

Keyifli Okumalar Dileriz

Binlerce kategoride milyonlarca PDF e-kitap, ders kitapları, dergiler ve romanlara platformumuz üzerinden ücretsiz ulaşabilirsiniz.

RESMİ WEB SİTEMİZ

<https://rantey.org>

Yedek ve Duyuru Kanallarımız

Sitemize erişim engeli gelmesi veya adres değişikliği durumunda aşağıdaki kanallardan güncel giriş adresine erişebilirsiniz:

- Telegram: <https://t.me/birkitapbir>
- WhatsApp Kanalımız : <https://whatsapp.com/channel/0029VbDHv8uE50Us4lvMoc0Y>

James Kakalios



Olağan Bir Günün Ardındaki
Olağanüstü Bilim

Paloma

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

3.
BASKI

James Kakalios



James Kakalios, 1988'den beri ders verdiği Minnesota Üniversitesi'nde Fizik ve Astronomi Bölümü'nde Ordinaryüs Profesör'dür. Deneysel katı hâl fiziği alanında yaptığı araştırma projeleri nano'dan nöro'ya uzanır. 2001 yılında Minnesota Üniversitesi'nde birinci sınıf öğrencileri için "Bilim Hakkında Bildiđim Her Şeyi Çizgi Romanlar Okuyarak Öğrendim" başlıklı seminerler düzenlemeye başladı. Mayıs 2002'de ilk Örümcek Adam filmi gösterime girdiğinde, medyanın seminerlerine gösterdiği ilgi *The Physics of Superheroes* kitabını yazması için ilham verdi. Warner Bros için *Watchmen* filminin bilim danışmanlığını yaptı. Şubat 2009'da Minnesota Üniversitesi'nin Youtube sayfası için *The Science of Watchmen* isimli bir film çekti; film 1,6 milyondan fazla görüntülendi ve Eylül 2009'da bölgesel Emmy Ödülü'nü kazandı, 2010'da da Webby Ödülü için aday gösterildi. Yayınlanan bir diğer kitabı *The Amazing Story of Quantum Physics*'tir.

Popüler Bilim Dizisi 13

Gündelik Hayatta Fizik - Olağan Bir Günün Ardındaki Olağanüstü
Bilim

James Kakalios

© Paloma Yayınevi, 2017

Yayın hakları Paloma Yayınevi'ne aittir. Kitabın hiçbir bölümü, herhangi
bir biçimde, yayınevinin izni olmadan çoğaltılamaz.

Orijinal adı: The Physics of Everyday Things

Copyright © 2017 James Kakalios

1. - 2. Baskı / Ağustos 2018 - Kasım 2018

3. Baskı / Ekim 2021

ISBN: 978-605-9200-42-4

İngilizceden çeviren: Nilgün Güngör

Yayına hazırlayan: Banu Erol

Düzeltili: Mutlu Hacıoğlu

Kapak ve iç tasarım: Dilek Şişli

Baskı: Doğam Ambalaj Kağıtçılık Matbaa ve Matbaa Malz. A.Ş.

Maltepe Mah. Litros Yolu, Fatih San. Sit. No: 12-166-167 D: 168-169

Zeytinburnu-İstanbul. Matbaa sertifika no: 41366.

Cilt: Gökhan Mücellit, Zeytinburnu, İstanbul.

Bu kitabın telif hakları AnatoliaLit Telif Ajansı aracılığıyla alınmıştır.

Paloma Yayınevi—Paloma Medya Hizmetleri San. ve Tic. Ltd. Şti.

Yayıncılık sertifika no: 46593

Hocapaşa Mah. Ankara Cad. No: 28 Ankara İşhanı Kat: 2

Büro: 14-15 Cağaloğlu / İstanbul • 0 (212) 514 27 20

info@palomayayinevi.com • www.palomayayinevi.com

Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

James Kakalios

GÜNDELİK HAYATTA FİZİK

Olağan Bir Günüñ Ardındaki
Olağanüstü Bilim

Çeviren: Nilgün Güngör

3. BASKI



*Geoff ve Camille Nash
ve Augusta Peterson'a
her günün olağanüstü olabileceğini
bana gösterdikleri için*

İÇİNDEKİLER

BİRİNCİ BÖLÜM	
Gün Başlıyor	9
İKİNCİ BÖLÜM	
Şehre Giderken	33
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
Doktorda	57
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
Havaalanında	83
BEŞİNCİ BÖLÜM	
Uçakta	105
ALTINCI BÖLÜM	
Sunum Yaparken	127
YEDİNCİ BÖLÜM	
Otelde	157
<i>Teşekkürler</i>	183
<i>Şekil Altyazıları</i>	185
<i>Dizin</i>	189

BİRİNCİ BÖLÜM

Gün Başlıyor

*Sabah erken, yatakta uyuyorsunuz. Siz hafif, düzenli bir şekilde nefes alırken ve nabzınız muntazam atarken zaman geçiyor, kalkıp güne başlama saatiniz yaklaşıyor. Bugün yoğun bir gün olacak, önce doktor randevunuz var, ardından da iş için sunum yapmak üzere uçakla farklı bir şehre gideceksiniz. Büyükkannenizin hediyesi klasik sarkaçlı duvar saatinin küçük topu ritmik bir tarzda ileri geri sallanırken tiktaklarıyla sizi rahatlatıyor. Saat her zaman doğru gösterse de uyanmak için akıllı telefonunuzun alarmını esas alıyorsunuz. Fakat günün ilk duyusu saatin sesini işitmeniz değil, koku alma hissiniz olacak. Dün gece kahve makinenizin **dijital zamanlayıcısını** kaynamaya başlaması için saatinizin alarmından on dakika önceye kurmuştunuz. Odanız biraz sonra taze kahvenin aromasıyla doluyor ve siz de uyanmaya başlıyorsunuz.*

Salınan sarkacın estetik açıdan da mükemmel fiziği, hem duvar saatinizin hem de kahve makinenizin elektronik zamanlayıcısının

çalışmasının temelini oluşturuyor ve güne hazırlanırken kullanacağınız aletlerin çoğunda önemli bir rol oynuyor.

Sarkaç zamanı doğru göstermeye yarar.¹ Bir ucu sabit olup diğer ucuna bağlı “çekül” denilen bir kütleden oluşur. Çekülün salınımları, fizikteki en önemli kavramlardan biri olan Enerjinin Korunumu İlkesi’nin görsel kanıtını sunar bize. Kinetik Enerji, hareket enerjisi, yalnızca Potansiyel Enerji’ye (bir nesne üzerinde uygulanan kuvvetle ve o kuvvetin harekete sebep olabileceği mesafeyle bağlantılı enerjisi) ve Potansiyel Enerji de yalnızca Kinetik Enerji’ye çevrilebilir. Sarkaçta, telin ucundaki kütle yukarı kaldırılarak potansiyel enerjisi artırılırken, çekülü aşağı çeken yerçekimine karşı koyulur. Ağırlık serbest kalır kalmaz, kütlenin yarım daire şeklinde bir yay çizmesiyle potansiyel enerjisi kinetik enerjiye çevrilir. En yüksekte olduğu noktada, kinetik enerji yeniden potansiyel enerjiye dönüşür; kütleyi serbest bıraktığınızda itmezseniz asla başladığı noktadan daha yükseğe çıkamaz.

Çekülün ileri geri salınırken tam bir devir yapması için geçen süre ne ağırlığına ne de kütlenin salınmaya başlaması için ne kadar yukarı kaldırıldığına bağlıdır. Kütle ne kadar yukarı kaldırılırsa ileri geri salınırken çizdiği yay da o kadar geniş ve yayın en altındaki kinetik enerjisi ve hızı da o kadar fazla olur. Mesafenin uzunluğu ve hızın fazlalığı birbirini tam olarak dengeler, öyle ki çekül ne kadar yukarı kaldırılırsa kaldırılsın bir devir yapmak için gereken süre aynı kalır. Bir devrin süresini belirleyen tek etmen, ipin uzunludur (en azından nispeten daha kısa ileri geri salınımlar için). İpi 25 cm’den çok az kısa olan sarkacın tam bir salınımı tamamlaması bir saniye sürecektir. Salınırken de çekülün kinetik enerjisinin bir

1 Paul A. Tipler ve Gene Mosca, *Physics for Scientists and Engineers*, 6. baskı. W. H. Freeman, 2007, s. 465-474. Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

bölümü etraftaki havaya karışıp molekülleri onun yolundan uzaklaştırır. Dikkatli bir izleyici havanın kinetik enerjisindeki artışın sarkacın toplam enerjisindeki azalmaya tamı tamına eşit olduğunu görecektir ki mekanik saatlerin (büyük sarkaçlı saatler ve diğerleri) periyodik olarak kurulması da bundan dolayı gereklidir.

Bu durum, mekanik sarkaç için olduğu kadar kahve makinesinin zamanlayıcısı için de geçerlidir. Zamanın geçişini göstermek için bir güç kaynağına (her şey gibi saniyeleri saymak için bile bir enerji kaynağı gerekir) ve o enerjiyi periyodik olarak değişen bir devreye aktarmak için bir yöntem ihtiyacı vardır. Kahve makinesinin takılı olduğu priz dış elektrik şebekesine bağlıdır. Elektrik santralinde elektrik enerjisinin üretilmesini sağlayan mekanizma, tam da işimize yarayacak tarzda, zamanlayıcıyı kurarken otomatik olarak sarkaç gibi ileri geri salınan bir elektrik akımının oluşmasına yol açar.

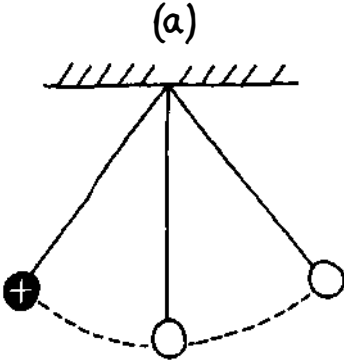
Elektrik dağıtım şirketiniz kablo bobinlerini büyük mıknatısların kutupları arasında döndürür¹ ve biz de bunun nasıl alternatif elektrik akımına yol açtığını anlamak için basit mekanik salınımlı sarkaca dönelim. İpin ucundaki çekülün kütlenin üzerinde bulunan birkaç fazladan elektrondan kaynaklanan bir elektrik yüküne sahip olduğunu varsayalım. Bu sarkacın sürtünmesiz bir pivot noktası bulunsa ve mükemmel bir vakum içinde hiç hava direnci olmadan salınıyor olsa bile sonunda yavaşlayacak ve duracaktır. Çekülün enerjisi nereye gitti? Elektromanyetik dalgalara gitti ve bu da elektrik alanları ile manyetik alanlar arasında gün boyu tekrar tekrar kullanacağınız derin bir simetri olduğunu gösteriyor.

“Elektrik akımı” elektrik yüklerinin hareketi olarak tanımlanır ve elektrik yüklü çekül, ileri geri salındığından sürekli de-

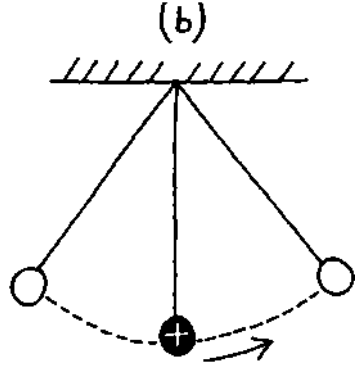
1 Roger A. Hinrichs ve Merlin Kleinbach, *Energy: Its Use and the Environment*, 3. baskı. Brooks/Cole, 2002, s. 358-367. Arsivi - <https://rantey.org>

ğişen akımdır. Çekül en hızlı hareket ettiği zaman, yani yayın en altındayken akım fazladır ve çekülün bir an için sabit olduğu yayın tepesinde ise akım sıfırdır. Hareket eden elektrik yükleri, akımda olduğu gibi bir manyetik alan oluştururlar (buna Amper Yasası denir); ne kadar hızlı hareket ederlerse manyetik alan da o kadar büyük olur. Salınan çekül, sürekli değişen bir akım yaratarak aynı derecede uyumlu bir şekilde değişen bir manyetik alan oluşturur. Değişen bu manyetik alan da değişen bir elektrik alanı yaratır (Faraday Yasası olarak bilinir). Elektrik alanlarının ve manyetik alanların bu ritmik salınımına “elektromanyetik dalga” adı verilir ki onun frekansı salınan çekülünkiyle aynı olacaktır. Bu dalgalar enerji taşırlar ve dolayısıyla onları yaratmak için de enerji gerekir. Elektrik yüklü çekülün hareket enerjisi elektromanyetik dalgalara dönüşürken salınımlarının yavaş yavaş sönümlenmesinin sebebi budur. Eğer sarkaç ileri geri çok hızlı sallansaydı (diyelim ki saniyede bir trilyon defa) bu elektromanyetik dalgaları çıplak gözle görebilecektik çünkü bu durumda dalgalar görünür ışık olarak belirecekti.

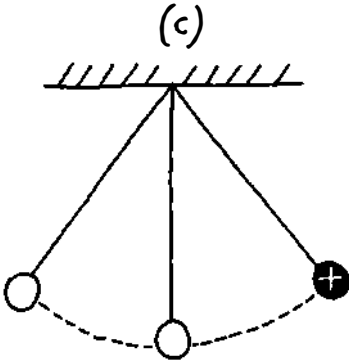
Elektrik dağıtım şirketiniz duvardaki prizden gelen elektrik voltajını üretirken bir mıknatısın kutupları arasında dönen tel bobinlerini kullanarak bu salınımların fizikinden yararlanır. Sağladığı gerilim düzenli olarak pozitif gerilimden negatif gerilime ve negatiften pozitive dönüşürken ileri geri salınan çekülün konumundaki değişimle matematiksel olarak aynı olan bir dalga oluşturur ve bu da elektriğin üretilme tarzının doğal bir sonucudur (Elektrik enerjimize Alternatif Akım anlamında A.C. (Alternating Current) denmesinin sebebi budur.) Elektrik santrali, değişen bir manyetik alanın bir elektrik akımının akmasına nasıl yol açacağını tanımlayan Faraday Yasası’nı uygulamaktadır. Bobin dönerken, bobinin dairesel alanından geçen manyetik alanın büyüklüğü değişir ve



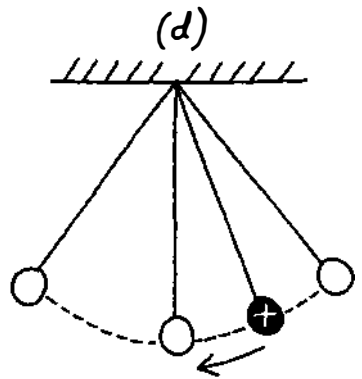
Kinetik Enerji Yok
Büyük Potansiyel Enerji
Akım Yok



Büyük Kinetik Enerji
Potansiyel Enerji Yok
Büyük Akım



Kinetik Enerji Yok
Büyük Potansiyel Enerji
Akım Yok



Biraz Kinetik Enerji
Biraz Potansiyel Enerji
Değişen Akım

ŞEKİL I

bobinin içinde bir akım oluşur.¹ Bobinin alanı mıknatısın kutuplarıyla karşı karşıya geldiğinde manyetik alanın büyük bölümü onun içinden zorlayarak ilerler fakat doksan derece döndüğünde alanın neredeyse hiçbir kısmı bobinin alanının içinden geçmez. Muntazam bir dönüş hızının çıktısı, çekülün hareketi gibi, zaman içinde ileri geri değişim gösterip düzenli bir tarzda değişen bir elektrik akımıdır. Amerika Birleşik Devletleri'nde bobinler saniyede altmış defa döner, dolayısıyla üretilen alternatif voltajın frekansı da saniyede altmıştır.

Duvar prizindeki voltaj ileri geri saniyede altmış defa değişir, bu demek oluyor ki bir devri tamamlaması yalnızca 0,0167 saniye sürer. Bu süreyi kısaltmak için, kahve makinesinin zamanlayıcısında, telsizlerdeki frekans kaydırma cihazlarını taklit eden özel olarak tasarlanmış çipler² kullanılır.³ Bir çip gelen frekansını ona böler ve böylece saniyede altmış kez salınan bir voltaj dalgası bundan sonra saniyede altı kez salınır. Bir başka çip bu frekansı tekrar altıya böler ve saniyede altı olan frekans saniyede bire düşer. Daha düşük olan bu voltaj dalgası, voltajın kaç kere en yüksek pozitif değerini aldığını sayan (bu çekülün ilk başladığı konuma hangi sıklıkla döndüğünü izlemekle eşdeğerdir) başka bir çipe gönderilir. Bu “sayma” çipi geçen saniyeleri gözlemler ve bu bilgi küçük bir devre sistemi ile dijital bir saatte gösterilebilir. Kahve makinenizin

1 Bobini döndürmek için yüksek basınçlı buhar kullanılır ve buhar kömürün ya da doğal gazın veya biyomaddenin yanması ya da nükleer reaksiyonların enerjisi aracılığıyla üretilir. Hangi yakıtı kullanırlarsa kullansınlar, bütün elektrik santralleri elektrik üretmek için aynı fizik prensibinden faydalanırlar.

2 Paul Horowitz ve Winfield Hill, *The Art of Electronics*, 2. baskı. Cambridge University Press, 1989, s. 885-86.

3 Bu çipler birinci sinyale ikinci bir frekans ekleyerek vuruşlar üretirler (bu sürece “heterodinleme” denir). Bunun sonucunda biri ikisinin toplamı olan daha yüksek bir frekansta, diğeri de aralarındaki farka tekabül eden daha düşük frekansta iki salınım oluşur. Düşük frekans, bir filmi kullanırsanız kolayca algılayabilir.

zamanlayıcısını kurduğunuzda bir çipi bu sayma çipini gözlemeye ve toplam belirli bir değere eriştiği zaman (kahve makinesini çalışmaya başlaması için ayarladığınız saat) elektronik sistemin bir başka tarafına başka voltaj göndermeye programlamış olursunuz. Bu voltaj, “ON” düğmesine elle bastığınız zaman yaratılanın aynısıdır ve kaynama sürecini başlatır.

Zamanı ölçme sistemi kahve makinesini fişe taktığımızda ve doğru zamanı ayarladığımızda işlemeye başlar. Kahve makinesi fişten çekildiğinde bu önayar kaybolur. O hâlde bir elektronik zamanlayıcı duvardaki prizden gelen harici alternatif akıma bağlı olmadığı zaman nasıl çalışıyor?

