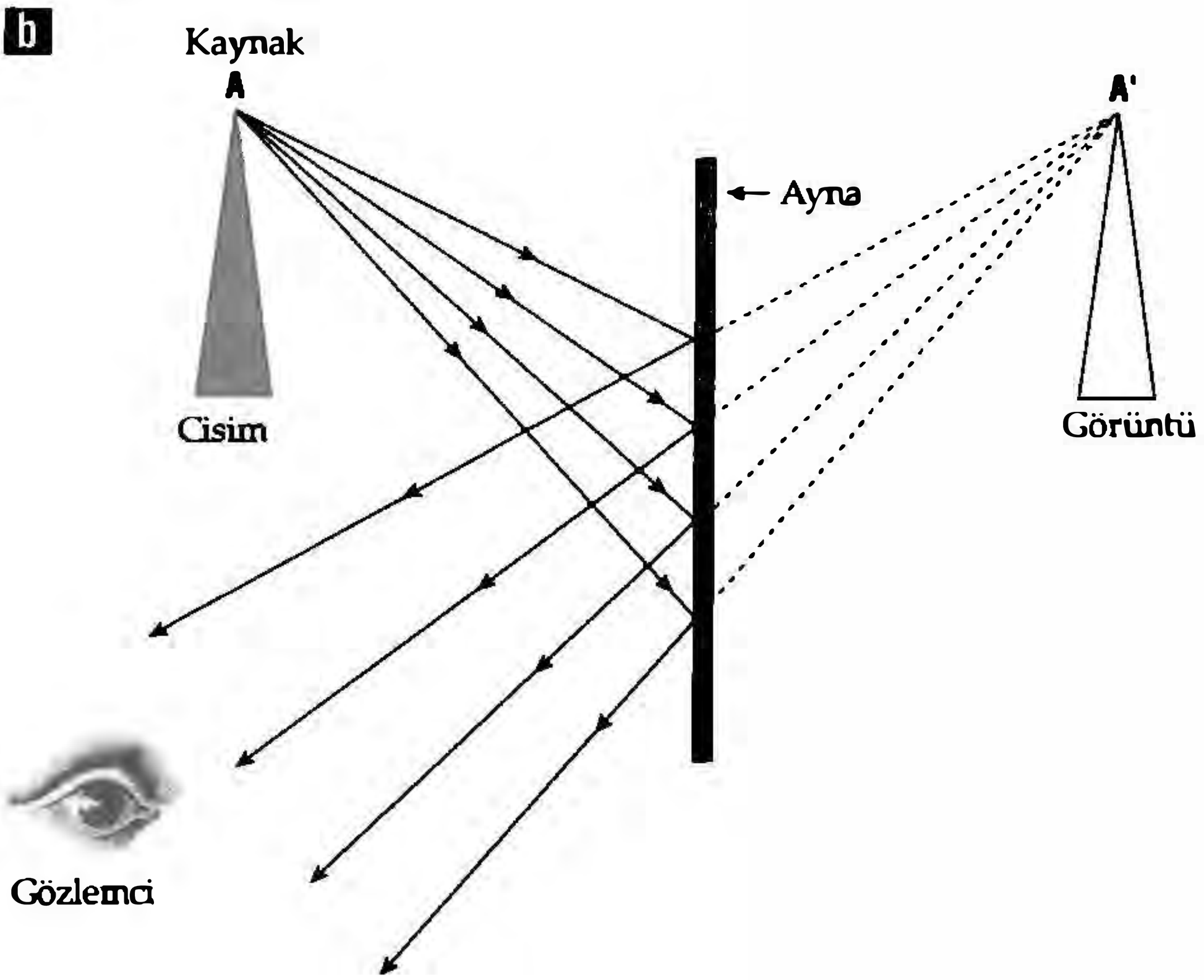
Bu karmaşık sistemleri anlamak için elimizde birçok teknik ve düşünsel araç var, en başta da fizikten ve kimyadan çıkardıklarımız. Ama henüz her şeyi anlamaktan uzağız... Bilimin serüveni sürüyor. Bu da başka bir kitabın konusu olacak... herkes için yazılmış bir kitabın... belki...