Kahve buharının kokusu odanıza yayılıyor ve henüz tam uyanmamış zihninizi onu fark ediyor. Önceki gece kahve makinesinin zamanlayıcısını ayarlamakla kalmamış, akıllı telefonunuzun alarmını da kurmuşsunuz. Alarm, telefonun bellek çipine önceden yüklenmiş melodiyi çalmaya başlıyor. Homurdanarak saate bakıyorsunuz çünkü normalde kalkmanız gerekenden daha erken. Alarmı “ertele” tuşuna almak geliyor içinizden. Fakat kahvenin aromasını içinize çekince yatak odanızın köşesinde duran seyahat çantanızı fark ediyorsunuz. Önünüzde uzun bir gün olduğunu kendinize hatırlatıp zorlanarak yataktan kalkıyorsunuz. Ayağa kalkınca ağırlığınızın sol ayağınızın üzerine gelmesiyle hafifçe irkiliyorsunuz. Bugün şuna bir baktırmak lazım.

Harici bir elektrik güç kaynağına bağlı olmayan bir cihazda zaman tutmak¹ kadim bir mesele; o kadar ki elektrik gücünün var

1 Dominique Flechon, *The Mastery of Time: A History of Timekeeping, from the Sundial to the Wristwatch: Discoveries, Inventions, and Advances in Master Watchmaking*. Flammarion, 2012. Erişilebilir PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

olmasından bile eski¹. Eski tip çalar saatler yaylıydı ve saatin yüzündeki kollardan biri belirli bir noktaya vardığında bir kol kalkıp diğer helezonik yayı serbest bırakırdı. Bu diğer yay da iki metal sac arasındaki vurucu çubuğu titreterek ölüyü bile diriltecek kadar yüksek bir metalik ses çıkarırdı. Akıllı telefonunuzdaki alarm ise daha küçüktür ve uyandırma melodisi de daha az kulak tırmalayıcıdır ama onun işleyiş prensibi de temelde aynıdır.

Akıllı telefonunuz çalar saatteki mekanik yayın yerine piezoelektrik kristal adı verilen bir parça kullanılır. Önce basit yayları, sonra piezoelektrik kristalleri ele alalım.

Yaylardan çok iyi kronometre olur. Yaylar esnetilmeye ya da sıkıştırılmaya direnirler ve uzunluklarındaki değişime karşı koyan bir kuvvetle karşılık verir. Yay ne kadar esnetilir ya da sıkıştırılırsa, karşı koyan kuvvet de o kadar büyük olur. Tavana helezonik bir yay asıp ucuna bir ağırlık bağlayın. Yay esneyince yukarıya doğru bir kuvvet oluşturarak esnemeye karşı koyacak ve ağırlığın kütleçekimine bağlı olarak aşağı doğru çekilmesini dengelenecektir. Ağırlığı biraz daha aşağı çekip bırakırsanız yayın yukarı doğru kuvveti artık kütlenin aşağıya doğru ağırlığından daha büyüktür ve ağırlık yukarı doğru hareket eder ve hızlanıp ilk konumunu geçer. Ağırlık hızla gidip gelirken yayı sıkıştırır ve bobin aşağıya doğru bir kuvvetle karşılık vererek sıkıştırmaya direnir ve ağırlığı başlangıç konumuna doğru geri iter. Ağırlık, sallanan çekülden ve duvardaki prizden gelen alternatif akımdan farksız bir tarzda periyodik olarak yukarı aşağı hareket edecektir. Yayın salınımlarının doğal frekansını (saniyedeki yukarı-aşağı

1 Caddeler ilk olarak 1882'de ışıklandırıldı, Seth Thomas Cook Company küçük bir mekanik çalar saatin patentini 1876'da aldı. Maggie Koerth-Baker, *Before the Lights Go Out: Conquering the Energy Crisis Before It Conquers Us*. John Wiley & Sons, 2012, s. 10Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

devirlerin sayısı) belirleyen, yayın sertliği ve ucunda ne kadar ağırlığın asılı olduğudur.

Yayın esnemeye ya da sıkıştırılmaya direnme kuvvetinin kaynağı, akıllı telefonunuzun içindeki piezoelektrik kristaldekinin aynıdır: Elektrik. Bütün katı cisimlerde atomları bir arada tutan şey elektrik kuvvetleridir ve bu aynı zamanda atomların belirli lokasyonlarda kalmasını sağlar. Katı cisimdeki iki komşu atom birbirine çok yaklaşırsa her bir atomun elektronları arasında itme kuvveti oluşur ve bu da komşu atomları birbirinden uzaklaştırır. Kristaldeki bir atomun basit bir top olduğunu düşünün. Atomu yerinde tutan kimyasal bağları, atomlara bir ucundan bağlı yaylar olarak gösterelim. Bu atomu katı cisimdeki doğal konumundan uzağa iterseniz etrafındaki elektronlar bir taraftaki komşularına çok yaklaşırsa öteki taraftakinden de alabildiğine uzaklaşır. Bunun yarattığı dengesiz kuvvet, atomu denge konumuna geri itecektir. Atom kristalin içindeki doğal konumuna gelene kadar o kuvvet azalacak ama kinetik enerjisi sayesinde geçip gidecek ve artık diğer taraftaki komşu atoma doğru hareket edecektir. Öncelikli konumu etrafında ileri geri salınacak, titreşim genliği katı cismin ısısına, salınımın frekansı atomun kütlesine ve onu katı cismin içinde tutan kimyasal bağların katılığına bağlı olacaktır. Atomlar *bütün* katı cisimlerde, bu kitapta, oturduğunuz sandalyede, hatta bizzat sizde bu şekilde titreşirler.

Dijital kol saati ve akıllı telefonunuz gibi elektronik kronometrelerde, helezonik yaydan çok daha hassas olan özel bir salıngaç, kuvars kristali, kullanılır. Kuvars, kumun kimyasal bileşimi olan silikon diyoksidin (silisyum diyoksit) moleküler birimlerinden oluşan katı bir maddedir. Kuvars kristallerinin ilginç bir özelliği vardır: Katı cisim bir yönden sıkıştırıldığında moleküler birimlerin elektrik yükleri katı cisim boyunca sıralanıp net bir elektrik alanı oluştururlar.

Bu tip bir malzeme piezoelektriktir¹: “*Piezo*” Yunanca “sıkıştırmak veya ezmek” anlamına gelir ve piezoelektrik madde de sıkıştırıldığı zaman voltaj üreten katı bir cisimdir. Bazı malzemelerde ve kristal yapılarında katı cismin iki tarafı birden itildiği zaman bütün atomlar bir yönde eğilip büyük, net bir elektrik alanı oluştururlar.

Bir piezoelektrik kristali zamanlama cihazı olarak kullanmak içinse bu süreci tersten uyguluyoruz. Yani katı cisme bir voltaj uygulayınca kristal tarafları dış bir kuvvet tarafından sıkıştırılmış gibi birbirlerine doğru hareket ederler. Voltaj kapatılınca kristal genişler ve doğal frekansında salınmaya başlar. Bu frekansı belirleyen, kristalin büyüklüğü ve şeklidir ve saniyede birkaç bin devirle yüz milyonlarca devir aralığında olabilir. Kuvars kristali salınırken bu doğal frekansa eşit bir voltaj üretir ve bu voltaj, kristalin titreşimlerini sürdürmesi için kullanılabilir. Dijital kronometrede olduğu gibi, bilgisayar çipleri kuvars kristalinin yüksek frekansını saniyede bir devire indirir. Önceden ayarlanan zamana ulaşınca diğer çipe bir sinyal voltajı gönderilir. Kahve makinesinde kahvenin kaynatılması işlemi başlatan işte bu ikinci çip, telefonunuzda seçili bir melodiyi çalmaya başlar.

Zamanlama akıllı telefonlarda çalar saat fonksiyonunun dışında da çok önemlidir. Bir bilgisayarın (bizim buradaki amacımız açısından akıllı telefon küçük bir bilgisayar sayılabilir) her prosedürü zaman içerisinde var olan bir işlemdir. Sürecin bir başı ve bir sonu vardır; bir müzik parçasından farksız olarak. Dahası, yine bir müzik parçasından farksız olarak, istenen etkiyi elde etmek için notaların uygun sekansta, doğru zamanda çalınması gerekir. Bir senfoni orkestrasının etkileyici olması için, müzisyenlerin örneğin yaylılar

1 Bernard Jaffe, *Piezoelectric Ceramics*. Academic Press, 1971. Louis Bloomfield, *How Everything Works*. Plöskütüphane Wileynin Sırtında, 2008, s. 300.

çalmaya başlarken kornoların son bölüme girmemesini ve tempoyu bozmamayı sağlayacak iyi bir orkestra şefine ihtiyaç vardır. Hepsi de doğru sırada çalışması gereken milyonlarca transistör, mantık elemanı ve bellek gözesinin bulunduğu bir bilgisayarda, “orkestra şefi”¹ merkezî işlem birimi (CPU – central processing unit) denilen bir çiptir. CPU, bir kristal salıngaç yardımıyla bir nanosaniyeden daha kısa sürede açılıp kapanan² elemanları koordine etmek için tempo tutabilir, üstelik de bunu çok hızlı yapabilir.

Yıkayıp giyindikten sonra akıllı telefonunuzu komodinden alıp mutfaka geçiyorsunuz. Buzdolabından bir açma ve biraz tereyağı alıp ısınması için tezgâhın üzerine koyuyorsunuz. Güne hazırlanırken, bir yandan da telefonunuza indirmiş olduğunuz bir podcast bulup dinliyorsunuz. Bu özel yayında Stradivarius’un çağdaşı olan ünlü keman yapımcıları tanıtılıyor. Programda bu ağaç işçiliği ustalarının biyografilerinin arasına ürettikleri harika enstrümanlarla çalınmış klasik müzik parçalarından örnekler serpiştirilmiş. Müziği en küçük tınlarına kadar hissetmek için akıllı telefonunuzu mutfak tezgâhının üstündeki iki küçük ama çok kaliteli hoparlöre bağlıyorsunuz.

Podcast’inizi veya telefonun belleğinde kayıtlı herhangi bir müzik parçasını çalabilmek için akıllı telefonunuzun sayısal bir kodu havanın yoğunluğundaki (dolayısıyla basıncındaki) değişimler olan ses dalgalarına dönüştürmesi gerekir. Müziği elektronik dönemin öncesinden beri depolayabiliyoruz; basit çevirmeli müzik kutuları

1 Alvis J. Evans, *Basic Digital Electronics*. Master Publishing, 1996, s. 24-26.

2 Dizüstü ya da masaüstü bilgisayarınızın CPU’ları akıllı telefondakilerden daha hızlı açılır fakat daha fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar. Akıllı telefon mühendisliğinin zorunlu koşullarından biri, pilin ömrünü uzatmak için olabildiğince az enerji kullanmaktır. Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

tek bir melodinin çok kısa bir kısmını çalabilirken, otomatik piyanolar tamamını icra edebilirler. Bilgileri depolama yöntemleri birbirinden çok farklı olsa da müzik kutusunun, otomatik piyanonun ve akıllı telefonun ortak yanı, sesin duyulması için nihayetinde havada bir titreşim olmasının gerekmesidir.

MP3 çalarlarda¹, otomatik piyanonun kâğıt rulosundaki deliklerin çalışmasına benzeyen bir dijital komut kümesi kullanılır. Otomatik piyanonun içinde, hangi tuşlara basılacağını delikleri stratejik olarak düzenlenmiş bir kâğıt rulo ile belirleyen bir mekanizma vardır. Bu uzun kâğıt tabakasındaki deliklerin farklı farklı yerleri ve aralarındaki boşluklar temelde bir kod içerir ve bu kod piyanonun mekanizması tarafından yorumlandığında belli bir şarkı çalınır. Akıllı telefonunuzda kayıtlı dijital bilgi de aslında usulünce okunduğunda bir voltaj örüntüsü yaratan bir koddur. Bu voltajlar hoparlöre gönderildiğinde özel bir melodinin ses dalgalarına dönüştürülürler. Hoparlörün içinde titreşebilen bir zar (çok ince bir plastik tabaka) vardır. Zarın titreşimlerinin frekans ve genliklerine bağlı olarak havada basınç dalgaları oluşur ve bizim duyabildiğimiz de işte bu dalgalardır.

Elektrik voltajları zarın mekanik titreşimlerine dönüştürülüyor² ki sonuçta çıkan ses dalgalarını bizler işitebiliyoruz? Bu, mıknatıslar aracılığıyla gerçekleştirilir. Zara küçük bir kablo bobini bağlıdır. Bir voltaj kullanılarak bobinin içinden akım geçirilir ve voltajdaki her değişiklik akıma yansıtılır. Bu akım değişiklikleri, daha önce elektrik akımları ile manyetik alanlar arasında karşılaşılan simetrinin aynısı kullanılarak hoparlörün zarları üzerinde

1 Bu işaretler sistemi, müziği sıkıştırmak için kullanılan yazılımın kısaltmasıdır. Bu yazılım sayesinde hoparlörlere gönderilen komut kümesi için daha az bir ve sifra ihtiyaç duyulur.

2 Bloomfield, *How Everything Works*, Ar 426- <https://rantey.org>

mekanik titreşimlere dönüştürülürler. Değişen elektrik akımları değişen manyetik alanlar yaratır. Zarın üzerindeki bobin tam da diyaframın hemen altında bulunan sabit mıknatısın üzerinde durur. Akım saat yönünde akmaya başlayınca kuzey kutbu dışa, sabit mıknatısın kuzey kutbuna gelecek şekilde bir manyetik alan yaratır. Aynı kutuplar birbirini ittiği için mıknatısları ayıran bir kuvvet oluşarak zarın dışa doğru esnemesine yol açar. Voltajın yönü tersine döndüğünde akım ters yönde (saat yönünün tersi) gelir ve yaratılan manyetik alanda sabit mıknatısın kuzey kutbunun karşısında güney kutbu bulunur. Ters manyetik kutuplar birbirini çeker ve bobin kalıcı mıknatısa doğru çekilip zarın içe doğru gerilmesine sebep olur. Voltajdaki hem frekans hem de genlik değişiklikleri zarda ileri geri modülasyonlara yol açar, bu da ses dalgaları yaratır.

Kulak içi kulaklıkta, titreşen zar kulak zarının yakınına yerleştirilmiştir. Geleneksel stereo sistemde hoparlörün zarı, genişleyerek zarın titreşimlerini büyütüp yansıtan büyükçe bir koninin ortasındadır. Akıllı telefonun hoparlörleri kasasının içindedir, bu sayede çaldığı müziğin kalitesi ve volümünden ödün verilir. (Akıllı telefonunuzun hoparlöründen gelen sesi yükseltmenin hızlı ve temiz bir yöntemini arıyorsanız telefonu tercihen ahşap olan büyük bir tasın içine hoparlör dibine gelecek şekilde koyun, sesin daha zengin ve derin bir tınıya kavuştuğunu göreceksiniz. Ağacın doğal frekansları yansıyan ses dalgalarını zenginleştirir ki yaylı enstrümanlarda malzeme olarak ağacın tercih edilmesinin sebebi budur.¹⁾

1 Bruno L. Giordano ve Stephen McAdams, "Sound Source Mechanics and Musical Timbre Perception: Evidence from Previous Studies", *Journal of the Acoustical Society of America* 121, 2384 (2007); D. Murray Campbell, "Evaluating Musical Instruments", *Physics Today* 67 (Nisan 2014), s. 35-40. <http://www.aip.org>

*Çalan müziğin coşkulu kısmına dalıp gidiyorsunuz. Virtüözün yaylarda ritmik bir tarzda gidip gelmesini gözünüzün önüne getiriyorsunuz. Yayı hayal ederken daha dişinizi fırçalamadığınızı hatırlıyorsunuz. Müziğin sesini açıp banyoya koşuyor ve **elektrikli diş fırçanızı şarj aleti görevi gören plastik kılıfından çıkarıyorsunuz.***

Elektrikli diş fırçanız, kıllarının otomatik olarak ileri geri gitmesi için şarj aletine bağlı küçük bir elektrikli motor kullanır. Pildeki elektriksel potansiyel enerjinin dönme kinetik enerjisine dönüşmesi, günlük yaşamda karşılaştığımız teknolojinin büyük kısmının temelini oluşturur. Pil motordaki kablo bobininden akım geçmesine sebep olur. Bobin küçük bir mıknatısın kuzey ve güney kutuplarının arasında yerleştirilmiştir. Kablonun içindeki akım bir manyetik alan oluşturur, bunun mıknatısın bir kutbu tarafından itilip diğer kutbu tarafından çekilmesi bobini döndürür. Bobin ortasından geçen bir çubuğa bağlıdır ve o dönünce çubuk da döner. Bir akıllı anahtar mekanizması kullanarak bataryanın doğru akım (DC, duvardaki prizden gelen alternatif akımdan [AC] farklıdır) yönü her yarı dönüşte değiştirilebilir böylelikle bobin sürekli olarak sabit mıknatısın bir kutbu tarafından itilirken diğerine doğru çekilir. Merkezin dışından geçen bir çubuk sayesinde diş fırçasının iç motorunun dönme hareketi ileri geri harekete dönüştürülür, bu da diş fırçasının kıllarının dişlerinizin üzerinde salınmasına yol açar.

Bazı elektrikli diş fırçalarının motoru saniyede yüzlerce devirle döner ve dişlerinizi temizlerken çıkan vınlama sesi buradan gelir. Bazı diş fırçalarının frekansı saniyede 1,6 milyon devir olabilir (salınım genlikleri ise çok düşüktür). Bu yüksek frekanslı titreşimle, frekans çoğaltıcılar (dijital zamanlayıcıda gördüğümüz cinsten) ve bir piezoelektrik kristali (akıllı telefonunuzdaki zamanlayıcıda bulunur) kullanılarak yaratılır.

Diş fırçasındaki elektrik enerjisinin kaynağı, pozitif yükleri metal bir çubuk (elektrot denir) ve negatif yükleri de ayrı bir elektrot üzerinde biriktirmek için bir kimyasal reaksiyon kullanan pildir. Bu yük farkı, akımın motorun içindeki bobinden geçmesini sağlar (ya da piezoelektrik kuvars kristalinin salınmasına yol açar). Sonunda kimyasal reaksiyon elektrotlara artık hiç yük eklenemeyecek bir noktaya ulaşır. Şarj edilebilen pillerde terminallere voltaj uygulanarak reaksiyon ters yönde işlemeye zorlanır. Pil dolunca ileriye doğru kimyasal reaksiyon elektrotları sürekli tekrar şarj edebilir ve batarya bir kere daha harekete geçmeye hazır olur.