Ekler

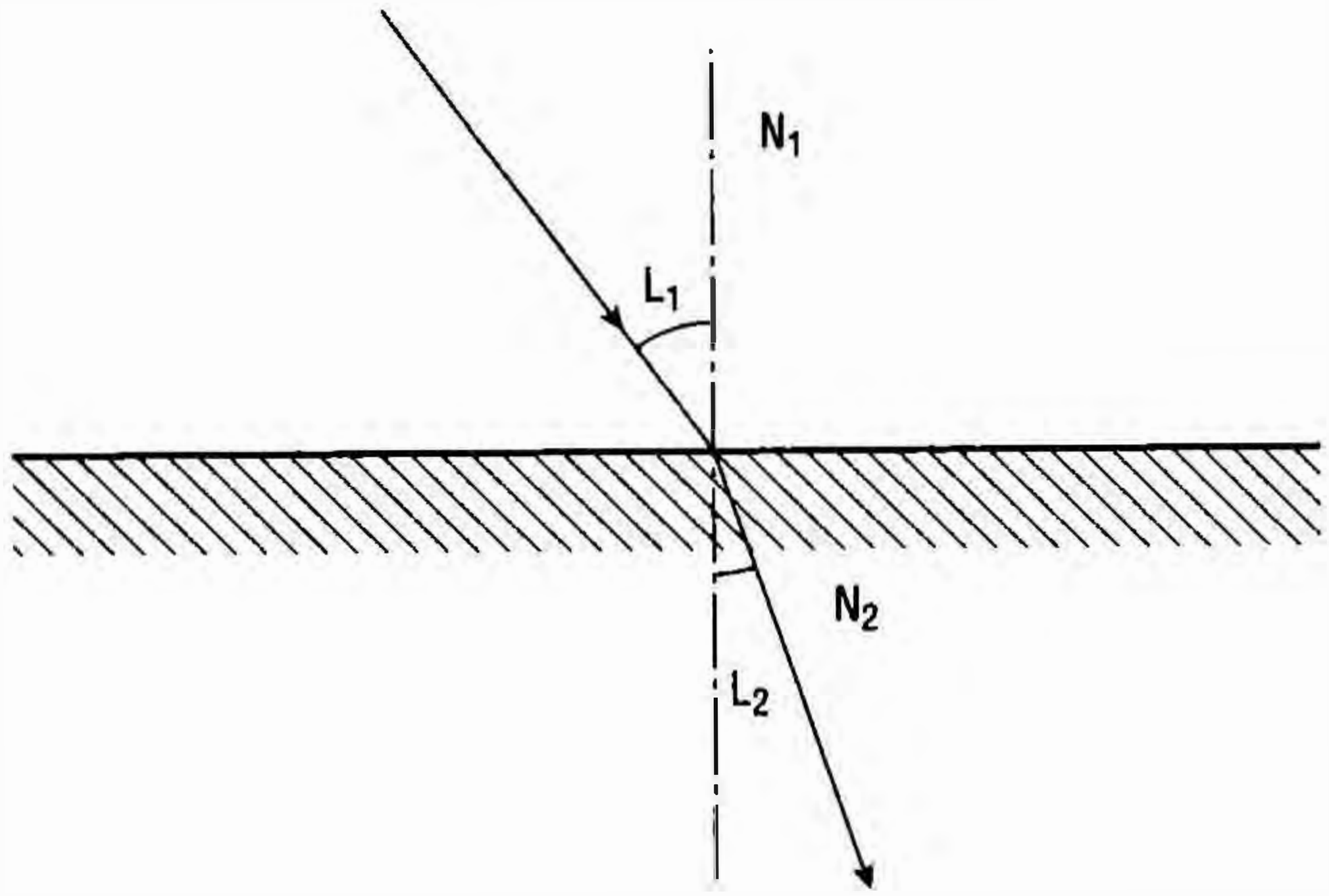
a



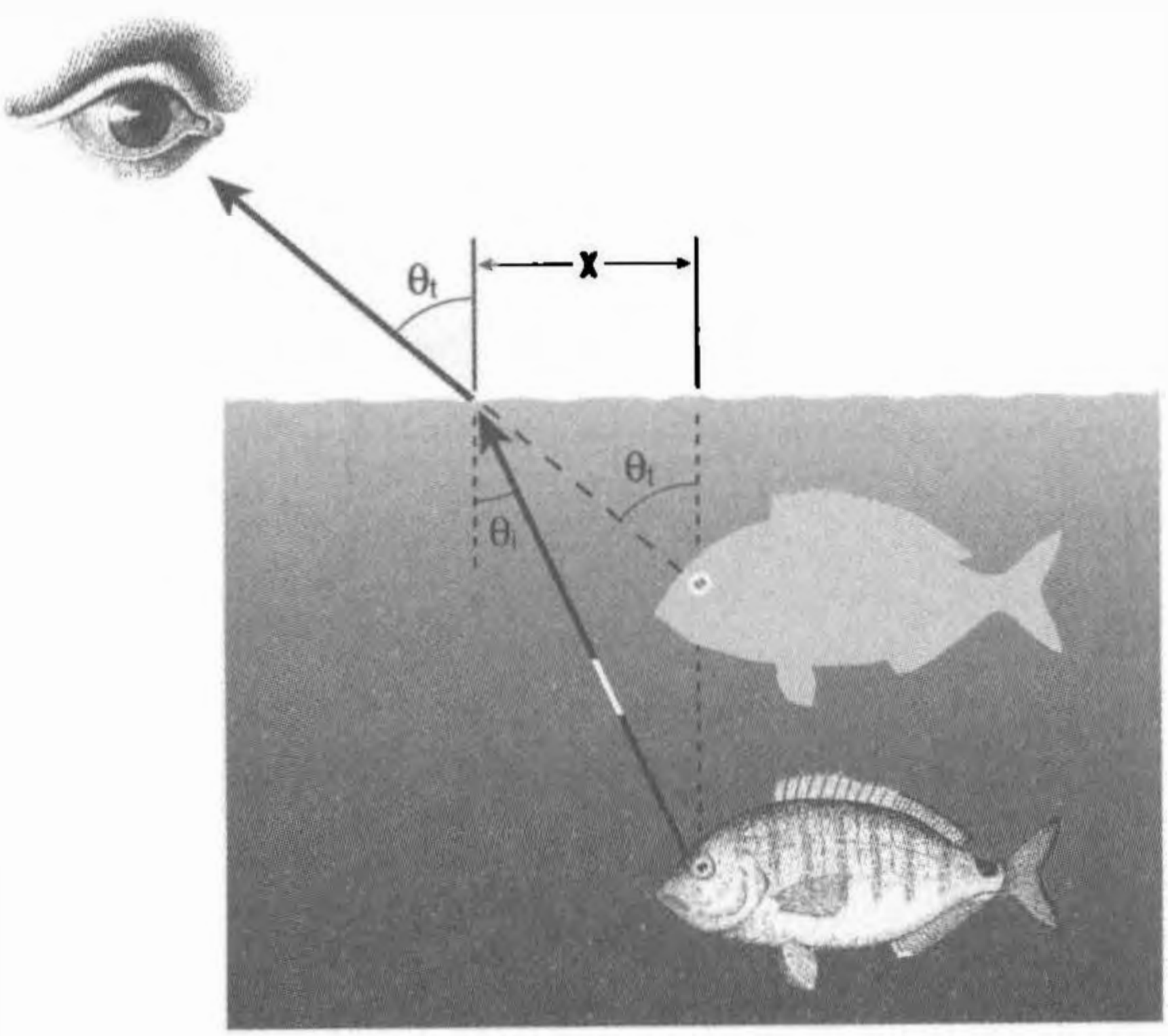
b



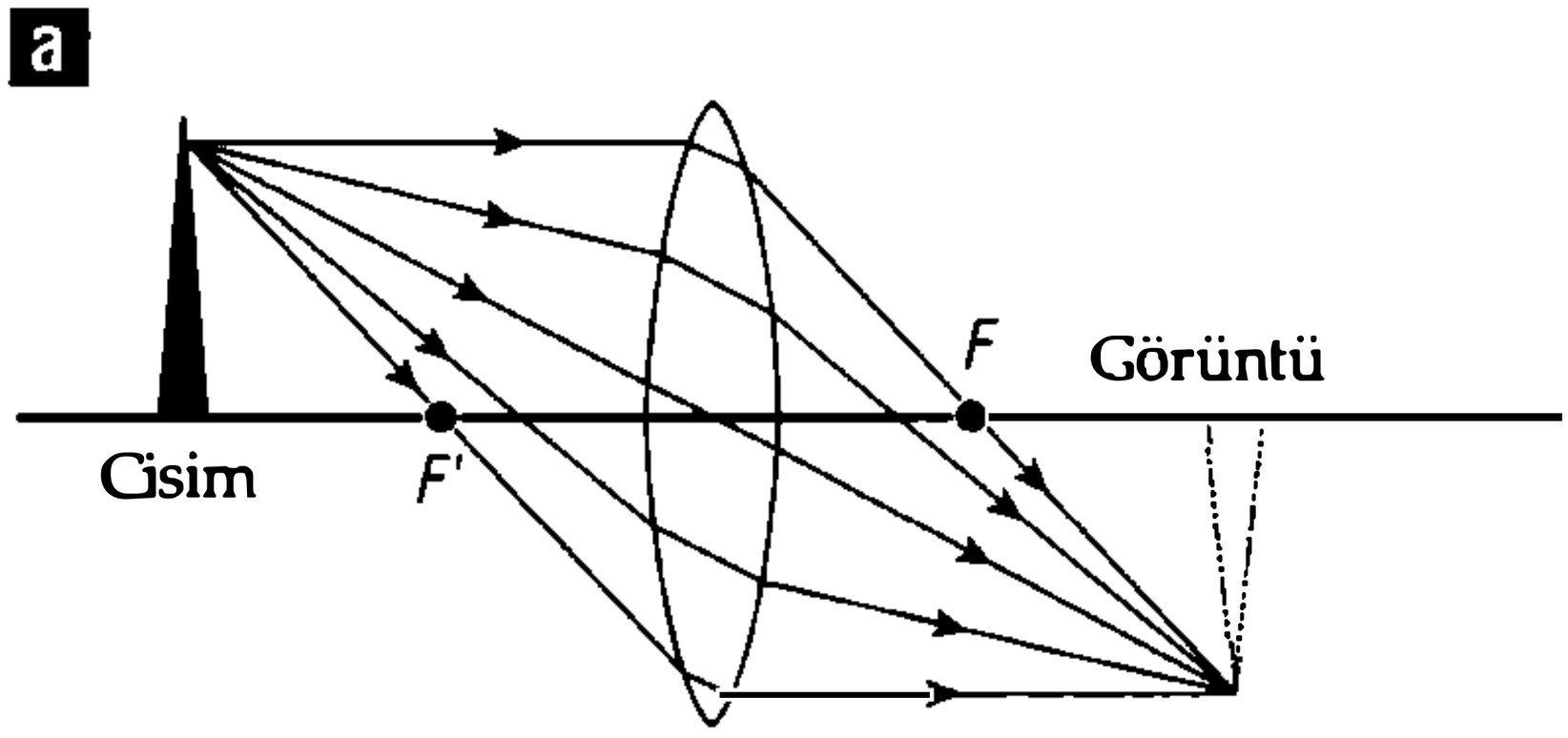
Şekil 1 a/b
a) Işığın bir aynada yansıması.
Geliş açısı = yansıma açısı
b) Aynada görüntünün oluşması.

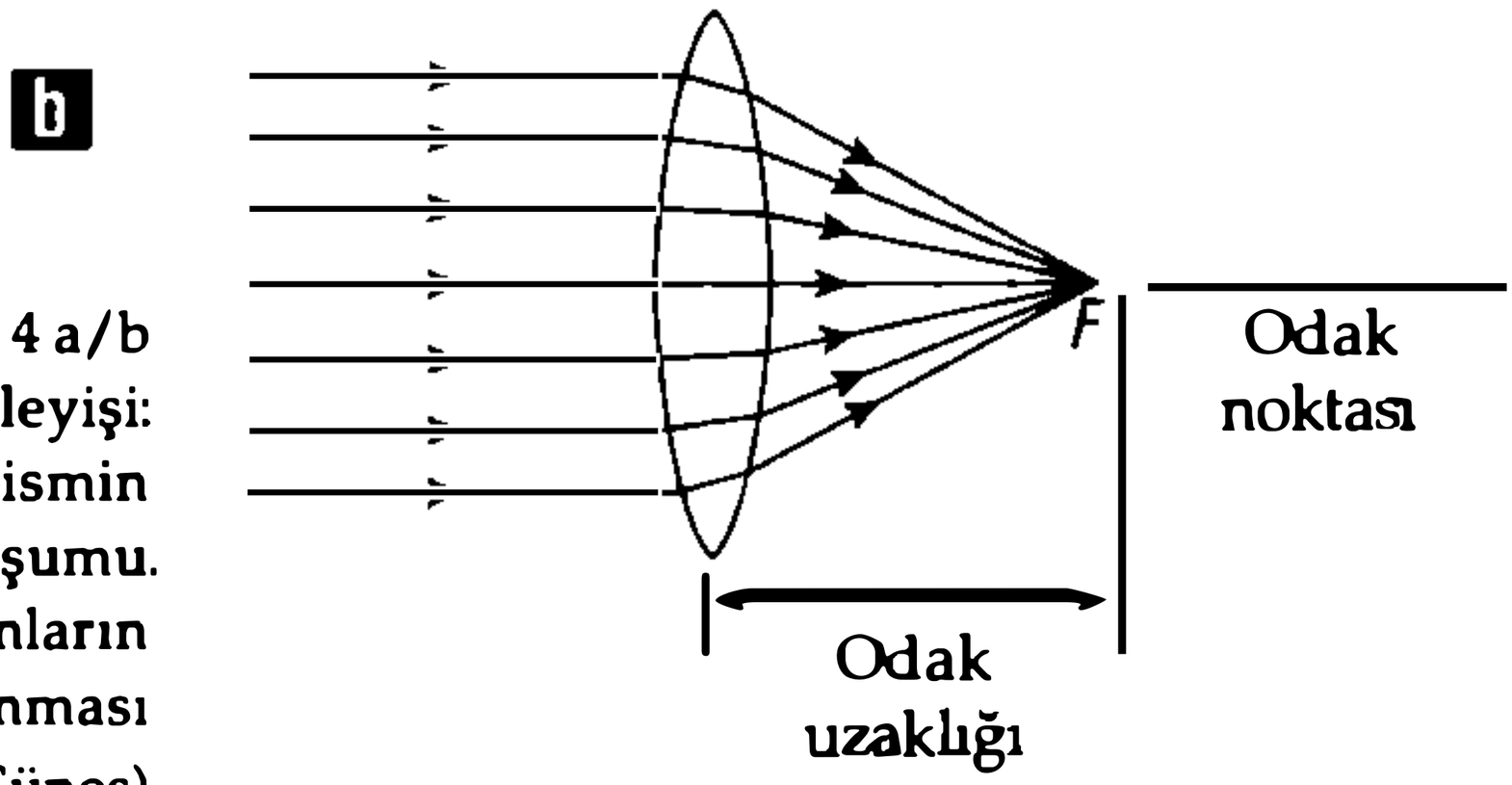


Şekil 2
Bir ışık ışınının iki saydam ortamın ayırıcısından geçerken kırınımı.
Kırılma açısı, geliş açısından farklıdır.