Peki ama elektrikli diş fırçası gibi tam da suya yakın bir yerde ya da suyun içinde olacak şekilde tasarlanmış bir aletin içindeki pillerle enerji kaynağının elektrik bağlantısı nasıl kurulacak? Pek çok elektrikli diş fırçasının plastik sapı vardır ve sap, duvardaki elektrik prizine bağlı, kendisi de sert plastik olan silindir şeklindeki bir şarj aletinin içerisine oturur. Plastik, bir elektriksel yalıtıcıdır ve her bir atomun içindeki her elektron atomları bir arada tutmaya yarar ve harici voltaja yanıt olarak akını taşımaya uygun hiç elektron yoktur. O hâlde, şarj aletiyle diş fırçasının sapının plastikten plastiğe olan bağlantısı şarj edilebilen pile nasıl elektrik enerjisi sağlar? Bu sorunun yanıtı, değişen manyetik alanların nasıl elektrik akımı yarattıklarını açıklayan fizik prensibinin aynısıdır.

Diş fırçasının şarj aletinin tabanında duvardaki prize takıldığı anda içinden alternatif akım geçen bir tel kangalı vardır. Bu akım durmaksızın kendi etrafında döner, sarkacın ileri geri hareketi gibi saat yönünde ve sonra da saatin tersi yönde akar. Bu akımın yarattığı manyetik alan da sürekli yön değiştirecek, şarj aletinin dibinden önce dışa doğru kuzey kutbu, sonra yarım devir yapıp güney kutbu yönünde dönecektir. Elektrikli diş fırçasının alt kısmında başka bir bobin vardır ve bu bobinin yönü şarj aletinin manyetik alanı bu kab-

lo halkasının dairesel alanından geçecek şekilde düzenlenmiştir. Bu ikinci bobinin içinden geçen manyetik alanın gücü ve yönü sürekli değişim hâlinindedir ve dolayısıyla bir elektrik santralinde elektrik gücü üretmek için kullanılan mekanizmanın aynısı aracılığıyla bir akım yaratır. Dış fırçasının bobininde manyetik indüksiyon süreci ile harekete geçen bu akım, alternatif akımdan doğrudan akıma dönüştürülür ve daha sonra da cihazın pilini yeniden şarj etmede kullanılır. Doğrudan bağlanmış olmasalar da bir bobinin içindeki akımın ikinci bobinde akıma sebep olduğu bu cihaza “dönüştürücü” (transformatör) adı verilir¹ ve elektrikli dış fırçasının pilini şarj etmekten başka pek çok kullanım alanı vardır.

Şarj cihazının içindeki bobin elektrikli dış fırçasının dibinde olan bobinle aynı sayıda dönüş yaparsa (bir makaranın üzerine ipliğin sarılması gibi) ve onunla aynı alana sahipse dış fırçası bobininde meydana getirilen akım birinci bobinde akan akımla aynı olacaktır (şarj cihazındaki bobinden gelen manyetik alanın tamamının dış fırçasının altındaki bobinin içinden geçtiğini varsayıyoruz). Fakat ikinci bobin daha fazla ya da daha az dönüş yaparsa o zaman meydana gelen akım birinci bobininkinden sırasıyla daha az ya da daha fazla olacaktır.² Bu işe yarar, zira duvardaki prizden gelen alternatif voltajın en yüksek değeri 110 Volt’tur ve bu dış fırçasındaki pile gönderilmek için çok fazladır. Ya iletim yitimlerini telafi ederek enerji hatlarındaki voltajı artırmak için ya da prizden gelen voltajı mutfak tezgâhınızın üzerindeki küçük aletlerde kullanılacak seviyeye düşürmek için her zaman dönüştürücü kullanılır.

1 Tipler ve Mosca, *Physics for Scientists and Engineers*, s. 1004-1006.

2 Elektrik gücü matematiksel olarak akım ve voltajın çarpımı olarak tanımlanır ve ikinci bobinde daha fazla akım olması voltajın daha düşük olacağı anlamına gelir. (Enerjinin korunumu yasası gereği sisteme girilen günden daha fazlası alınamaz.)

*Mutfağa dönünce açmanızı ikiye bölüyorsunuz. Her bir yarısını **ekmek kızartma makinesine** yerleştirip makineni kolunu aşağı indiriyorsunuz. Ekmek kızartma makinesinin içinde dilimleri yukarıda tutan yay sıkışıyor ve açma makinenin içine çekiliyor, teller ısınmaya ve en sonunda kızılışmaya başlıyor. Yağ hâlâ biraz sert, o yüzden tereyağı kabını makinenin açık kısmının üzerine koyuyorsunuz; sıcaklık tereyağını yumuşatıp sürülmeye hazır hâle getiriyor.*

Ekmek kızartma makinesinin tekniğini dedenizin dedesi bile bilir. Ekmek kızartma makinesine bir dilim ekmek koyup kolunu aşağı indirince ekmek dilimini makinenin içine sokmanın yanında ekmeğin etrafındaki kablolardan elektrik akımının geçmesini sağlayan devreyi tamamlamış olursunuz. Yarım dakika kadar geçince kablolar ısınır ve sonra da kızılışmaya başlar. Neden? Ekmek kızartma makinesinin elektrik enerjisini ısıya ve ışığa nasıl dönüştürdüğünü anlamak için termodinamikten, elektromanyetizmadan ve kuantum mekaniğinden anlamak gerekir. Her şey kızarmış bir dilim ekmek için!

Ekmek kızartma makinesi termodinamiğin birinci yasasına göre çalışır, buna göre herhangi bir kapalı sistemde toplam iş ve ısı miktarı sabit kalmak zorundadır. Sizin kolu indirip devre tamamlamanız akımı kablonun içinden geçmeye zorlar ve kablonun içindeki rezistanstan dolayı elektrik akımının enerjisi ısıya dönüşür.

Metal kablonun kendisinden başlayalım. Bir malzemenin iyi bir elektrik iletkeni olması için serbest hareket edebilecek çok miktarda elektrik yüküne ihtiyacı vardır. Yüksek yoğunlukta mobil elektronu olan metaller elektrik akımını mükemmel bir şekilde taşıırken, plastik ya da cam gibi yalıtkanların bütün elektronları atomlar arasındaki kimyasal bağlarla bağlıdır. Katı bir cismin için-

deki atomların dizilimi ve detaylı kimyasal etkileşimleri, kuantum mekaniğinin kısıtlamaları altında belirli bir malzemenin yalıtkan mı iletken mi olduğunu belirler.

Ekmekek kızartma makinesinin kablosu, genellikle nikel ve krom alaşımından (nikrom denir) oluşur.¹ Bu iki metal de elektrik akımını iletebilirler. Ekmeği hızlı kızartmak için kablonun iyi bir elektrik iletkeni olması gerekir ama çok fazla iyi de olmamalıdır. Arzu edilen ısıyı verecek olan nikrom kablodaki iki farklı metalin karışımının yanında diğer her türlü kusur ya da hatadır.

Ekmekek kızartma makinesindeki kabloyu insanların izdiham hâlinde aynı anda inmeye çalıştığı büyük bir merdiven olarak düşünün. Merdivenden ne kadar fazla insan inip gidiyorsa ve ne kadar hızlı hareket ediyorsa akım da o denli yüksektir. Burada merdivenlerin dikliği anlamındaki voltaj, insanları ilk anda aşağıya doğru hareket ettiren şeydir. Çok dik bir açı yüksek voltaj anlamına gelecektir, yani tek bir kişi merdivenin bitiminden daha hızlı ayrılacaktır. Tek tek adımlar ise metaldeki atomlara tekabül eder. Özellikle merdivende enine hizalanmış ve hep beraber adım adım inen büyük bir grubun içindeyseniz merdivenden inmek daha kolaydır. Bir sıra en alt basamaktan inip merdivenden ayrılırken bir başka sıra en tepeden inmeye başlar ve merdivenin etkinliğinin doğruya ulaşmasını sağlar.

Fakat merdivendeki insanlar, kablodaki elektronlar gibi uygun adım değil, gelişigüzel hareket ederler. Dahası, gerçek merdivenler (ve gerçek kablolar) bu kadar muntazam değildir. Bir basamağın eksik olduğunu (kabloda bu örneğin yerinde olmayan bir atom olabilir) ve basmayı deneyene kadar kimsenin bunu fark etmediğini varsayın. Büyük bir kargaşa olacaktır. Tüm bu durum verimsizli-

1 Bloomfield, *How Things Work*, 225. - <https://rantey.org>

ğe yol açar ve yolculuğun tamamı daha uzun sürer; bu da (ekmek kızartma makinesinin kablosu cinsinden söylersek) daha düşük bir akım demektir.

Bir metalde, bu kablonun “direncini” artırmak olarak nitelenir. Bu dirence etki eden geometrik faktörler vardır zira akım uzun ve ince kablolardan kısa ve kalın olanlara göre daha zor geçer. Bazı aletlerde direnç önemli bir engeldir. Fakat kahvaltı hazırlarken işe yarar.

Kablonun direnci kinetik enerjinin elektrik akımından kablonun içindeki atomlara aktarılmasına yol açar ve “Jul ısıtma” etkisi olarak bilinen sürece yani atomların öncekinden daha şiddetli titreşmesine neden olur.¹ Ekmek kızartma makinenizde nikrom kullanılmasının sebebi budur; bir akımı taşımak için yeterince iyidir ama aynı zamanda Jul ısıtma etkisini maksimize etmek için büyük bir dirence sahiptir. Kinetik enerji yeterince transfer edildiğinde, kusurun yakınındaki atomlar ışık yayacak kadar şiddetle titreşebilir ki ekmek kızartma makinesinin kablosunun kıpkırmızı olmasının nedeni de budur.

Atom titreştiğinde elektronlar bir yayın üzerindeki kütle gibi ileri geri salınarak atomun içinde dalgalanan bir elektrik akımı oluştururlar. O elektrik akımı da manyetik bir alan yaratır. Akımın büyüklüğü ve yönü mütemadiyen değiştiğinden, manyetik alan da sürekli değişir ve değişim hâlindeki manyetik alanlar elektrik alanları yaratır. Şekil 1’de yer alan elektik yüklü çekülü düşünün. Periyodik olarak değişen bir elektrik ve manyetik alanlar, birleşip salınan bir elektromanyetik dalga oluşturur ve bu dalgaya “ışık” adı verilir.

O mükemmel tost dilimini yapmak için işte o ekmek kızartma makinesinin kablosunun ısısı (538°C’den fazla olabilir) ekmeğe

1 Oda ısıtıcılarında ve sıcak su ısıtıcılarında bu prensip aynı şekilde çalışır.

transfer edilir. Saç kurutma makinelerinde ve oda ısıtıcılarında, hava molekülleri sıcak kablonun dışına çıkmaları için itilir ve fazladan kinetik enerjinin bir kısmını alırlar, oysa ekmek kızartma makinesinin kapalı sınırları içinde ısınma daha çok kızılötesi ışımadan kaynaklanır. Ekmeğin yüzeyi yaklaşık 149°C olduğunda, şekerler ve nişastalar kimyasal reaksiyona girip kahverengileşirler¹, tat ve dokuları değişime uğrar. “Tost ayar” düğmesi aslında ekmek kızartma makinesinin kablolarındaki akımı değiştiren bir ayarlanabilir dirençtir. Ekmeğiniz yanmadan önce elektrik devresini açıp bu süreci durdurmak için bir zamanlayıcı veya sıcaklık sensörü kullanılır.

Tereyağı kabını tereyağı erimedenden hemen önce kızartma makinesinin üzerinden kaldırılıyorsunuz. Birkaç dakika sonra makinedeki açma yukarı fırlıyor, mükemmel kızarmış vaziyette. Kahve keyfi yapmak çok cazip geliyor ama bugün doktor randevunuz var. Kendinize bir bardak portakal suyu koyup kahvaltınızı bitirirken podcast'inizi dinliyorsunuz. Telefonunuzdaki takvim vınlayıp bir saat içinde doktor randevunuz olduğunu hatırlatıyor. Tabağınızı temizleyip portakal suyu bardağıyla kahve fincanını sudan geçirdikten sonra bulaşık makinesine yerleştiriyorsunuz ve portakal suyu şişesi ile tereyağını buzdolabına kaldırılıyorsunuz.

Ekmeğin kızartma makinesinde termodinamiğin birinci yasasından faydalanılır ve akımın telden geçmeye zorlanarak yapılan iş ısıya dönüştürülür. Termodinamiğin ikinci yasası ise bu süreci tersine çevirme düzeyimizi sınırlayarak ısıyı çeker ve işi yapmak için onu kullanır, tıpkı buzdolabında olduğu gibi.

1 Joseph J. Provost, Keri L. Colabroy, Brenda S. Kelley ve Mark A. Wallert, *The Science of Cooking: Understanding the Biology and Chemistry Behind Food and Cooking*. John Wiley & Sons, 2016, DOI 10.1002/9781119111117. Arşivi - <https://rante.org>

Termodinamik alanının gelişimi, “önce temel bilimlerdeki araştırmalar gelir, pratik uygulamalar onu takip eder” şeklindeki standart paradigmayı altüst ediyor.¹ Tam tersine, önce az bilinen bir bilimin pratik uygulaması olan buhar makineleri icat edildi ve biliminsanları temel fiziği ancak ondan sonra, makinenin verimini artırma arzusuyla anladılar. İçten yanmalı motorda yakıtın yanması örneğinde olduğu gibi, bir makine gelişigüzel ısıyı yararlı işe dönüştürür ve buzdolabı da geriye doğru çalışan bir motor² olup yaptığı iş, ısıyı sistemden almaktır.

Bir buzdolabı iç ısını bir fincan sıcak kahveyi ıltırken uyguladığınız fizik kuralını (buharla soğutma) uygulayarak düşürür. Örneğin sabah kahveniz içemeyeceğiniz kadar sıcak olduğunda yaptığınız gibi. Sıcaklık, kahvenin içindeki moleküllerin ortalama kinetik enerjisinin ölçümüdür. Yani bazı moleküller ortalamanın altında bir kinetik enerjiye sahipken, bazıları daha enerjik olacaklardır. Bu daha enerjik, aşırı istekli moleküller kahve fincanınızın üzerindeki buharı oluştururlar ve kinetik enerjileri bir faz geçişini, sıvı hâlden buhar hâline geçişi başlatmak için yeterlidir. Kahvenizi üflediğinizde bu yüksek kinetik enerjili molekülleri fincandan uzaklaştırıp sıvı hâle geri dönmelerini ve enerjilerini sıvının içine yerleştirmelerini engellersiniz. Bu yüksek enerjili moleküllerin artık kahvenin sıvı-buhar sistemine dahil olmamasından dolayı, bütün moleküllerin yeni ortalama kinetik enerjisi öncekinden azdır ve bu da kendisini kahvenizin daha düşük ısıda olmasıyla gösterir.

1 Bkz. örneğin Donald S. L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Cornell University Press, 1971.

2 Mark W. Zemansky, *Heat and Thermodynamics*, 5. baskı. McGraw-Hill, 1968, s. 179-85. Buharlı soğutmanın tanımı için bkz. James Kakalios, *The Physics of Superheroes: Spectacular Science and the Art of Gotham Books*, 2009, s. 170-71.

Buzdolabınız temelde aynı ilkeye dayanarak çalışır ama kahve yerine başka bir sıvı kullanır. Buzdolaplarında bir zamanlar freon kullanılırdı¹ fakat artık tetrafloretan² kullanımına geçildi. Soğutma sıvısını ince bir metal borudan geçirten mekanik pompayı çalıştırmak için bir elektrik motoru kullanılır. Metal ısı için iyi bir iletken-dir (o “serbest elektronlar denizi” enerjinin yanı sıra elektrik akımı da taşıyabilir) ve soğutma sıvısı ile buzdolabının duvarları arasında iyi bir termal bağlantı sağlar. Pompa, soğutma sıvısını bir genleşme valfinin içinden itip onun küçük bir tüpten büyük olana geçmesini sağlar, orada da sıvı hâlden buhar hâle geçer. Sıvının buhara dönüş-mesi için enerji eklemeniz gerekir (kaynayan suyu düşünün) ve bu enerjinin de bir yerden gelmesi gerekir.³ Kahve buharının dumanı buharlaşmak için sıvı kahvenin geri kalanının kinetik enerjisini alırken, tetrafloroetan buzdolabının iç duvarlarından ısıyı çeker. Soğutma sıvısı buzdolabı duvarları ile temas hâlindeki yüzey ala-nını maksimize etmek için, S şeklinde bir dizi kıvrımı olan tüpten geçer. S şeklindeki kıvrımların yoğunluğu dondurucu bölmede daha fazladır, bu sayede bu bölümden daha fazla ısı çekilir.

Enerji yüklü gaz, buzdolabından ısıyı çıkarınca ne yapmak ge-rekiliyor? Bu süreci tekrarlamak ve buzdolabını sürekli soğuk tut-mak için, pompa bu kez de gazı geriye doğru sıkıştırıp sıvı hâle

1 Bloomfield, *How Everything Works*, s. 261.

2 2016 yılında, 170 ülke tetrafloretan gibi hidroflorokarbonların buzdolapları ve klimalarda kullanımını azaltmaya karar verdi. Buzdolabının çalışmasının altında yatan temel fizik prensiplerini değiştirmeden alternatif soğutucu sıvılar kullanılabilir. (Coral Davenport, “Nations, Fighting Powerful Refrigerant That Warms Planet, Reach Landmark Deal”, *New York Times*, 15 Ekim 2016.)

3 Terlediğimizde serinlememizi sağlayan mekanizma da budur. Ter ancak buhar-laşınca kurur ve ciltten enerji alıp sıvıyı buhar hâline getirerek vücudun ortalama kinetik enerjisini azaltır. Atmosfer sıcak ve rutubetli bir havada su buharı ile doluyken bu süreç engellenir ve serinlememiz zorlaşır. Dolayısıyla “hava sıcak değil de nem çok” sözünüze göre günün her anında doğru mu?

getirmek için kullanır. Buhar sıvıya dönüşürken, sıvıdan buhara dönüştüğü sırada çektiği ısıyı geri verir. Pompayı çalıştırmak için enerji gerektiği için, buzdolabını çalıştırmanın net bir enerji maliyeti vardır. Kapalı devre sistemin bu bölümündeki tüpler buzdolabının arkasına, duvara bitişik yerleştirilir ki ısınısını buzdolabının iç kısmına geri vermesin. Sıcaklık sensörü içeride arzu edilen sıcaklığa ulaşıldığını gösterdiğinde pompa durur. Buzdolabı ve dondurucunun kapılarının contalarında termal çatlaklar vardır, hem de gelişmiş mühendislik ve malzeme bilimi sayesinde bu contaların kalitesi artırılmış olmasına rağmen. Buzdolabının kapısını açıp içindekilere bakarken dünya meselelerini düşünmeye dalarsanız buzdolabının içinin ılımasına neden olursunuz. O zaman da buzdolabının kompresörünün tekrar çalışmaya başladığını işitirsiniz.

İKİNCİ BÖLÜM

Şehre Giderken

*Asansöre binip apartmanınızın garajına iniyorsunuz. **Elektrikli/benzinli hibrid otomobilinize** yöneliyor ve arabanızın kapısını anahtarlığınıza takılı anahtarsız uzaktan kumanda ile açıyorsunuz. Direksiyona geçtiğinizde arabayı çalıştırıyor ve çıkışa doğru ilerliyorsunuz. Bir an yavaşlıyorsunuz ve bir sensör arabanızdaki elektronik anahtarı kaydedip garajın kapısını açıyor.*

Otomobil, esas olarak potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüştürülmesini sağlayan bir makinedir. İçten yanmalı bir motorda potansiyel enerji kimyasaldır, benzin moleküllerinde depolanır; tamamen elektrikli bir otomobilde ise potansiyel enerji elektro-kimyasal bir akünün içindedir. Hibrid otomobil¹ hem içten yanmalı motoru hem de elektrikli motoru çalıştırarak her bir işlemin avantajların-

1 Chuck Edmondson, *Fast Car Physics*. John Hopkins University Press, 2011, s. 194-200.

dan azami ölçüde yararlanır ve sınırlamalarını da en aza indirir. Benzinle çalışan arabalar bir depo benzinle uzun mesafe gidebilirler ama kilometre performansları genellikle zayıftır ve zararlı bir egzoz gazı çıkarırlar. Elektrikli otomobiller ise temiz ve verimlidir ancak akülerinin enerji yoğunluğunun nispeten düşük olmasından dolayı sürüş menzilleri kısadır. Normal koşullarda otomobil kullanmak için çok daha küçük (ve dolayısıyla yakıtı daha verimli) bir motor yeterli olacaktır. Ne var ki bu daha küçük motor, otoyol hızına çıkmaya veya dik bir yokuşa tırmanmaya yetmez. Daha küçük, daha verimli bir motorun bu sık olmasa da mühim durumlarda yeterli dayanıklılığa sahip olması için hibrid otomobilin ikinci bir enerji kaynağı olarak akülü bir elektrik motoruna ihtiyacı vardır. Bunun sonucu, elektrik motoru takviyesinden dolayı menzil ya da ivmelenmeden ödün vermeden, daha verimli motoru sayesinde çok daha uzun yol kat edebilen bir otomobildir.

Fakat lastikleri döndüren enerjinin aküden mi, benzinli içten yanmalı bir motordan mı, hatta buharlı çalışan bir antikadan mı geldiğinin hiç önemi yoktur; bir fizikçiye göre her bir otomobil tamamen elektrikli bir araçtır.

Normal olarak atomlar elektriksel anlamda nötrdür (ne pozitif ne de negatif yüklüdürler). Elektriksel anlamda nötr olan atomlar başka atomlarla kimyasal bağlar kurmazlar; koşullar tamamen uygun olmadıkça. İki atomu birbirine iyice yaklaştırdığınızda elektron yörüngeleri üst üste binecektir. Negatif yüklü elektronların birbirini itmesiyle iki atom ayrılır ve uzaklaşırlar. İki atom birbirine bağlanıp tek bir basit molekül oluşturduğu zaman bu geri tepmeyi aşmak için, birbirini iten elektronların iticiliğini bastıran ek bir çekim etkileşiminin olması gerekir. Atomlar arasındaki bütün bağlar, atomları bir arada tutan elektriksel çekimlere dayanır. Bir benzin molekülündeki atomlar arasındaki bağlara “kovalent bağlar” denir

ve bunlar genellikle çok güçlüdür; onları birbirlerinden ayırmak için çok fazla enerji gerekir. Moleküler parçalar otomobil motorundaki yanma reaksiyonunda olduğu gibi yeniden dizildikleri zaman, aynı şekilde çok miktarda enerjiyi serbest bırakabilirler.

“İyonik” denilen bir diğer kimyasal bağ türü ise aküde depolanan enerjiden sorumludur. Normalden daha az ya da daha fazla elektrona sahip atomlara “iyon” denir; bir “pozitif iyon” çekirdeğinde pozitif yüklü protonlardan daha az sayıda negatif yüklü elektron vardır ve çekirdeğinde protondan fazla elektron bulunana “negatif iyon” adı verilir. Aküler voltaj üretmek için iyonları kullanan cihazlardır. Tipik bir akü genellikle iyonlarla çalışır¹; bunlar ya asit (sülfürik asit gibi) ya da alkalın (genellikle potasyum hidroksit)² gibi bir sıvının içinde bulunan elektrotlar ya da terminaller denilen iki metal çubuk arasında hareket ederler; asit ve alkalın bir terminaldeki atomlardan yükleri ayırıp iyonların oluşumunu sağlar. Elektrotlar için uygun metalleri ve uygun kimyasal sıvıyı seçerek, negatif yüklü iyonların bir çubuğun üzerine ve pozitif yüklerin de diğerinin üzerine yığılmasını sağlayabiliriz. Sıvının içindeki bir ayırıcı bariyer bu iyonları terminallerin üzerinde tutar ve yeniden bir araya gelip sıvıdan geçerek boşalmalarını engeller. Bunun sonucunda kablonun içinden bir elektrik akımı akar. Bu terminaller arasına bir kablo bağlandığında bu yük farkı bir terminal üzerindeki negatif iyonlardan diğerindeki pozitif iyonlara doğru iter. Bu elektrik akımı bir elektrik motoruna güç sağlamak gibi mekanik bir iş yapmak için kullanılabilir.

Bir akü bir elektrik devresinde akım vermek için kullanıldığında elektrotların üzerinde depolanan iyonlar kolaylıkla çıkarılır

1 a.g.e., s. 187-91.

2 Elementlerin Periyodik Cetveli'nin ilk sütunundaki lityum, sodyum ve potasyum gibi elementlere, “alkali metaller” adı verilir ve “kalem piller”de iyon transferi için bu tür elementler kullanılır. Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

ve böylece akü sıvısındaki kimyasal reaksiyonlar metal çubukların üzerine negatif ve pozitif yükler katmaya devam edebilirler. Fakat nihayetinde sıvının reaktif bileşenleri kullanılmış olduğundan akü belirlenmiş voltajını sürdüremez ve “ölür”. Neyse ki günümüzde tamamen elektrikli araçların aküleri şarj edilebiliyor.

Bir aküde depolanmış elektrik enerjisinin bir diğer kısıtı, metal terminallerin ancak çok yüklü iyonları tutabilmesidir. Aküleri otomotiv tahrik gücünün tek kaynağı olarak kullanmanın başta gelen mahzuru budur. Bir akünün enerji yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, bir benzin molekülündeki kimyasal bağlarda depolan enerji yoğunluğu çok daha fazla olabilir. Buradaki olay, o enerjiyi tekerleğin çevrilmesini sağlayacak tarzda elde etmektir.

Standart bir otomobilin içten yanmalı motoru genellikle dört ila sekiz silindirden oluşur. Her silindire tepesine yakın bir deliğe bitişik bir hortum aracılığıyla farklı kimyasal buharlar enjekte edilir. Silindirin yan duvarları katı ve üst kısmı sabittir ve aşağı yukarı inip çıkabilen bir alt plaka vardır (buna “piston” denir).¹ Bir yanma devresi dört etaptan oluşur.² İlk iki etapta benzin buharı ve oksijen silindire enjekte edilir, daha sonra hareketli piston yukarı itilerek bu gaz karışımına basınç uygulanır. Daha küçük bir hacme sıkıştırılan benzin ve oksijen molekülleri artık daha sıcaktır ve kinetik enerjileri daha yüksektir. Daha sıcak olan bu gaz, benzin moleküllerinin oksijen ile reaksiyona girip yanmaya maruz sıcaklığın hemen altındadır. Üçüncü etap, bujiden gelen ve sıcak benzin buharını ateşleyen elektrik kıvılcımı biçimindeki tetikleme enerjisi ile başlar. Benzin moleküllerindeki kimyasal bağlar kopar ve yeni

1 Bazı konfigürasyonlarda altta sabit kapak ve üstte hareketli piston bulunur fakat bu dört zamanlı devrin fiziksel işleyişi açısından bir fark oluşturmaz.

2 Louis Bloomfield, *How Everything Works*, 5. baskı. John Wiley & Sons, 2008, s. 260-64. Ücretsiz PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

bağlar oluşur, sonuç olarak kimyasal bileşkelerin kinetik enerjisi kıvılcım öncesindekinden çok daha fazladır. Bu daha hızlı moleküller, silindirin iç yüzeyine çarparak büyük bir basınç uygular ve pistonu daha aşağı doğru iter. Dördüncü etapta ise gazlar (tutuşan hava/gaz karışımı ve silindirdeki tepkimeye girmemiş olan her gaz) bir başka hortum aracılığıyla egzoz hâlinde dışarı itilerek silindiri ilk pozisyonuna getirir.

Biz otomobillerimizi sürerken içten yanmalı motorlar bu dört aşamalı devri tekrar eder. Pistonun yukarı aşağı hareketi akıllı bir mekanik kuplaj aracılığıyla, elektrikli diş fırçasındakinden hiç de farklı olmayan bir şekilde tekerleklerin dönme hareketine dönüştürülür. Otomobilin içinde pistonun tepesine bağlı bir çubuk bir diskin kenarına iştirilmiştir. Çubuk yukarı aşağı hareket ederken diskin dönmelerini sağlar ve dönme hareketi lastiklere aktarılır.

Benzinin yanması neden enerjiyi salar? Bir benzin molekülü, kovalent bağlı karbon atomlarının (genellikle yedi ila on bir adet) kimyasal olarak bağlanmış zincirinden oluşur.¹ Bunlar bir bileziğin boncukları gibi dizilmiştir ve zincir boyunca her bir karbona kimyasal olarak bağlı hidrojen atomları vardır. Bir moleküle bağlı atomlar grubu, fiziksel olarak ayrı ve uzak oldukları duruma kıyasla daha düşük enerjiye sahipse o molekül kararlıdır. Her bir atomun içindeki elektronlar arasındaki kuantum mekaniksel etkileşimlerden kaynaklanan bu daha düşük bağlanma enerjisi, kovalent bağlı molekülü bir arada tutar. Moleküle sunulan enerji bağlanma enerjisinden fazla olduğunda, “bağları çözülür” ve kendisini oluşturan parçalar dağılır; bu durumda molekül parçaları başka atomlarla tepkimeye girerek yeni moleküller oluşturabilir. Bu moleküllerin

1 Gordon, J. Aubrect, *Energy: Physical, Environmental and Social Impact*, 3. baskı. Pearson Prentice Hall, 2006, s. 217-8. Arşivi - <https://rantey.org>

enerjisi ayrı atom yapı taşlarından daha az olacaktır ve onlar daha düşük potansiyel enerji konfigürasyonlarına geçerek oluştukları sırada enerjinin korunumu kimyasal bileşkeleri hızlandıracaktır (bu da demek oluyor ki daha fazla kinetik enerjiye sahip olacaktırlar). Reaksiyon bileşkelerinin bu fazladan kinetik enerjisine “ısı” adı verilir. Yanma aracılığıyla farklı moleküller farklı miktarlarda kinetik enerjiyi serbest bırakırlar. Dört devirli içten yanmalı motorun yirminci yüzyılın başında buharlı ve elektrikli otomobilleri geçmesini sağlayan, benzinin kullanılabilir en yüksek enerji yoğunluklarından birine sahip olmasıydı.

Bazı hibrid otomobillerde elektrik motoru ve gaz yakıtlı motor, lastiklere aynı anda kinetik enerji sağlar.¹ Diğer hibrid otomobiller ya/ya da konfigürasyonunu kullanır ve elektrik motoru arabayı çalıştırırken içten yanmalı motor araba sabit ekonomik hızda giderken devreye girer. Ya gaz yakıtlı motor aküyü yeniden şarj eden bir jeneratör kullanır ya da otomobil her fren yaptığında akü yeniden dolar. İkinci durumda lastiklerin dönme kinetik enerjisi akünün şarjını koruyan bir jeneratöre aktarılır. Her iki durumda da akünün dışarıdan şarj edilmesine gerek yoktur.

*Bildiğiniz caddelerden aşağıya doğru ilerliyorsunuz ve her zaman işe gittiğiniz otobana girmek üzereyken kahve etkisini gösteriyor ve bugün ofise gitmediğinizi hatırlıyorsunuz. Otomobili yanlışlıkla gideceğiniz yerin tersine sürdünüz ve doktorun muayenehanesinden uzaklaştınız. Geç kalmamak için otomobilinizin gösterge paneline entegre **küresel konumlama sistemine** (GPS – Global Positioning System) başvuruyorsunuz. Doktorun adresini çabucak yazıyorsunuz ve GPS oraya nasıl gideceğinizi ânında adım adım talimatlarla*

tarif ediyor. Otobanın giriş rampasından önce bir dizi benzin istasyonundan geçiyorsunuz ve yol sormak için artık benzin istasyonu çalışanlarına bağımlı olmadığınıza şükrediyorsunuz.

GPS cihazınız uydularla iletişim kurarak tam konumunuzu belirler.¹ Bu özel uydular, orta Dünya yörüngesinde, Dünya yüzeyinden kabaca 20.280 km yukardadır ve gezegenin etrafını dolaşmaları yaklaşık on iki saat alır. Dünya'nın etrafında bu şekilde dönen otuz iki uydu vardır² ve nerede olursanız olun en azından ikisi ile radyo bağlantısı içindesinizdir. Bu uydular periyodik aralıklarla radyo dalga sinyalleri göndererek zamanı ve konumlarını alıcısı olan ve sizin GPS'iniz gibi işleyen bir cihaza iletirler. GPS cihazınız bu sinyalleri algılar ve uydunun mesajı ne zaman gönderdiğine bağlı olarak her birinin gelmesi için ne kadar zaman geçtiğini hesaplar. GPS cihazınız, geçiş süresini ve sinyalin hızını (radyo dalgaları ışığın bir türüdür, dolayısıyla bu hız da ışığın hızıdır) bilerek konumunu uyduya ve diğer iki uydudan gelen sinyale göre belirler. Üç farklı geçiş süresini yörüngedeki üç uyduya göre konumla karşılaştırarak sizin konumunuzu net olarak tespit edebilir.³ Bulunduğunuz yeri öğrenir öğrenmez, cihazınızın belleğinde kayıtlı programlanmış haritalar size istediğiniz yere nasıl gideceğinizi bildirir.

1 Bkz. örneğin, Patrap Misra ve Per Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance*, gözden geçirilmiş 2. baskı. Ganga-Jumana, 2010.

2 Burada ABD'de yer alan ve başka ülkelerle paylaşılan sistemden bahsediliyor. Fakat Çin, Amerika'ya bağımlı kalmamak için kısa bir süre önce kendi konumlandırma uydu şebekesini konuşlandırdı.

3 Aslında her uydu bir daire yaratır ve sizin alıcı cihazınız onun çevresinin herhangi bir yerinde olabilir. Üç uydudan çıkan üç daire çakışıp kesişir ve sizin konumunuz, hepsinin kesiştiği o yerdir (aynı anda üç dairenin birden çevresinde bulunabileceğinizi düşünün).
Çevresinde bir daire
Arsivi - <https://rantey.org>

Sinyallerin zamanlaması ne kadar iyi ise konumunuz o kadar doğru belirlenir. Işığın hızı o kadar yüksektir ki zamanlamadaki en küçük hatalar bile konumlandırmada büyük hatalara yol açabilir. Büyük bir kütleçekimsel kütleden (Dünya) çok uzaktaki bir cismin, örneğin bir uydunun saati büyük kütlenin yüzeyindekinden biraz daha hızlı olacaktır. Kütleçekimin uydunun saat hızını neden etkilediğini anlamak için bir kütleçekim kuramı olan Albert Einstein'ın genel görelilik kuramına¹ dönmemiz gerek. İster bir navigasyon sisteminiz olsun ister akıllı telefonunuzdaki konum belirleyiciyi kullanın, GPS'iniz Einstein'ın teorik dehası sayesinde doğrudur.

Kütleçekimin etkilerine aşınaysanız; banyo tartısına çıktığınızda onlarla karşılaşıyorsunuz. Kaydedilen ağırlık, Dünya'nın vücudunuzun üzerine aşağıya doğru yaptığı kütleçekim etkisini dengelemek için tartının yukarıya doğru ne kadar ittiğine bağlıdır. Uzay boşluğunda kapalı bir odada olsaydınız ağırlığınız olmayacaktı. Fakat oda dış bir kuvvet tarafından (örneğin tavana bağlı bir kablo) ivmelendirilseydi o zaman artık odada yüzemezsiniz; onun yerine döşeme size doğru yükselirdi. Kablodan kaynaklı bu ivmelenme, göstergede bir sayı görülmesine neden olurdu. Einstein göstergede yazılanın kütleçekimine mi, ivmelenmeye mi bağlı olduğunu belirlemenin mümkün olmadığını ve bundan ötürü her ikisinin de eşdeğer olması gerektiğini fark etti.

Kütleçekimi kütleler arasındaki etkileşimden kaynaklanır ve ivme de uzay ve zamanın içinde nasıl hareket ettiğimizi tanımlar. Kütle uzay ve zamanın geometrisini bozar ve bu bozunum yörüngelerimizi değiştirir.

1 Genel göreliliğin birçok mükemmel popüler bilimsel tanıtımı vardır; özellikle de Kip S. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy*. W. H. Norton & Co., 1995; Pedro G. Ferreira, *The Perfect Theory: A Century of Geniuses and the Battle Over General Relativity*. Houghton Mifflin Harcourt, 2014.