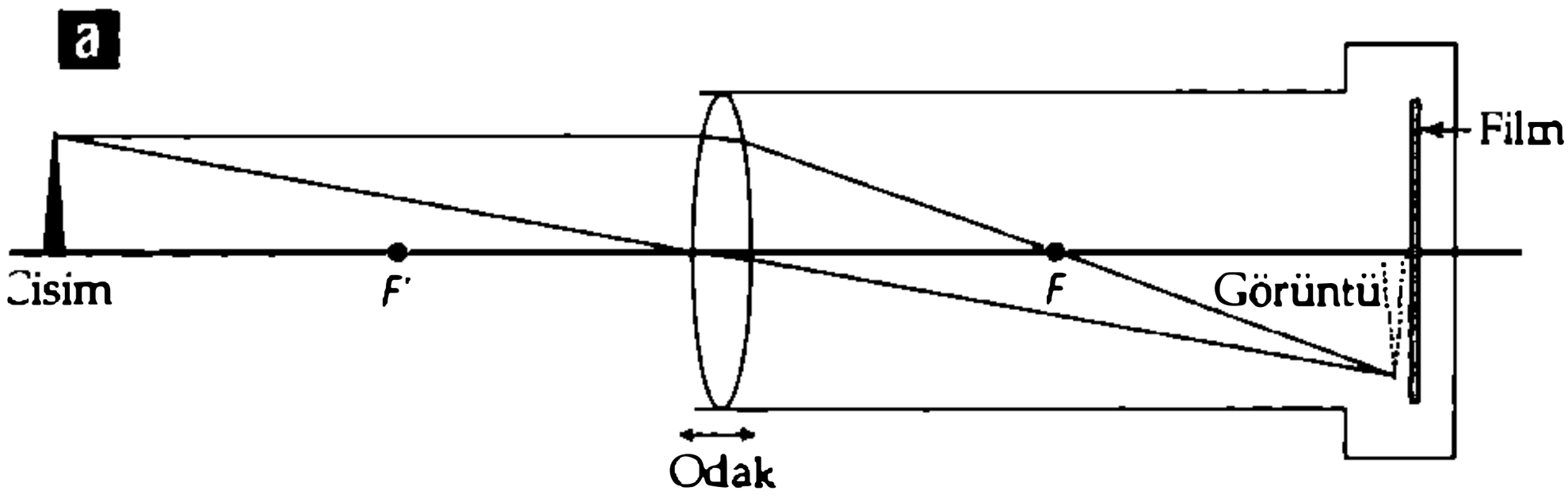


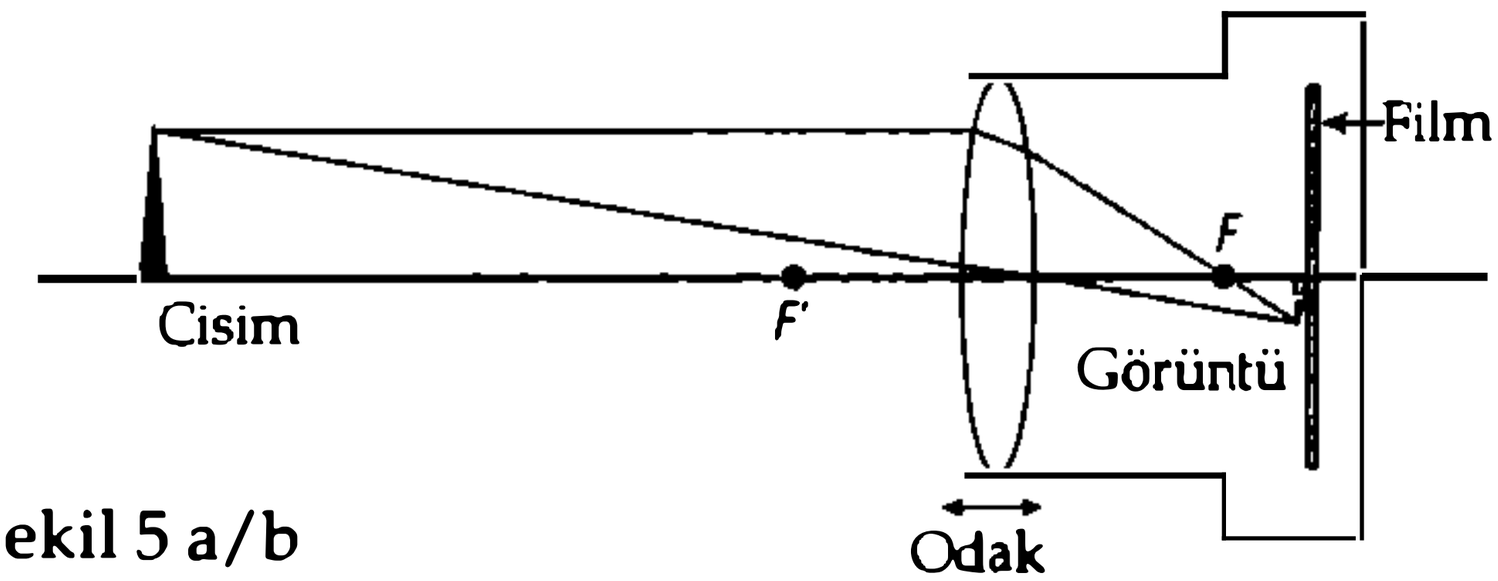
Şekil 3
Önceki ilkelerin uygulamadaki bir örneği olarak, bir
balığı suda nasıl gördüğümüze bakalım.
Balığı yüzeye gerçekte olduğundan daha yakınmış gibi görürüz.