Dünya büyük bir kütleyle sahiptir ve etrafındaki uzay ve zamanı bükerek. Kenarlarından gerilerek tutulan ve üzerine bir bowling topu konmuş ince bir trambolin bezini düşünün. Top aşağı çökünce bez top etrafına doğru kıvrılır. Bowling topunun kenarında hareket eden daha küçük bir kütle (örneğin yörüngedeki bir GPS uydusu) bezin kıvrımını takip ederken hareketini değiştirir. Daha küçük olan topun hızı doğru seçilirse bowling topunun etrafındaki dairesel yörüngeyi takip edecektir. Bu yörünge eğri bir yüzeyde hareket ediyor olmanın sonucu olabildiği gibi, yerçekimi kuvvetinden de ileri gelebilir ve Einstein'ın teorisine göre bunlar aynı şeydir. Teorik fizikçi John Archibald Wheeler'ın dediği gibi, genel görelilikte madde uzaya nasıl büküleceğini söyler, uzay da maddeye nasıl hareket edeceğini.¹

Görelilikten kaynaklanan *iki* etki GPS uydularındaki yüksek doğruluktaki atomik saatlerin zamanlamasını boşa çıkarabilir.² Dünya'nın etrafında bir yörüngede dönen uydular sadece on iki saatte 167.372 km'yi aşkın bir mesafe kateder ve sizin yüzeydeki hızınıza nispeten daha hızlı seyahat ederler. Bu nedenle, uydulardaki saatler Dünya'nın yüzeyindeki saatlerden daha yavaş çalışırlar; bu Einstein'ın özel görelilik teorisiyle zaman genişlemesidir.

Ve saatler bir kütleçekimsel kütleyle ne kadar yakınlarsa o kadar yavaş çalışırlar. Nedenini anlamak için, Dünya'nın kütlesiyle bükülmüş bir uzay düşünün. Işığın belirli bir zaman aralığında iki nokta arasında gideceği mesafe, Dünya'nın yüzeyine daha yakınken uzar. Ancak ışık bu daha uzun mesafeyi aynı hızla alacaksa (boşluktaki ışık hızının her yerde aynı olduğu göreliliğin temel il-

1 Einstein'la birlikte çalışmış olan Wheeler, "kara delik" ve "solucan deliği" terimlerini bilime kazandırdı. Kenneth William Ford ile birlikte kaleme aldıkları *Geons, Black Holes and Quantum Foam* adlı kitabında (W. W. Norton & Co., 2000), şöyle yazıyordu: "Uzayzaman maddeye nasıl hareket edeceğini söyler; madde de uzayzamana nasıl büküleceğini."

2 Chad Orzel, *How to Teach Physics to Your Dog*, Brainy Books, 2012, s. 220-1.

kesidir) bu durumda zamanın Dünya'nın yüzeyine daha yakinken yavaşlaması gerekir. Yani, bir saat üzerindeki kütleçekimsel çekim ne kadar fazlaysa o kadar yavaş çalışacaktır. Dünya'nın kütleçekimsel çekim bilgisine sahip olduğunda uydunun üzerindeki saatin Dünya'nın üzerindeki özdeş saate göre ne kadar daha hızlı çalıştığı belirlenebilir. İki etki (uydunun özel görelilik nedeniyle daha yavaş ve genel görelilik aracılığıyla daha hızlı çalışan saati) eşit değildir ve birbirlerini tam olarak sıfırlamazlar. Net değişim, kütleçekimsel etkiden dolayı uydunun üzerinde daha hızlı çalışan saattir. Bu küçük fakat ölçülebilir zaman kaymaları hesaba katılmasa ve düzeltilmeseydi, GPS sistemleri güvenilir olmazdı.

*Otoyola çıkıyorsunuz, ama bu defa doğru yöndesiniz. Giriş rampasında rahatça hızlanıyor ve orta şeride karışıyorsunuz. Gösterge tablosunun üzerindeki GPS cihazı bu yolda 6,5 km daha gitmeniz gerektiğini söylüyor, demek ki otoban ücretini ödemeniz gerekecek. Gişelere yaklaşırken bir an içiniz daralıyor çünkü ileride bir sürü stop lambası görüyorsunuz. Yavaşlamanın sadece en sağdaki iki şeritte olduğunu görünce rahatlıyorsunuz, bunlar otobana girmek için nakit ödeme yapması gereken sürücüler için. Ön camınızdaki küçük beyaz kutuya göz atıp geçiş ücretinizi otomatik olarak ödeyen **E-ZPass** cihazına şükrediyorsunuz. Siz açık bir geçiş kulübesinin yanından geçerken ücreti nakit ödeyen sürücülerin otomobillerinin hepsini geride bırakabiliyorsunuz.*

E-ZPass sistemi¹ (garaj kapılarını açan sistemler; anahtarsız uzaktan giriş cihazları; polislerin, askerlerin ve bazı acil durum çalışanla-

1 Bkz. "How E-ZPass Works", HowStuffWorks websitesi, <http://auto.howstuffworks.com/e-zpass.html> PDF Kitap Arsivi - <https://rantey.org>

rının kullandığı el telsizleri gibi) temel olarak uzmanlaşmış radyolara dayalı çalışırlar. Bir tarafı otomobilinizdeki E-ZPass cihazı gibi, küçük pille çalışan bir alıcıdır, radyo anteninin analogu ise bilet gişesindedir. El telsizi seti gibi otomobilin alıcısı da gişedeki anten de radyo dalgaları aracılığıyla gönderilen talimatları alabilir ve yayabilirler. Bazı E-ZPass sistemleri alıcı/anten iletişimini otomobilin gişenin önünden geçen bir ışık demetini yakalamasıyla başlatır. Şerit boş olduğunda ışık demeti bir fotodetektöre çarpar. Fakat bir otomobil gişeden geçen bu ışığı bloke edince fotodetektörde sinyalin olmaması devreyi bozar. Bu başka bir devrenin kapanmasına yol açıp antenin E-ZPass cihazındaki alıcıya sinyal göndermesini ve böylelikle gişe ile otomobiliniz arasında bir dizi radyo iletimi başlamasını sağlar.

E-ZPass sistemleri, garaj kapıları ve el telsizleri temelde uzmanlaşmış radyolara eğer o zaman şu soru doğar: Bir radyo nasıl çalışır?¹ Radyo dalgalarının oluşumunun arkasındaki fizik yasası, ekmek kızartma makinesinin telindeki akkora temel teşkil edenin aynısıdır. Kablonun atomlarındaki elektronlar, sıcaklık arttıkça ileri geri sallanırken elektromanyetik dalgalar yaratırlar (zira değişen elektrik akımları farklı manyetik alanlar yaratır, bunun karşılığında değişen manyetik alanlar da elektrik akımları üretir). Ekmek kızartma makinesinin kablosu hem kızılötesi hem de kırmızı ışık yayar. Çok daha düşük frekanslarda salınan elektronlar radyo dalgaları yaratırlar.

Fizikçiler “ışık” kelimesini herhangi bir elektromanyetik dalgayı tanımlamak için kullanırlar. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, ultraviyole ışık, X ışınları ve gamma ışınları, hepsi de sadece salınan elektrik ve manyetik alanlarının

1 Bloomfield, *How Everything Works*, 428-35. <https://rantey.org>

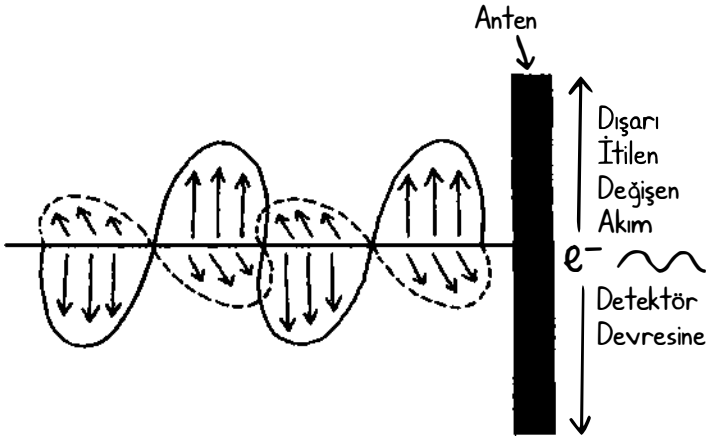
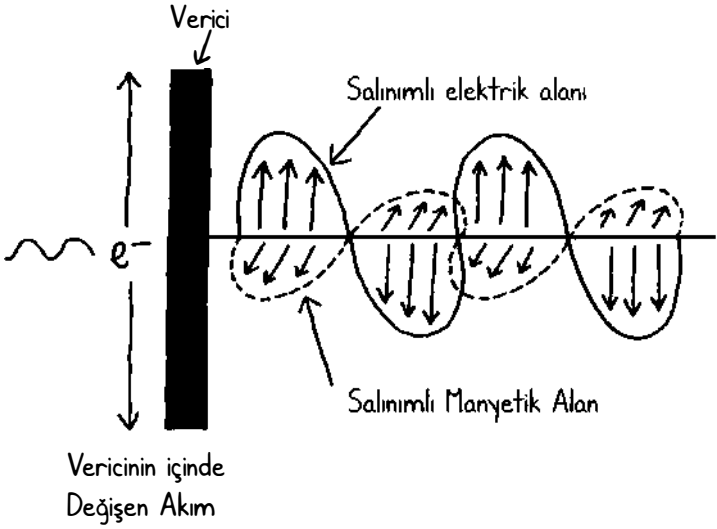
frekanslarında birbirinden ayrılan ışıklardır. E-ZPass sistemi 900 MegaHertz frekanstaki (yani saniyede 900 milyon devir) radyo dalgalarını kullanır.¹

Gişenin anteninden yayılan radyo dalgaları E-ZPass cihazının içindeki kabloda bulunan elektrik yükleri ile karşılaştığında, salınan elektriksel alan elektronların ileri geri titreşmesine yol açacaktır. E-ZPass sisteminde, gişe de cihazınız da sinyal alır ve yayar, dolayısıyla hangisinin alıcı ve hangisinin anten olarak adlandırılacağı ihtiyaridir.

Bu dalgaları bilgi kodlamak için kullanmanın pek çok yöntemi vardır fakat en etkin olan ikisi şunlardır: Dalganın en yüksek noktalarını, diğer adıyla genlik modülasyonunu (AM) değiştirmek ya da salınım frekansını değiştirmek anlamına gelen frekans modülasyonunu (FM) değiştirmek. Her ikisi de elektrik akımlarının bir yayın üzerinde ileri geri salınan yüklü bir kütlenin varlığından daha karmaşık modülasyonlarını gerektirir. Bir radyoda algılanan elektromanyetik dalganın voltaja dönüştürülmesi, alıcının hoparlörlerini titreştirmesini, böylece çıkan sesin başlangıçtaki mesajı yansıtmasını sağlar. E-ZPass sisteminde hoparlörlerin yeri yoktur ama temel süreç aynıdır. Bilgi radyo dalgalarının değişimlerine kodlanmıştır ve gişe ile otomobilinizdeki cihaz arasında gidip gelen bir iletişim vardır.

Bu radyo dalga sinyalinin alınmasıyla birlikte E-ZPass cihazındaki alıcı otomobilin hesap bilgisini tanımlayan farklı bir radyo dalgası sinyali yayar. Bu dijital sinyal ise hesabı doğrulayan ve ödeme için yeterli para bulunup bulunmadığını denetleyen küçük bir bilgisayara gönderilir. Bir mesaj da sürücüye hesabından gerektiği

1 Bu, pek çok kablolu sabit telefon tarafından kullanılan frekansın aynısıdır. Ancak evdeki telefonunuzla karışma riski yoktur çünkü E-ZPass sisteminin enerjisi düşük olduğundan bir kezli bir kısıpı. Arşivi - <https://rantey.org>



Elektromanyetik dalga antene çarptığında, elektronların yukarı aşağı salınmasına neden olur ve DEĞİŞEN AKIM yaratır.

ŞEKİL 2

gibi yükleme yapıldığı bilgisini göstermek için bir ekrana gönderilir. Işık hızında¹ (saniyede 299.792 km) yol alan radyo dalgaları tüm bu işlemi otomobil gişeden santimetrenin küçük bir kesri kadar bile geçmeden önce yaparlar. Fotodetektör otomobilin geçişini kaydederken gişe E-ZPass'i arayan bir sinyal gönderir. Yanıt sinyali alınmazsa bu defa otomobilin plakasını fotoğraflayan kameraya bir sinyal gönderilir. Bu durumda ceza yazılır (bazen bu ceza ışık hızından çok daha yavaş olan posta hizmeti tarafından teslim edilir).

*Trafik akışı yavaşlayınca randevunuza erkenden gidip gidemeyeceğinizi merak etmeye başlıyorsunuz. İlerleyip zaman kazanmak için trafik akışındaki boşlukları yakalayıp iki kez şerit değiştiriyorsunuz. Bir an yolun ilerisine bakıp hava durumu ve trafik raporunu almak için radyoyu açıyorsunuz. Hava güzel, az bulutlu ve hiç fırtına ve rüzgâr belirtisi yok; uçuşunuz sorunsuz olacak gibi görünüyor. Yol durumu da bir o kadar olumlu, sabah trafiğin yoğun olduğu işe gidiş saatinde önemli bir yol inşaatı ya da araba kazası haberi yok. Birdenbire ileride bir sürü stop lambası ışığı görüyorsunuz. Önünüzdeki otomobile arkadan çarpmamak için hızlıca frene basıyorsunuz. **Trafik tıkanmış, nereden çıktı ki bu. Sinirle direksiyon kolonuna pat pat vuruyorsunuz, duran arabaların üzerinden uçma arzusuyla.***

Otoyolda kilometre başına düşen araç yoğunluğu arttıkça, akış, yani belli bir noktadan saatte geçen araç sayısı da artacaktır.² Fakat

1 Bu boşluktaki hızdır. Işık hızı su ya da cam gibi başka bir ortamda daha yavaş olabilir, buna geleceğiz.

2 Trafik akışı modellerini genel okuyucu kitlesi için tanımlayan kitaplardan bazıları: Mitchel Resnick, *Turtles, Termites and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds*. MIT Press, 1994; Tom Vanderbilt, *Traffic: Why We Drive The Way We Do (and What It Says About Us)*. Knopf, 2008. Daha matematiksel ele alış arayışında olanlar için Başkings ve Mark H. Halling, "Traffic and Related

araçların yoğunluğu çok fazla olursa, akış aslında azalır ve daha yavaş bir akış da daha uzun yolculuk süresi demektir. Fiziğe göre şu sürücüler olmasaydı trafik su gibi akardı.

Otoyoldaki araç yoğunluğu düşük olduğunda, her bir otomobilin hareketi bağımsız olarak ele alınabilir, hızı yolun koşulları tarafından belirlenir ama diğer araçlarca kısıtlanmaz. Bu, iki atomun birbiriyle karşılaşma olasılığının düşük olduğu seyreltilmiş bir gazdaki atomlardan farksızdır. Otomobillerin yoğunluğu arttıkça durum değişir ve otomobillerin hareketi, bir sıvının içindeki atomlarınkine benzer, çünkü sıvının içinde atomların hareketini komşu atomlarla etkileşimi sınırlar. İşe gidiş geliş saatlerinde, yol üzerindeki araçların yoğunluğu en üst noktadayken görünür bir sebebi de olmayan bir trafikte sıkışıp kalabilirsiniz. Bu sıkışıklıklar her zaman bir yol çalışması ya da kazadan kaynaklanmaz; aslında bunlar trafiğin kendi yapısında olan istikrarsızlıktır.¹

Araç yoğunluğu daha fazla olduğunda trafik akışı kolektif bir olay olarak tanımlanabilir;² su moleküllerinin yakındaki diğer moleküllerle etkileşime geçip dalga gibi büyük ölçekli bir kargaşa yaratmasına benzer. Otoyol trafiğinde sürücüler önlerinde trafikte bir boşluk görünce genellikle kendi araçları ile önlerindeki araç

Self-Driven Many-Particle Systems”, *Reviews of Modern Physics*, 73, 1067, 2001 ve içindeki referanslar.

1 Bu içsel tıkanıklıkların bize maliyeti çok fazla olabilir; 2011’de Texas Ulaştırma Enstitüsü’nün Kentsel Mobilite Raporu’na göre trafik sıkışıklıklarının ABD ekonomisine etkisi kabaca yılda 100 milyar dolar olarak tahmin ediliyor ve bu her gün işe gidip gelen yolcu başına yılda 750 dolara denk geliyor.

2 B. S. Kerner ve P. Konhauser, “Cluster Effect in Initially Homogeneous Traffic Flow”, *Physical Review E* 48, R2335, 1993; Kai Nagel ve Maya Paczuski, “Emergent Traffic Jams”, *Physical Review E* 51, 2909, 1995; H. Y. Lee, H.-W. Lee ve D. Kim, “Origin of Synchronized Traffic Flow on Highways and Its Dynamic Phase Transition”, *Physical Review Letters* 81, 1130, 1998; B. S. Kerner, “Experimental Features of Self-Organization in Traffic Flow”, *Physical Review Letters* 81, 3797, 1998.

arasında bulunan mesafeyi artırmak için yavaşlamak yerine bu arayı azaltmak için hızlanırlar. Tek tek her sürücü bilerek kendi aracını önündekine yaklaştırdıncaya bir kümelenme oluşur. Daha hızlı olan araçlar kümenin arka ucuna yığılırken yavaşlamak zorunda kalırlar; ancak yüksek yoğunluklu sıkışıklığın içinden ilerleyip kümenin ön ucuna ulaşınca tekrar hızlanabilirler.

Trafiğin rahat akmasını sağlayan iki faktör vardır:¹ önünüzdeki araçların çoğaldığının farkında olmanız ve araç yoğunluğundaki değişikliklere tepki verme süreniz. Uzun tepki verme süresi, sürücülerin önlerindeki yoğunlukta meydana gelen değişikliklere karşılık vermelerinin uzun sürdüğü anlamına gelir ve rahat bir akış yerine, kümeler büyüdükçe büyür.

Dengesiz bir koni oluşana dek kuru kum taneleri birbirinin üzerine dökülerek yapılan bir kum yığınının benzer bu durum.² Bir kum tanesi daha eklenmesi, yığının yan tarafından toprak kaymasına yol açar. Aynı şekilde, iş çıkış saatinde araçlar gitgide büyüyen kümeler oluştururlar ve sonra trafiğin sıkışması için gereken tek şey yığının ön tarafındaki bir kişinin frene basıp ya da sadece ayağını gaz pedalından çekip biraz yavaşlamasıdır.³ Bu, geriye doğru dalga dalga yayılan bir arabalar çığına yol açıp anında bir trafik sıkışıklığı yaratır. Sadece ön taraftaki araçlar önlerindeki araç yoğunluğunun azalmasından faydalanabilir ve sıkışıklıktan kurtulup

1 Robert E. Chandler, Robert Herman ve Elliott W. Montroll, "Traffic Dynamics: Studies in Car Following", *Operations Research* 6, 163, 1958.

2 Tanecikli ortamın dinamikleri ile trafik akışı arasında hatırı sayılır bir çakışma olmasına rağmen (örneğin bakınız son yirmi yılda her iki yılda bir düzenlenen *International Workshop on Traffic and Granular Flow* tutanakları), kum dreninin dengesizliğini tanımlayan denklemler trafik sıkışıklıklarının kendiliğinden oluşumuna ilişkin modellemelerden farklıdır.

3 Takashi Nagatani, "Traffic Jams Induced by Fluctuation of a Leading Car", *Physical Review E* 61, 3534, 2000. Arşivi - <https://arxiv.org/abs/quant-ph/9904034>

hızlanabilirler. Duran araç yığınının ortasında ve arka ucundakilerin yeniden yola devam edebilmek için bu ön tarafın kendilerine kadar dağılmasını beklemeleri gerekir. Öndeki araç hareket ettiği zaman bile arkasındaki hemen hızlanmaya başlayamaz çünkü onun sürücüsünün de belirli bir tepki verme süresi vardır. Tabii, duran araçlar kümenin önü açık kısmının kendilerine ulaşmasını beklerken, yeni araçlar da durmakta ve arkadan trafik sıkışıklığına dahil olmaktadır.

Trafiğin ortalama akışı ile uyumlu bir şekilde sabit, istikrarlı bir hızla otomobil sürmeniz gerekseydi, bu durumda kendiliğinden oluşan bir sıkışıklıkta durma ihtimali ortadan kalkmakla kalmaz, aynı zamanda sizi izleyen sürücülerin de işini kolaylaştırmış olurdu. Muntazam bir hızda otomobil sürerek ve *her* boşluğu bilerek doldurmayarak öndeki yoğun araç kümesine dahil olmaktan kurtulursunuz ve gerçek bir sıkışıklık hâlinde siz oraya varmadan erimesi için ona zaman kazandırabilirsiniz. Aslında yol üzerindeki araç yoğunluğunu gidererek bir trafik dalgasının kuyruğundan çıkmayı seçmeniz gerekir. Bütün otomobiller açıklanan hız sınırında ya da ortalama aynı hızda gitseydi bu durumda bir otoyolun taşıyabileceği otomobil sayısı teorideki maksimuma çıkabilir ve siz de diğer her bir sürücü ile beraber varış yerinize daha hızlı varabilirsiniz.

Otomobiliniz gıdım gıdım ilerliyor; her taraftan sıkıştırılmış vaziyettesiniz. Trafiğin bu kadar sıkışması için çok kötü bir kaza olmuş olmalı diye düşünüyorsunuz. Sağa sola bakıyorsunuz ama güvenlik şeridinde cankurtaran görünmüyor. Sonunda önünüzdeki araçlar otoyola doğru hızlanmaya başlıyor ve kendinizi tıkanıklığın dışında buluyorsunuz. Üç kilometre daha gidince otoyoldan çıkacağınız yere varıyorsunuz ve GPS yönlendirmelerini takip edip doktorunuzun olduğu binaya geliyorsunuz. Caddenin karşı tarafındaki park rampasında

ücreti ödemek için bekleyen uzun bir araç kuyruğu var ve sizin ona yakalanmaya hiç niyetiniz yok. Bir bakıyorsunuz, hemen doktorunuzun bulunduğu apartmanın orada yol üzerindeki park alanından bir otomobil çıkıyor. Daracık bir yer ama otomobilinizin **otomatik park özelliği** sayesinde park alanına rahatça giriyorsunuz.

İnsanların paralel park yerini yanlış hesaplamalarını gidermek için otomatik park sisteminin bir otomobilin diğer otomobillere ve engellere göre tam olarak nerede konumlanmış olduğunu bilmesi gerekir.¹ Bu GPS sisteminden farklıdır, zira diğer araçlara çarpmaktan kaçınmak için daha ince bir durumsal farkındalık gerekir. Araca monte edilmiş bir bilgisayar, hidrolik direksiyon sistemi ile iletişime geçerek tekerleği ona göre döndürür ve otomobilin hangi hızla geri geri gittiğini dikkate alır (bu hız bu tür sistemlerin pek çoğunda hâlâ sürücünün kontrolündedir). Bu özellik ancak son zamanlarda kullanılabilir olmakla birlikte, otomatik park edebilen otomobilin diğer cisimlere çarpmaktan kaçınmasını sağlayan fiziksel mekanizma, radarın ve değişken zamanlı tapanın geliştirildiği II. Dünya Savaşı'ndan bu yana mevcuttur.

Radar kelimesi *radio detection and ranging* (radyo dalgalarıyla tespit etme ve menzil tayini) için kullanılan kısaltmadır.² Radar, bir cisimden yansıyan ve sonradan bir anten tarafından algılanan bir spektrumun radyo kısmındaki elektromanyetik dalgaların sinyal yayılımını ve yankı tekniğiyle mesafelerin ölçülmesini içerir. Otomatik park eden bir araçta, radyo dalgaları sinyali, otomobilin

1 Pek çok kişi otomobillerini araca monte edilmiş bir bilgisayar/navigasyon sistemine emanet etmeye karşı çıkacak olsa da ben şahsen robot hükümdarlığının paralel park etme işini devralmasını memnuniyetle karşılıyorum.

2 Bkz. örneğin, J. C. Toomay ve Paul J. Hannen, *Radar Principles for the Non-Specialist*, 3. baskı, SetiTech Publishing, 2004. <https://rantey.org>

tamponuna monte edilmiş olan bir anten/alıcı tarafından yayılır. Bu sinyal bir cisimden yansıtılır ve daha sonra da alıcıya geri gider. Dışa doğru giden sinyalin yayılımı ve yansıyan sinyalin alınması arasındaki zamanı kaydedip sinyalin hızını da bilirsiniz radar sistemi ile cisim arasındaki mesafeyi rahatlıkla hesaplayabilirsiniz. Aracın ön ve arka tamponlarına konmuş birden fazla alıcı, otomobilin diğer otomobillere göre konumunu doğru biçimde belirleyebilir. Ancak radyo dalgalarının dalga boyları oldukça büyük olduğundan dalgaları büyük cisimler kadar güçlü bir şekilde yaymayan küçük cisimleri yakalamayabilirler. Bu nedenle, otomatik park eden bazı otomobillerde yayaları ve arabadan daha küçük engelleri tespit etmek için “ışıklı radar” (radara benzer fakat daha kısa dalga boyu, görünür-ışık lazer ışını kullanır) ya da ultrasonik (kısa dalga ses dalgaları) kullanılır.

Otomatik park eden ve (otomatik olarak giden) otomobillerin kökeni değişken zamanlı tapaya¹ kadar gider. İkinci Dünya Savaşı’nda uçaksavar topunun içine top mermisinin hedefine belli bir mesafe kalana kadar yaklaştığında patlamasını sağlayan önemli bir radar uygulaması yerleştirilmişti. Topun içerisinde, ateşleme sırasında meydana gelen şiddetli sarsıntıdan dolayı kırılacak ve elektrolitle (elektriksel olarak iletken bir sıvı) dolu camdan bir kap vardı; bu, devreyi kapatıp bir radar sinyali yayıyordu. Kabuktaki bir başka devre yansıtılan dalgaları algılıyor, top hedefine yaklaşırken de sinyali artırıyor. Genellikle top hedefinden 23 metre uzakta olduğunda, yansıtılan sinyal tetiklenen yüke voltaj gönderip bombanın patlamasına sebep olacak kadar güçlüydü. Sonuç olarak, hedefi vurmak için mükemmel bir mercek gerekmiyordu, hızla hareket

1 Barry Parker, *The Physics of War: From Arrows to Atoms*. Prometheus Books, 2014, s. 241-42.

eden hedefleri vurmaya çalışırken önemliydi bu. Radarın tetiklediği değişken zamanlı tapa sayesinde yakın daha yakın oluyordu ve paralel park ettiğiniz zaman öndeki ve arkadaki arabalara ne kadar yakın olduğunuzu size söyleyen de işte bu aynı fizik kuralıdır.

*Otomobilinizi rahatça park edebildiniz ve hızla doktorun ofisine gitmeye çalışıyorsunuz ama sol ayak bileğinizdeki ağrı çok hızlı hareket etmenizi engelliyor. Park yeri kioskunda park alanınıza verilmiş olan numarayı giriyor, okuyucuya kredi kartınızı yerleştiriyor ve sokak park yerinin ödemesini otomatik olarak yapıyorsunuz. Ödemeyi yapıyorsunuz ve makine bir kâğıt makbuz çıktısı veriyor, geri dönmeniz gereken zamanı kalın ve iri puntıyla belirtiyor. Arabanıza geri dönüyor, tabletinizi kapıyor ve otomobilinizin kapılarını **anahtarsız uzaktan kumandayla** kilitliyorsunuz.*

Otomobilinizin uzaktan kumandalı anahtarsız giriş sistemi tek yönlü E-ZPass gibi çalışır.¹ Uzaktan kumandanın aç-kapa düğmelerine bastığınızda otomobilinizdeki bir alıcıya bir radyo sinyali göndererek kapılarının merkezî kilitlerini çalıştırır (hatta arabayı bile böyle çalıştırabilirsiniz). Otomobilinizdeki alıcı, kumandadan gelen radyo sinyali, radyo frekansı ayarlayıcının temelinde yatan fizik kuralı rezonansı kullanarak algılar.

Bir elektromanyetik dalgalar denizinin içinde yaşıyoruz, bunların güneş (güneş bize bütün frekanslarda ışık gönderir, en yoğun olanlar görünür ışık dediğimiz dar frekans dilimindekilerdir) kadar uzak kaynaklardan kendi vücutlarımızdan yayılan kızılötesi ışına dek değişik kaynakları var. Normal olarak etrafımızdaki elektromanyetik dalgalar üzerine hiç düşünmeyiz, arama yapmak için

1 Mark Fischetti, "Open Sesame", *Scientific American*, Ocak 2005.

cep telefonlarımızın üzerinde yeterince çubuk olmadığı zamanlar hariç. Bir radyo frekansı ayarlayıcısı ya da uzaktan giriş sisteminizdeki alıcı, sizin seçtiğiniz istasyona tekabül eden haricinde bu frekansların hiçbirini dikkate almama becerisine sahip olmalıdır ve bunu alıcı olarak bir “diyapozon” kullanarak yapar.

Bir diyapozon U şekli verilmiş uzun bir metal parçasıdır. Çarpıldığında U çubuğunun iki uzun tarafı belirli bir frekansta titreşerek havada basınç dalgaları yaratır. Diyapozon böylelikle hızlı, bir kerelik mekanik düzensizliği çatalın kendisine mahsus frekansında sese dönüştürür. Çataldaki çubukların boy, kütle ve şeklini değiştirmekle yaydığı sesin frekansı değişecektir. Diyapozonun çubuklarını titretmenin bir başka yolu da onları çatalın tam doğal frekansında ses dalgalarına maruz bırakmaktır. Başka herhangi bir frekans diyapozonun uzun çubuklarının titreşmesine sebep olmayacaktır. Bir salıngacı doğal frekansında harekete geçirdiğiniz bu olaya “rezonans” adı verilir.

Radyo frekansı ayarlayıcınız¹ ve otomobilinizdeki (veya garaj kapınızdaki ya da E-ZPass sisteminizdeki) uzaktan giriş sistemindeki alıcı ilgili tek frekansa odaklanmak ve arkadaki diğer elektromanyetik dalgaların oluşturduğu denizi görmezden gelmek için aynı ilkeyi kullanır. Elektronik devre sistemi basit sarkaç ya da diyapozondan daha karmaşıktır (gerçi elektronik hiyerarşisinde radyo frekansı ayarlayıcısının devresi daha basittir) fakat esas olarak aynı şekilde çalışır. Devre sisteminin seçilen doğal rezonans frekansında bir elektromanyetik dalga algılandığı zaman başka herhangi bir frekansa kıyasla daha yüksek bir voltaj indüklenir ve bu daha yüksek voltaj, sistemin geri kalanına gönderilir, o da elektromanyetik dalgada kodlanmış bilgiyi işler. Sarkacın rezonans

1 Bloomfield, *How Everything Works*, s. 430.

frekansını değiştirmek için telin uzunluğunu değiştirilebilirsiniz, buna karşılık bir piezoelektrik kuvars kristalinin büyüklük ve şeklini değiştirmek ise onun doğal frekansını değiştirir. Radyo istasyonunu değiştirdiğinizde, alıcının devre sistemindeki değişim radyo frekansı ayarlayıcısının rezonans frekansını farklılaştırır.

ABD’de otomobillerde kullanılan bütün uzaktan kumanda sistemlerinde 315 MegaHertz’lik aynı radyo dalga frekansı kullanılır. Bütün sistemlerde aynı frekans kullanıldığından güvenlik, prosedüre ilişkin komut ile aynı zamanda gönderilen rastgele seçilmiş doğru on iki basamaklı şifrenin bilinmesine dayalıdır. Alıcı ancak doğru kod numarasını algıladığı takdirde gönderilen diğer sinyal ile işini tamamlayacaktır (örneğin, bagajın kapağını açarak ya da otomobilin kapılarını kilitleyerek).

Alıcısı olan biri sizin uzaktan kumandalı anahtarınızın sinyalini alıp (iki radyonun aynı istasyonu dinlemesi gibi) bu on iki basamaklı kodu yakalayamaz mı?¹ Bu mümkün ama uzaktan kumandalı anahtarınızı bir sonraki kullanımınızda, parola olarak *başka* bir on iki basamaklı kod kullanılır. Dolayısıyla on iki basamaklı son kodu kullanarak arabanın kapısını açamazsınız. Alıcı bu yeni on iki basamaklı sayıyı kabul edeceğini bilir çünkü uzaktan kumandalı anahtarınızın onu üretmek için kullandığı matematiksel formül, alıcınızda kullanılanla aynıdır ve her ikisi de çıkışını aynı “tohum”dan almıştır. Bu yüzden alıcı, tek bir on iki basamaklı sayıyı algılayacaktır. Uzaktan kumandalı anahtarınıza bir sonraki basışınızda *yeni* bir on iki basamaklı sayı üretirken son on iki basamaklı sayıyı tohum olarak kullanır. Dolayısıyla bir sinyali yakalamak, arabanızı ikinci bir kez açmanızı sağlamayacaktır.

1 Matt Lake, “How It Works; Remote Keyless Entry: Staying a Step Ahead of Car Thieves”, *New York Times*, 7 Haziran 2001.

Peki ya otomobilinizden uzakta olduğunuz bir sırada uzaktan kumandalı anahtara kazara basarsanız ve otomobilinizdeki alıcı on iki basamaklı parolanın güncellendiğini bilmezse? Bu duruma mahsus olarak, alıcı doğru sayıyı bulmak için algoritmanın üreteceği sonraki on iki basamaklı 256 sayıyı hızla tarar.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Doktorda

*Doktorunuzun muayenehanesinin bulunduğu yüksek binaya girip asansör kapısına yöneliyorsunuz. Muayenehane üst katlardan birinde, bu yüzden daha fazla gecikmekten çekiniyorsunuz. Fakat asansör beklediğinizden de çabuk geliyor. **Yüksek hızlı asansör** sizi hızla katınıza çıkarmak için hızlı yükselişine başladığında anlık bir ağırlık hissediyorsunuz.*

Bir asansör esas olarak, silindir şeklindeki bir gövdeye sarılı olan bir çelik halatla birlikte bir makaradır.¹ Çelik halatın bir ucu asansör kabinine, diğer ucu da bir karşı ağırlığa bağlanmıştır. Karşı ağırlığın büyüklüğü, kabinin ağırlığını genellikle kabinin maksimum kapasitesinin yüzde kırkı olan ortalama doluluk oranı ile birlikte yansıtacak şekilde seçilir. Karşı ağırlığı kabinin ağırlığına müm-

1 David Macaulay, *The Way Things Work*. Houghton Mifflin Company, 1988, s. 65.

kün olduğunca yaklaştıracak asansörü yukarı çıkarmak ya da aşağı indirmek için gereken enerjiyi minimuma indiririz.

Bir tahterevalliyi aklınıza getirin. İki tarafında eşit ağırlıkta çocuklar oturduğunda her ikisinin de yükselip alçalması çok daha kolay olur. Bir tarafta şişman bir yetişkin, diğerinde küçük bir çocuk olduğunda ise yetişkini yükseltmek için ek bir kuvvet gerekir. Asansörde tahterevallinin bir ucu, içinde insanlar olan kabin, diğer ucu ise karşı ağırlıktır. Her ikisi de yaklaşık olarak aynı kütleye sahipse, o zaman bir tarafın yükselişi (potansiyel enerjisinde bir artışa yol açarak) diğer tarafın inişi (potansiyel enerjisinde eşit miktarda azalma ile) ile tam olarak dengelenir. Kabin/karşı ağırlık sistemi için potansiyel enerjide hiçbir net değişiklik yoksa bu durumda makarayı döndüren motorun yaptığı iş azalacaktır. Kabin tamamen boş ya da tam kapasite dolu olduğunda ise kabin/karşı ağırlık sisteminin potansiyel enerjisinde net bir değişiklik olacaktır ve enerjideki bu değişiklik motorun yaptığı ek işten gelmek zorundadır.

Asansör kabini ile karşı ağırlığı birbirine bağlayan kalın çelik halatın uzunluğu binanın yüksekliğinden biraz fazla olmak zorundadır. Asansör giriş seviyesindeyken karşı ağırlık binanın tepesinde, karşı ağırlık zemin seviyesindeyken asansör en üst kattadır.