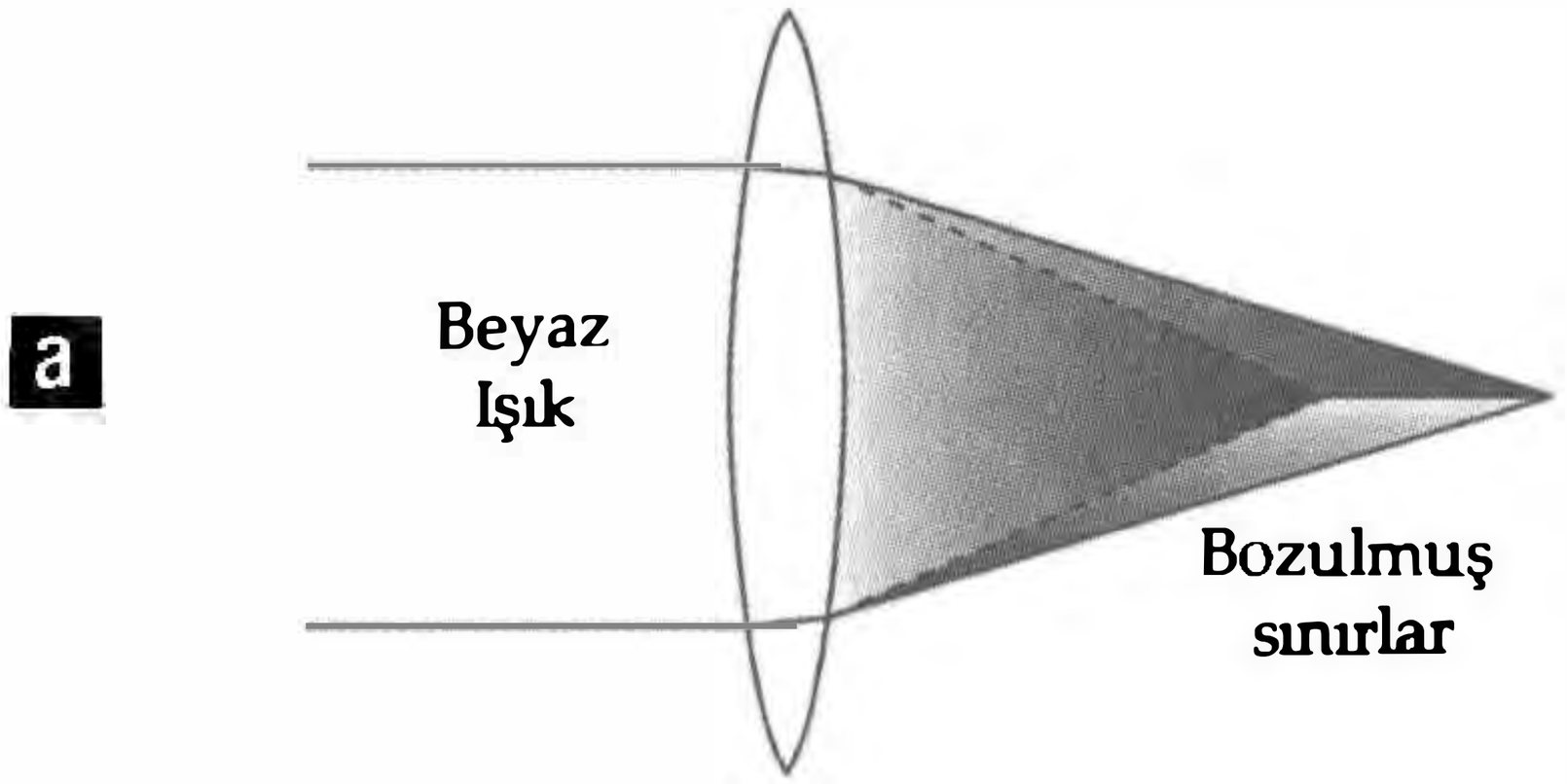


Şekil 4 a/b
Yakınsak merceklerin işleyişi:
a) yakındaki bir cismin görüntüsünün oluşumu.
b) Uzaktaki ışınların odaklanması (Güneş).





Şekil 5 a/b
Fotoğraf makinesi:
a) Büyük bir odak uzaklığıyla
b) Küçük bir odak uzaklığıyla.