Fakat çelik halat sadece makaraya asılmakla kalmaz. Yeterince “çengel” bulunmalıdır ki motor makarayı döndürürken halat onunla birlikte hareket edip kabinin yükselmesini ya da inmesini sağlasın. Makara esasen uzun bir silindirdir ve halat ona basit bir sürtünme ile tutunur. Yüzey alanıyla temas ne kadar fazla olursa sürtünme o kadar fazla ve sürtünme kuvveti de o kadar büyük olur. İşte bu yüzden halat silindire sadece bir kez değil, defalarca sarılır. Halatın içinde bulunduğu silindirin içine açılmış yivler (yivli bir makaraya teknik olarak “oluklu makara” adı verilir) de sürtünmeyi artırır. Silindirin merkezi, saat yönünde ya da saat yönünün tersinde ve

farklı hızlarda dönebilen bir elektrik motorunun şaftına bağlıdır. Bu şekilde asansör kabinine bağlı olan halat yukarı çekilebilir ya da gevşetilebilir.

Bir asansörün çalışmasının ardındaki temel fizik prensibi işte budur. Peki onun güvenli bir şekilde hızlı gitmesini sağlamak için ne yapmanız gerekiyor? Hız en fazla tepedeki makarayı döndüren motora bağlıdır.¹ Bir motorun içindeki bobinde değişen akım bir manyetik alan yaratır ve bu da sabit bir mıknatısın ya da elektromıknatısın manyetik alanı tarafından itilir ya da çekilir. Bu sabit mıknatıs ne kadar güçlü ise tork da yani motorun üretebildiği döndürme kuvveti de o kadar fazla olur ve yüksek dönme hızına o kadar çabuk çıkarabilir ki bu da asansör kabininin daha hızlı çıkması ve inmesi anlamına gelir.

İşin güvenlik meselesi için ise daha fazla çalışmak gerekiyor. Asansör güvenliğinin ana kuralı² fazla fazla yedekli bir sistem uygulamaktır.³ Kalın bir çelik halat, dolu bir asansör kabinini taşımak için yeterlidir; aslında çoğu asansörde dört ila sekiz halat kullanılır. Bir hatta ikisi bile kopacak olsa kabin şaftın dibine düşmez.

Sekiz halatın hepsi aynı anda kopsa dahi yine de düşmezsiniz. Asansör kabininin iki tarafında sütun boyunca uzanan dikey raylar vardır. Kabinden çıkan silindirler bu raylara yerleşip kabini tamamen dikey vaziyette tutar (binenlerin hepsi kabinin aynı tarafında dursa bile asansör yana yatmaz). Bu silindirlerde kabinin sallanıp sallanmadığını veya yalpalayıp yalpalamadığını tespit eden ve titreşimlere karşı etkileşen dengeleme kuvvetleri uygulayan ivmeölçerleri vardır (otomobilin ivmeölçerlerinden gelen girdileri takip

1 Lauren Anderson, "How It Works: World's Fastest Elevator", *Popular Science*, Nisan 2012.

2 a.g.e.

3 Şaka şaka!

ederek bir sürücünden daha hızlı ve hassas bir tarzda pompalayabilen abs fren sistemlerinden farkı yoktur bunun). Raylar boyunca kayan, daha fazla ivmelenme algılandığı takdirde de rayları tutacak olan ek asansör frenleri bulunur. Bu frenler kısıkaçları açan elektromagnetikler kullanılır, kuvvet kalmayınca kısıkaçlar emniyet mekanizması görevi görerek otomatik olarak rayların üzerine kapanırlar. Bu ray frenleri yıllardır mevcut fakat yüksek hızlı asansörler hızlı giden bir kabinin hareketini durdurmaya çalıştıklarında öyle bir sürtünme ısısı yaratıyorlardı ki frenlerdeki metal eriyordu. Bugün ise fren kısıkaçları yüksek sıcaklıklara metallerden çok daha fazla dayanabilen çok sert bir seramik malzeme ile kaplıdır. (Aynı sebeple bazı yüksek performanslı spor arabalardaki fren balatalarında da bu seramikler kullanılır.) Dönen makaranın içinde, çok hızlı dönecek olursa sabit mandalın içine geçerek silindiri durduran çengellerin durduğu bir “düzenleyici” de vardır.¹ Bu akıllı güvenlik özelliği, hızlı dönüşlerde çengellerin dönen çarkın ortasından kaçacağı ve mandalı kavrayıp duracağı gerçeğinden faydalanır.

Bir asansör şaftının içinde saatte 64 kilometreden daha hızlı hareket eden bir asansör kabininin önündeki havayı itebilmek için hatırı sayılır miktarda enerji harcaması gerekir. Kabinin tepesinde ve dibinde bulunan özel tasarlanmış bombeli ince metal folyolar kabinin aerodinamiğini geliştirerek havanın içinden hareket etmesi için ihtiyaç duyulan enerji miktarını azaltır. Hava basıncı kabinin içinde de bir sorundur, zira uzun gökdelenlerin tepesinden lobiye iniş, kulaklarınızın içinde uçak inişlerinde yaşadığımızı benzeyen rahatsız edici bir basınca yol açar. Asansör kabininin içindeki küçük fanlar inişe geçmeye başladığında hava basıncını

1 Louis Bloomfield, *How Everything Works*, 5. baskı. John Wiley & Sons, 2008, s. 123.

düzenleyebilir, böylelikle zemin kata vardığınızda basınç zaten dengelenmiş olur.

Bu yüksek hızlı asansörlerde, uçak yolculuklarından bilinen bir başka fiziksel olay daha yaşanır. Yolculuk süresini kısaltmak için, oluklu makaraya bağlı motorların çok hızlı bir şekilde gövdeyi döndürmeye başlaması gerekir. Yani dönme hızı yüksek olup kabinde geniş bir doğrusal ivmeye dönüşür. İnsanın bu ivmelenmeler sırasında yaşadığı ağırlık ya da hafiflik hissi genel görelilik teorisinin eşdeğerlik ilkesinin mükemmel bir örneğidir: Asansör kabini gibi kapalı bir odada ivmenin etkilerini kütleçekimin etkilerinden ayırt etmek imkânsızdır. Kabin yukarı çıkmaya başladığında yukarıya doğru büyük bir ivme vardır ve asansörün zemini (normal ağırlığınızı dengeleyen kuvvete ek olarak) yukarıya doğru ek bir kuvvet uygular, böylelikle ağırlığınız artmış gibi hissedersiniz. En üst kata hiç durmadan çıkışların çoğunda kabin değişmeyen bir hızla hareket eder, bu yüzden kendinizi normal ağırlığınızda hissedersiniz. Fakat tepeye yaklaşırken, kabin yavaşlamaya ihtiyaç duyar ve asansörün zemini aşağıya doğru büyük bir kuvvet uygular, böylelikle görünür ağırlığınız azalır. Bu, bazı uçakların kontrollü bir parabolik kavis çizdiklerinde, o yükseklikte yolcuların kısa bir süre yaşadığı ağırlıksızlık hissini minik bir versiyonudur.

Doktorun muayenehanesine varıyorsunuz, kaydınız yapılıyor ve bir dizi formla birlikte bir klipsli kâğıt altlığı veriliyor; formlarda her gelişinizde verdiğiniz bilgiler soruluyor. Sağlık sigortanızda hiçbir değişiklik olmamasına rağmen hasta kabul görevlisi sigorta kartınızı soruyor, iki tarafının da fotokopisini çektikten sonra oturmanızı söylüyor. Bekleme odasında otururken akıllı tabletinizi açıp şifrenizi giriyorsunuz. Ekranda açılış sayfası geliyor; zaman, hava sıcaklığı ve bir dizi uygulama simgesi görünüyor. Hasta kabul görevlisine bek-

leme odasında **wi-fi** (kablosuz internet) olup olmadığını soruyorsunuz. Size ağın şifresini veriyor ve biraz sonra tabletinizde onların sistemine bağlandığınızı gösteren eşmerkezli dairesel yaylar görüyorsunuz. Uygulama simgeleri ile dolu bir başka sayfaya parmağınızla dokunup havayolunuzunkini seçiyorsunuz. Önceki gece çevrimiçi check-in yapmıştınız fakat şimdi uçağınızın zamanında kalkacağından emin olmak istiyorsunuz. Ekranı havayolunun web sitesi geliyor. UÇUŞ DURUMU'na dokunuyorsunuz ve site sizden uçuş numarasını ya da kalkış ve iniş yerini istiyor. Uçuş numaranızı bakmadan hatırlayabiliyorsunuz, çünkü doğum yılınızla aynı. Bu bilgiyi girince kısa bir bekleme oluyor ve sonra ekranda uçağınızın ZAMANINDA kalkacağı bilgisi ile birlikte kapı bilgisi geliyor. Çok iyi bildiğiniz bu havaalanında çıkış kapınızın TSA¹ güvenlik alanından epey uzakta olduğunu fark ediyorsunuz. Umarım uçağa koşturmak zorunda kalmam (bu ayak bileğiyle) diyorsunuz. Tam ne kadar bekleyeceğinizi soracakken hemşire gelip sizi çağırıyor.

Bir havayolunun web sitesini ilgili simgeye dokunarak ziyaret etmek gibi basit bir işlemin içinde bile çok çeşitli fiziksel olaylar vardır. Birinci olarak, tabletiniz bir web sitesine her eriştiğinde aslında bir telefon araması yapmaktadır. Telefon hattının açık olduğunu belirten çevir sesi yerine, tabletinize (ya da akıllı telefona ya da dizüstü bilgisayara) bakıldığı zaman cihazın en yakın kablosuz yönlendiricinin belirli radyo frekansı sinyalinin algıladığını onaylayan bir dizi eşmerkezli yay görülür. (Veri planınızı kullanırken de aynı fiziksel kural geçerlidir, dolayısıyla kablosuz internetle devam ediyoruz.) İnternet tarayıcısına yazdığınız web sitesi adresi aslında kabaca bir telefon numarasının eşdeğeri olan bir sayısal adrese verilen bir

1 Ulaşım Güvenlik İdaresi. —ç. n.

takma isimdir.¹ Telefonla arama yaptığınızda sizin telefonunuzdan çıkan numarayı aradığınız numaraya yönlendirmek için en uygun yolu belirler. Web siteleri söz konusu olduğunda ise, istenen site-nin sponsoru olan ana bilgisayarın konumuna sahip atanmış bazı sunucular vardır. Ana bilgisayar siteyi ziyaret ettiğiniz zaman size sunulacak bütün bilgiyi (format ve içeriği) depolar.

Akıllı tabletiniz erişmek istediğiniz web sitesi için gereken bilgiyi içeren gerekli sekansta voltaj darbelerini gönderen bir diğer bilgisayar ile radyo dalgaları (wi-fi)² aracılığıyla iletişim kurar. Sabit telefon aramasında bilgi iletimi daha önce analog formatta yapılırdı. Şimdi ise çoğu telefon, tabii sizin akıllı tabletiniz de geniş bir dijital bilgi akışını, yani bir dizi bir ve sıfırı işler. Bu da hayırlı bir durum, çünkü tablet ya da akıllı telefondaki yarıilet-ken işlemciler çok hızlı olmasına rağmen kendilerinin pek akıllı olmamasıdır.

Analog ile dijital arasındaki fark, sürekli değişen bir şey ile ancak kesikli adımlar hâlinde değiştirilebilen bir şey arasındaki farktır.³ Örneğin harici hoparlörlerin ürettiği ses dalgaları analog dalgalar-dır, zira genlik ve frekansları sürekli değişim gösterir. Hoparlörün diyaframına nasıl titreşmesi gerektiğini söyleyen gerilim analogdu ama artık bunu genellikle pek çok küçük voltaj bir araya getirilerek oluşturulan dijital voltaj yapıyor. Bir dijital voltajda kullanılan voltaj adımları ne kadar küçük ise dijital sinyal, hoparlörlere gönderilmesi gereken analog voltaja dönüştürüldüğünde gerçek, düzenli tarzda değişen sinyali o kadar yakından yansıtır.

1 Andrew Blum, *Tubes: A Journey to the Center of the Internet*. HarperCollins, 2012, s. 29-30, 49-55.

2 Söyleniş yüksek sadakatli ses sisteminin kısaltılmışı olan “hi-fi”a benzese de “wi-fi” hiçbir şeyin takma adı ya da kısaltması değildir.

3 Barry M. Lunt, *Marvels of Modern Electronics: A Survey*. Dover, 2013, s. 173-75.

Dijital sinyaller bir analog sinyaldeki gerçek voltajın yaklaşığı olmalarına rağmen akıllı tabletler gibi cihazlarda belirgin avantajlara sahiptirler. Dijital telefonlar yokken uzun mesafe iletişim zordu ve telefon genellikle çekmezdi. Bunun nedeni metalik telefon kablosu ile gönderilen analog voltajın kablonun içindeki gürültüden etkilenmesiydi (gürültü, örneğin kablodaki elektronların gelişigüzel hareketinden kaynaklanır ve göndermek istediğiniz sinyalle rekabet eden voltaj dalgalanmalarına neden olurdu). Daha güvenli bir bilgi iletim yöntemi¹ ise Morse kodlu telgraf sisteminde sayı ve harfleri temsil eden nokta ve tireler gibi bir dijital kod sistemi kullanmaktır. Bu şekilde, bazı dijital bitler kaybolsa bile mesajın içeriği alıcı tarafından anlaşılabilir. Ayrıca iletilen mesajınızın başkası tarafından yakalanmasını ve okunmasını istemiyorsanız tam bir analog sinyal yerine bir dizi bir ve sıfırdan oluşan bir kodlama yapmak daha kolaydır ki bu çevrimiçi ticaret için çok önemlidir.

Ekranınız “piksel” denilen birbirine çok yakın bir dizi noktadan oluşur² ve tabletin aldığı dijital kod, her bir piksele parlak mı karanlık mı olacağını ve hangi renkteki filtrelerini aktive edeceğini söyler. Her bir piksel vücudunuzdaki tek bir hücrenin yaklaşık on katı büyüklüğündedir, dolayısıyla imajın yapısındaki grenliliği görmeyiz. Bütün bu parlak ve karanlık noktalardan yüksek çözünürlüklü bir imaj oluşur. Çoğu tablette ekranın boyu yaklaşık 1.500 piksel ve eni 800-1.000 pikseldir. Bütün bu noktaların toplamı bir milyondan fazla piksel veya bir “Megapiksel” eder.

Tabletiniz bu milyonlarca pikselin her birinin durumunu izler. Ekranın belirli bir noktasına, örneğin UÇUŞ DURUMU yazılı

1 Örneğin bkz., John R. Pierce, *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals and Noise*, gözden geçirilmiş 2. baskı. Dover 1980.

2 Örneğin bkz., Jiun-Haw Lee, David N. Liu ve Shin-Tson Wu, *Introduction to Flat Panel Displays*. John Wiley & Sons, 2009.

kutuya dokunarak tabletin içindeki işlemciye bir sinyal gönderirsiniz. Bu şekilde tabletinize web sitesinin dijital veri akışını gönderen bilgisayarla iletişim kurarsınız. Web sitesini barındıran ana bilgisayar yeni bir dizi komut göndererek yanıt verir ve tabletinizdeki görüntü değişip uçuş numaranızı sorar. Bu bilgiyi girdiğiniz zaman sunucu bilgisayar başka bir veri akışı gönderir ve görüntü bir kez daha değişerek size uçuşunuzun vaktinde başlayacağını bilgisini verir.

*Hemşire sizi iç içe odalardan geçirip, muayene odasına almadan önce koridorda boyunuzu ve kilonuzu ölçüyor. Tıbbi geçmişinizle ilgili standart listedeki soruları soruyor ve yanıtlarınızı yanında getirdiği küçük bir dizüstü bilgisayara giriyor. Ardından kelimenin tam anlamıyla onlarca yıldır değiştirmedği bir aletle tansiyonunuzu ölçüyor. Sonra da stetoskop kullanmak yerine parmağınıza küçük mandala benzer plastik bir klip takarak nabzınızı ölçüyor. Tansiyonunuzu ve nabzınızı kaydettikten sonra da **elektronik termometre** ile vücut sıcaklığınızı ölçüyor. İnce bir cam tüpü dilinizin altına iğreti bir şekilde koyulup dakikalarca o şekilde tutmak yerine elektronik termometrenin vücut sıcaklığınızın normal olduğunu göstermesi için ağzınızda sadece birkaç saniye tutmanız yeter. Hemşire bunu da elektronik çizelgenize kaydediyor ve ayrılırken birazdan bir teknisyenin gelip sizi röntgen (x-ray) çektirmeye götüreceğini haber veriyor.*

Eski usul cam termometreler¹, iki ucu mühürlü ve bir kısmı bir sıvı ile (cıva veya kırmızı renkli alkol) doldurulmuş küçük, içi oyuk bir silindirden oluşuyordu. Termometrenin bir ucu bir cisimle (örne-

1 Mark W. Zemansky, *Heat and Thermodynamics*, 5. baskı. McGraw-Hill, 1968, s. 9-14.

ğın vücudunuz, dilinizin altındaki bir nokta) temasa geçiriliyor ve sıcaklık odanınkinden fazla ise sıvı genişleyip silindirin içinde yükseliyordu.

Cam silindirin içindeki sıvının yüksekliğinin belirli bir sıcaklığa denk düştüğünü nereden biliyoruz? Termometrenin ucunu bir buz banyosunun (0°C ya da 32°F) içine sokup sıvının yüksekliğini kaydettikten sonra onu kaynayan su (100°C ya da 212°F) tenceresine daldırdığınızda sıvının yükseldiğini göreceksiniz ki sıcaklık yükseldikçe bunu düzgün ve homojen bir şekilde yapması gerekiyor. Bunun için en uygun olan cıvadır, zira -38°F 'a kadar sıvı olarak kalır ve ancak 674°F 'ta kaynar. Kırmızı renkli alkol 173°F 'ta kaynar ve bu insanın vücut sıcaklığını ölçmek için yeterlidir.