Şekil 6
Bir mercekte renklerden dolayı oluşan yanardönerliğin düzeltilmesi:
a) Düzeltme olmadan,
b) Iraksak bir merceğe yakınsak bir mercek eklenerek.

Etel Adnan
Sitt Marie-Rose
Giorgio Agamben
Açıklık-İnsan ve Hayvan
Sabahattin Ali
Hep Genç Kalacağım
Kamyon - Seçme Şiirler
Şavkar Altınel
Tepedeki Yabancı
Philippe Aries ve Georges Dubby
Özel Hayatın Tarihi 4
Pierre Assoulline
Rosebud Biyografi Parçacıkları
Kate Atkinson
Suç Dosyaları
Ünal Aytür
Henry James ve Roman Sanatı
David Baldacci
Koleksiyoncular
Selçuk Baran
Bütün Öyküler
Roland Barthes
Bir Deneme Bir Ders: Eiffel Kulesi ve
Açılış Dersi
Bahadır Baruter
Ruhaltı
Ufuk Batum
Anadolu'da İz Sürmek
Andrey Belıy
Gümüş Güvercin
Vüs'at O. Bener
Havva
İlhan Berk
Bir Yeryüzü Tanığı
Semiha Berksoy
Nâzım Hikmet ve "Tosca"sı
Ernst Breisach
Tarihyazımı
Daniel Bourdon
Sıradan Bir Ölümlü
Ian Buruma ve Avishai Margalit
Garbiyatçılık - Düşmanların Gözünde Batı
Michel Butor
Sıra Dışı Öykü
Italo Calvino
Klasikleri Niçin Okumalı?
San Giovanni Yolu
Kum Koleksiyonu
Yeni Bir Sayfa
Dere Tepe Ters
İkiye Bölünen Vikont
Ağaca Tüneyen Baron
Varolmayan Şövalye
Edip Cansever
Şiiri Şiirle Ölçmek
Öncesi de Kalır
Hélène Cixous
Rüya Dedim Sana
Alain Corbin, Jean-Jacques Courtine, Georges Vigarello (haz.)
Bedenin Tarihi -1 / Rönesans'tan Aydınlanma'ya
Le Corbusier
Atina Anlaşması
Julio Cortázar
Son Raunt
Levent Çalıkoğlu (haz.)
Çağdaş Sanat Konuşmaları 3
Ayşegül Çelik
Şehper, Dehlizdeki Kuş
Fazıl Hüsnü Dağlarca
İçeri Sait Faik
Arka Üstü
Bütün Şiirleri 1 (delta)
Dağ Uykusu
Orhan Duru
Küp
Tuncer Erdem
İstanbul Zamanın Suya İzi
B. Nihan Eren
Yavaş
Mehmet Erte
Bakışın Kirlettiği Ayna
İsmail Ertürk
Perdeli Düşünceler
Max Frisch
Günlükler 1946-1949
Günlükler 1966-1971
Jean-Louis Fournier
Asla Kimseyi Öldürmedi Benim Babam
Nereye Gidiyoruz Baba?
Füruzan
Yaz Geldi-Seçme Öyküler
John Lewis Gaddis
Soğuk Savaş - Pazarlıklar, Casuslar,
Yalanlar, Gerçek
Kaya Genç
Macera

Thomas Glavinic
Kameralı Katil
John Gray
Saman Köpekler
Timothy E. Gregory
Bizans Tarihi
Kobakızade İsmail Hakkı
Bir Mübadilin Hatıraları
Selahattin Hilav
Entelektüeller ve Eylem
Felsefe El Kitabı
Abdülhak Şinasi Hisar
Kitaplar ve Muharrirler-1
Kitaplar ve Muharrirler-2
Mary Işın
Gülbeşeker - Türk Tatlıları Tarihi
Robert Irwin
Oryantalistler ve Düşmanları
Rabin Jahnbegloo
Isaiah Berlin'le Konuşmalar
Tony Judt
Savaş Sonrası
Kâzım Karabekir
İttihat ve Terakki Cemiyeti 1896-1909
Gül Karabuda
Çiy Düştü Gül Üşüdü
Feyyaz Kayacan
Çocuktaki Bahçe
Uğur Kökden
12 Mart Günleri (1971-1974)
Karşı-Günlük
Hasan Kuruyazıcı (haz.)
Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Bir Mimar:
Arif Hikmet Koyunoğlu
Amin Maalouf
Çivisi Çıkmış Dünya-
Uygarlıklarımız Tükendiğinde
Cyril Mango
Bizans Yeni Roma İmparatorluğu
Alberto Manguel
Geceleyin Kütüphane
Jon McGregor
Başlamanın Binbir Yolu
Martin O'Brien
Jacquot , Melek ve Katil
Filiz Özdem
Düş Hırkası
Mahir Öztaş
Koparıldığımız Topraklar

Cesare Pavese
Şiirler
Catherine Pinguet
İstanbul'un Köpekleri
Paul Ricoeur
Çeviri Üzerine
Oktay Rifat
Bay Lear
Bir Aşka Vuran Güneş
Yağmur Sıkıntısı - Toplu Oyunlar
Şiir Konuşması
Serdar Rifat
Kitapların Şenlik Ateşi
Rainer Maria Rilke
Dua Saatleri Kitabı
Michel Rocard
Avrupa Birliği Yolunda Türkiye'ye Evet
Luan Starova
Kül Kalesi (Siciller)
Önay Sözer
Sonradan Yaşamak
Kâmuran Şipal
Gece Lambalarının Işığında-Toplu Öyküler
Faruk Şüyün
Füruzan Diye Bir Öykü
Safet Tanman
Ilgaz Dağları'ndan Batnas Tepeleri'ne
Menekşe Toprak
Hangi Dildedir Aşk
David Trend
Medyada Şiddet Efsanesi
Güven Turan
Zemberek
Orçun Türkay
Zavallı
Derin Türkömer
Avcı Prenses - Zeyneb Halim ile Sohbetler
Tomris Uyar
Metal Yorgunluğu-Seçme Öyküler
Turgut Uyar
Korkulu Ustalık
Kennet White
Mavi Yol
Murat Yalçın
Kesik Hava
Eyüp Yaşar
Eşyanın Tabiatı
Marguerite Yourcenar
Rüya ve Kader

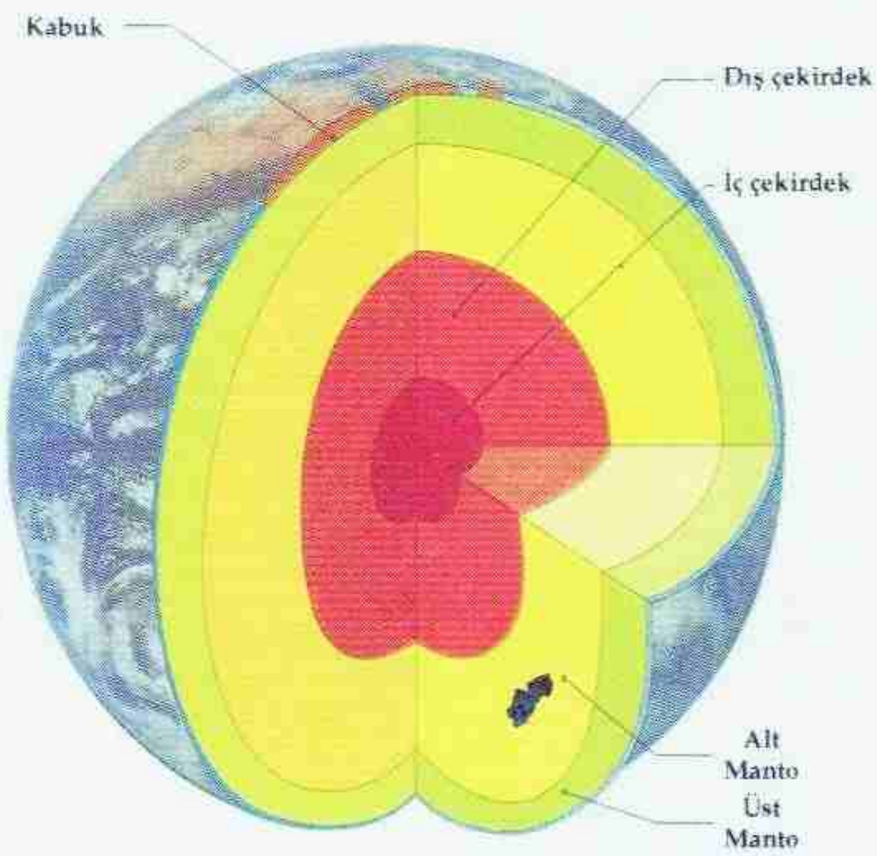
"Bu kitabın amacı, bilimin büyük kazanımlarını, en zor olanlarını bile herkes için erişilir kılmaktır. Teknik bir yapıt ya da bir ders kitabı değil, 21. yüzyılın sıradan insanına yönelik bir genel kültür kitabıdır bu.

Temel buluşların ve bilimsel düşüncenin ilerlemesinin özünü iyi anlatabilmek amacıyla, matematik diline alerjisi olanları yıldırmamak için, bu dile her türlü başvurudan kaçındım. Aksine, bilimin büyük serüveninin tarihsel, insansal, yaşayan yönüne öncelik verdim, ama bilimin özniteliğinden ve kesinliğinden ödün vermedim.

Bu işte en büyük amacım, bilimi herkese, bilimle uğraşmayanlara bile sevdirmeyi başarmaktır. Biz bilim adamlarının bilim yaparken aldığımız olağanüstü zihinsel hazzı kimileriyle paylaşmayı bile umuyorum. Bunu az da olsa başarırsam, benim için çok büyük bir ödül olacaktır."

http://www.iha.com.tr/haber/index.aspx

Claude Allègre



ISBN 978-975-08-1662-8
9 789750 816628
23 TL