Peki ama ister cıva ister alkol olsun sıvının yüksekliği sıcaklık ile birlikte neden değişir? Cisimler ısıtıldıkları zaman genişlerler dersek cam silindir de genişlemeyecek mi, dolayısıyla sıvının yüksekliğinde hiçbir net değişiklik olmamalı mıdır? Sıcaklık ister katı ister sıvı ister gaz olsun bir cisimde atom başına düşen ortalama enerjiyi temsil eder. Pek çok maddede, atomlar arasındaki kuvvetin bir yöne doğru çekişin diğerinden biraz daha fazla olmasını sağlayan fazladan küçük bir bileşen ("anharmonik terim" denir) vardır. Bu, sıcaklığın artmasıyla birlikte atomun küçük ama gerçek bir net görelî yer değişimine yol açar. Bir madde ısıtıldığı zaman hacmindeki artış miktarı atomların ayrıntılı dizilimine ve maddeyi bir arada tutan kuvvetlerin kesin niteliğine bağlı olacaktır. Camın cıvadan da alkolden de daha küçük bir anharmonik terimi vardır, dolayısıyla termometredeki sıvıyı ısıttığınız zaman sıvı cam kabından daha hızlı genişler.¹ Isının camdan iletimi zayıftır (iyi bir

1 Mühendisler bir cihazın iç içe geçmeli dışlılar gibi parçaları arasındaki boşluğun ısıyla değişmemesi için malzemelerin termal genişlemesine çok dikkat etmelidir. Ancak termal genişleme bazen avantaj olarak da kullanılabilir. Örneğin, bir tarafı bir metalden, diğer

termal yalıtkan olmasının sebebi de budur), dolayısıyla sıvı dolu cam tüpten oluşan bir termometrenin, cıva ya da alkolün hasta ile aynı sıcaklığa ulaştığından emin olmak için bir süre dilin altında termal temas hâlinde tutulması gerekir.

Sıcaklıkla uyumlu bir şekilde kolayca değişen bir fiziksel özelliğe sahip olması koşuluyla her türlü sistem termometre olarak kullanılabilir.¹ Bu katı cisimlerin yalnızca yapısal değil elektronik özelliklerini de içerir. Metaller, yüksek sıcaklıklarda atomik titreşimleri arttığı için pek iyi elektriksel iletken değildirler. Sallanan atomlar, tıpkı kusurlar ekmek kızartma makinesinin kablosunun rezistansını artırdığında olduğu gibi, elektrik akımını yayabilirler. Buna karşılık yarıiletkenler pek iyi iletken değildir, çünkü elektronlarının tümü atomlar arasındaki kimyasal bağlara kilitlenmiştir. Sıcaklığı artırmak bazı elektronların bir anlığına kimyasal bağ sınırlamalarını terk edip elektrik direncini önemli ölçüde düşürmelerine olanak tanır. Metal ya da yarıiletken bir rezistansın elektrik iletkenliğinin sıcaklıkla birlikte nasıl değiştiği ayarlanarak, bunların ölümeleri termal sensör olarak kullanılabilir.

Sıcaklığı elektriksel olarak ölçmenin bir diğer yaygın tekniği de “termokupl” denilen bir cihazın kullanılmasıdır. İki benzemez metal tek bir noktada birleştirildiğinde sıcaklığa duyarlı bağlantıda bir voltaj oluşabilir.² Farklı metallerin hacim başına düşen serbest

tarafı başka bir metalden oluşan uzun bir metal düşünün. Bobine dönüştürüldüğünde bu iki metalli şerit –her bir metalin farklı bir termal genleşme oranı olduğu için– sıcaklığa bağlı olarak çözülür veya sıkışır. Eski model termostatlar kullanılan bu tip sıcaklığın fonksiyonu olarak sarılması ve çözülmesi özelliğini şalteri mekanik olarak hareket ettirmek için kullanırlardı, böylelikle fırından gönderilen ısı artırılır veya azaltılır ya da önceden ayarlanmış bir sıcaklığa ulaşıldığında ekmek kızartma makinesi kapanırdı.

1 Guy K. White, *Experimental Techniques in Low-Temperature Physics*, 3. baskı. Oxford Science Publications, 1979, s. 83-122.

2 D. K. C. MacDonald, *Thermoelectricity: An Introduction to the Principles*. Dover Books, 2006, s. 12-15; White, *Experimental Techniques in Low-Temperature*

elektron sayıları farklı olacak, bu yüzden de bir metalin diğerinden daha fazla mobil elektronu olabilecektir. Metaller bağlandığı zaman bir metaldeki bazı elektronlar diğerine taşınacaktır, tıpkı gaz atomlarının yüksek basınçlı bir bölgeden alçak basınçlı bölgeye genişmesi gibi. Bağlanmazdan önce her bir metalde aynı sayıda negatif elektron ve pozitif yüklü iyon varken, birleşmelerinden sonra birleşme noktasının bir ucundan diğerine net bir elektrik yükü farkı olur. Böylece iki metal arasında küçük ama ölçülebilir bir voltaj oluşur. Metalik birleşme noktasının sıcaklığı değiştikçe bazı elektronlar bir taraftan diğerine geçerler böylece bu voltaj sıcaklık değiştikçe farklılaşır. Metaller aynı zamanda çok iyi ısı iletkenidir, bu nedenle bu elektronik termokuple tabanlı termometre net sıcaklığı çok hızlı okur. Termokupl birleşme noktasının ürettiği ya da bir metalin ya da yarıiletkenin rezistansındaki sıcaklığa bağlı değişimden oluşan voltaj, ölçülen sıcaklığı göstermesi için bir sıvı kristal ekrana (LCD - *liquid crystal display*) talimat veren, elektronik termometredeki bir sensör çip tarafından algılanır.

Teknisyen sizi başka bir odaya götürüyor. Odada, üzerinde beyaz hijyenik örtü serili genişçe bir muayene masası var. Size rahatsızlık veren ayağınızdaki ayakkabıyı çıkarmanızı söylüyor. Muayene masasının üstüne dikdörtgen şeklinde siyah bir tepsi koyup ayak bileğinizi onun üzerine koymanızı istiyor. Ayak bileğinize uygun şekli vermek için tuhaf bir açıda uzanmanız gerekiyor. X ışınlarının kaynağı odanın tavanından indiriliyor. Teknisyen ayağınızın baktığı yönü kontrol ediyor ve belden yukarınızın ve karnınızın üzerine kurşun kaplı bir önlük geçiriyor. Koruyucu duvarın arkasına geçiyor ve röntgen cıha-

*zını kısa bir süre çalıştırıyor. Hafif bir vınlama sesi duyuluyor ve **x ışını taraması** bitiyor. Teknisyen tarama sırasında ayağınızın oynadığını hemen fark etmiş olacak ki ayağınızın duruşunu yeniden ayarlamaya geliyor. Hiç kıpırdamadan durmak için çaba gösteriyorsunuz ve bu defa tarama başarılı oluyor. Çekilen görüntünün ne zaman alınabileceğini sorduğunuzda, teknisyen ayak bileğinizin yüksek çözünürlüklü röntgenini bilgisayar ekranında gösteriyor. Görüntünün doktorunuza elektronik olarak gönderildiğini söylüyor ve ayakkabınızı giydikten sonra sizi muayene odasına götürüyor. Doktorun birazdan sizi göreceğini söylüyor.*

X ışınları tıpkı radyo dalgaları, mikrodalgalar, görünür ışık ve ultraviyole ışık gibi elektromanyetik ışımadır. Onları üretmenin en yaygın yöntemi olarak, daha önce pek çok kez bahsi geçen, değişen elektrik akımlarının değişen manyetik alanlar yarattığı şeklindeki fizik prensibinden yararlanılır. X ışını tüpünde, bir kablo tüpün bir ucundaki elektronları koparır ve öteki uçta bulunan kafes örgünün üzerindeki pozitif voltaj da bu elektronları çeker ve onları çok yüksek bir kinetik enerjide hızlandırır.¹ Cihazın bütünü, vakum tüpünün öncülü olan havası alınmış (bu, elektronların hava molekülleriyle saçılmasını minimize eder) bir cam kavanozun içine kapatılmıştır. Elektronların çoğu pozitif yüklü kafes örgüdeki kablolarla çarpmadan kafesin aralıklarından hızla geçer ve sonra onları kasten ve hızla yavaşlatan negatif voltajlı bir başka tablaya ulaşır. Elektronun hareketindeki her değişiklik elektromanyetik dalgaların yayılımına neden olur (ekmek kızartma makinesinin telinden gelen kırmızı ışığı hatırlayın). Uygun koşullarda, hızlanmış olan elektronların

1 Robert Eisberg ve Robert Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, 2. baskı. John Wiley & Sons, 1985, s. 40-43.

çabucak yavaşlaması tek bir atomun büyüklüğüne yakın çok kısa dalga boyuna sahip bir ışık verir ki buna X ışını denir.¹

X ışınları ayak bileğiniz gibi katı bir cismin içine girdiklerinde cismin içindeki elektronlarla etkileşime geçerler.² Bu elektronlar X ışınlarını gelişigüzel yönlendirilmiş aynalar gibi yayarlar, böylelikle X ışınlarının bir kısmı detektör plakada düzgün bir çizgi hâlinde devam ederken çoğu farklı yönlere yansır. Bir atomun içinde ne kadar fazla elektron varsa X ışınlarını saçmada o kadar etkindir. Karbonun sadece altı elektronu vardır, dolayısıyla içinden çok miktarda x ışınının geçmesine imkân verir. Kurşunda seksen iki elektron vardır ve X ışınlarını saçmada daha etkilidir. İşte bu yüzden de X ışınları kurşunun içine girmezler. Altında yetmiş dokuz elektron vardır ve X ışınları için kurşun kadar ışık geçirmezdir. (Gayet açık nedenlerle,³ doktor muayenehanelerinde istenmeyen X ışınlarına maruz kalmayı önlemek için kullanılan koruyucu önlükler altından yapılmazlar.)

Bir su molekülünde yalnızca on elektron vardır (sekizi oksijen atomundan ve birerden iki tane de hidrojen atomundan) ve dolayısıyla X ışınlarını etkili bir şekilde yaymaz. Büyük oranda sudan oluştuğumuz için biz de yaymayız ve X ışınları da vücudumuzdan kolayca geçer. Bir kalsiyum atomunda yirmi elektron vardır ve X ışınlarını yayma konusunda su moleküllerinden çok daha etkilidir. İskeletlerimiz X ışını görüntülerinde parlak çıkar çünkü kemiklerimizdeki atomlar detektör plakadan gelen X ışınlarını yansıtır. Dişinizdeki bir boşluk ya da kemikte kırık gibi atomların olma-

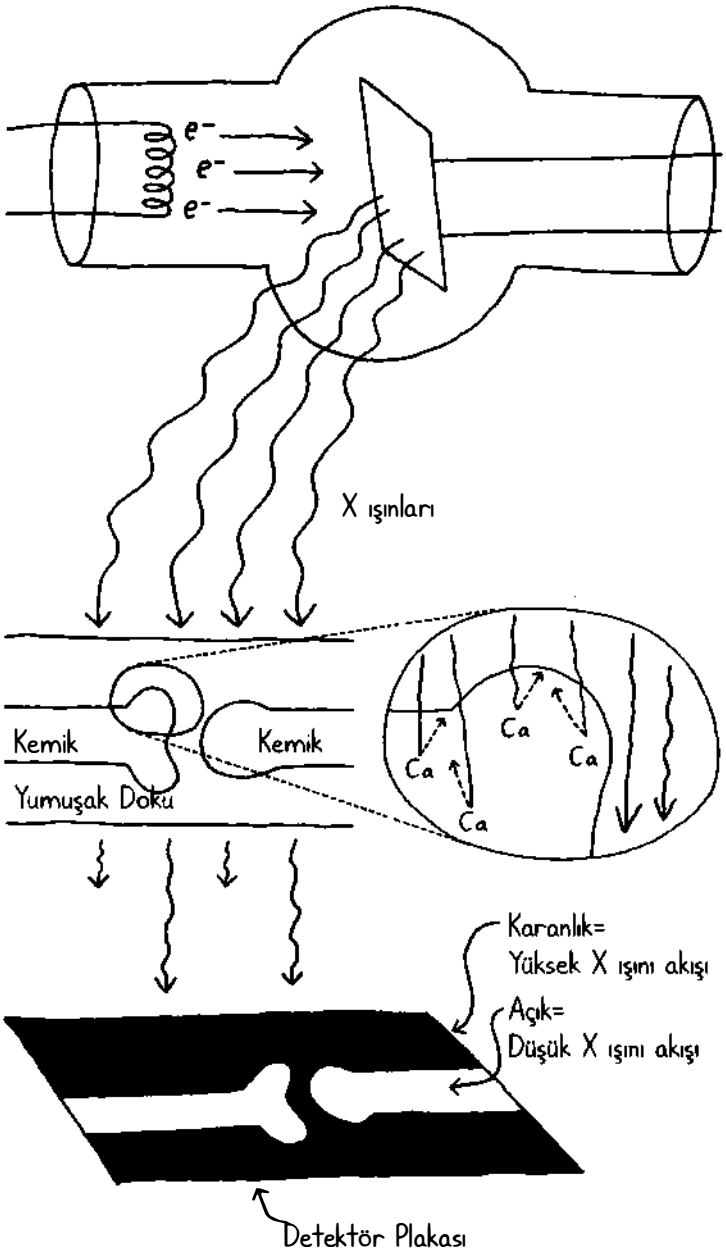
1 Fizikçiler bu ışığa “hız kesimli ışınım”ın Almanca’sı olan “*bremssstrahlung*” adını verirler.

2 Örneğin bkz. William H. Zachariasen, *Theory of X-Ray Diffraction in Crystals*. Dover, 1967.

3 Son derece pahalı olmasının yanında, onu kullanan doktorlar sürekli soyulurdu!

dığı bir bölge X ışını yaymaz ve bunun sonucunda daha fazla X ışını akışı detektör plakada daha koyu bir bölge olarak görünür. Yumuşak dokuda bile atomların daha yüksek yoğunluklu olduğu kısmı çevreleyen malzemeden daha fazla yansıtıcısı olacak ve bu kütle X ışını taramasında tespit edilebilecektir. Kontrastı artırmak için bazı X ışını taramalarında iyodin (53 elektronlu) ya da baryum (baryumun tek başına 56 elektronu ve sindirim sistemi taramalarında kullanılan baryum sülfatın 104 elektronu vardır) bileşiklerini içeren bir sıvının ağız yoluyla alınması gerekir. Bu moleküllerin birleşimi X ışını yayma yeteneklerini artırır ve doktorun X ışını demetinin yoğunluğunu tehlikeli seviyelere çıkarmasına gerek olmaksızın net bir görüntü elde edebilmesini sağlar.

Yüzeyin altında bulunan yapıları görüntülemek doktorlar ve teşhis uzmanları için büyük fayda sağlamasına rağmen yalnızca tek bir iki boyutlu enstantaneden derlenebilen bilgi miktarının bir sınırı vardır. İdeal olan, üç boyutlu eksiksiz bir görüntüdür. Vücudunuzun içindeki X ışını yayan belirli bir kütle iki boyutlu olarak büyük, üç boyutlu olarak ise krep gibi incecik olabilir. Bu “krep” X ışını görüntüsü ona kenardan bakar şekilde yönlendirilseydi, uzun ama dar bir kama gibi görünecek ve endişelenecek bir şey olmayacaktı. Tam bir 3D görüntü, yayılan yapının gerçek büyüklük ve ölçüsünü doğru bir şekilde gösterebilir. Elbette ki sadece birbirine dik açılarda iki konuma güvenilmez (vesikalık fotoğraf gibi), zira kütle sadece bir plakada ya da ötekinde görünerek işbirliği yapmayabilir. X ışınlarını kullanarak tam, üç boyutlu bir görüntü elde edebilmek için birden fazla görüntü çekmemiz ve her bir taramanın da biraz farklı bir pozisyonda yapılması gerekir. Dilimler hâlindeki bir dizi X ışın görüntüsünü birleştirerek üç boyutlu görüntü oluşturma sürecine “tomografi” denir. Bu işlem, gölgeleri çözümlemek ve tam bir üç boyutlu görüntü elde etmek için bilgisayarla yapıldığında



ŞEKİL 3

gerçekleştirilen X ışını görüntülemeye ise “computer-aided tomography”nin (bilgisayar destekli tomografi) kısaltılmış hâli olan CAT taraması ya da CT tarama denir.¹

Tomografi (Yunancada *kesit kesit yazmak*), yüzeyin altına nüfuz edebilen bir prob (X ışını ya da ses gibi) kullanarak ardı ardına görüntüler alma sürecidir. Kesitlerin bir cismin içinden sistematik olarak hareket etmesiyle tam bir üç boyutlu görüntü oluşturulabilir. Masanın üstünde duran bir portakalı, masa yüzeyine paralel dilimler kullanarak görüntülediğinizi düşünün. En üstteki dilim küçük bir nokta olacaktır. Dilimleme düzlemi masanın yüzeyine doğru yaklaşırken, görüntüler büyüyen daireler şeklinde olacaktır. Portakalın ortasını geçince dilimler küçülecek ve portakalın en altında son dilim küçük bir noktadan ibaret olacaktır. Her bir dairenin çapının farklı olduğu bu tek tek dilimleri karşılaştırıp birleştirdiğinizde, portakalın küre şeklinde olduğu sonucuna varacaksınız. Öte yandan, aynı işlemi içinde çorba olan bir konserve kutusu üzerinde gerçekleştirildiğinde ardı ardına sabit büyüklükte bir dizi daire görüntüsü elde edeceksiniz, bu da çorbanın bir silindirde muhafaza edildiğini gösterecektir. Bu basit analizler elle yapılabilir; aynı işlemlerin bir insanın üzerinde yapılması için görüntü dilimlerini oluşturan bir bilgisayara ihtiyaç vardır. Aynı ayrı dilimlerin sayısı ne kadar fazlaysa, ortaya çıkan görüntü de o kadar net olacaktır fakat bu aynı zamanda tek bir iki boyutlu görüntülemeden farklı olarak X ışınlarına daha uzun süre maruz kalmayı gerektirir.

Bir dakika sonra doktor geliyor. Selam veriyor ve nasıl olduğunuzu soruyor. İyiyim diyorsunuz, tabii sol bileğinizdeki ağrı hariç, bu sa-

1 Jerrold T. Bushberg, J. Anthony Seibert, Edwin M. Leidholdt Jr. ve John M. Boone, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 3. baskı. LLW, 2011, s. 312-75.

*bah gelmenizin sebebi de o zaten. Doktor dizüstü bilgisayarındaki dosyanızdan bir görüntü açarak ayak bileği röntgeninizi gösteriyor ve oradaki küçük artrite işaret ediyor. Daha artrit için çok genç olduğunuzu söyleyerek itiraz edince doktor bunun eski bir atletik yaralanmanın sonucu olduğunu öne sürüyor. Belki de yıllar önce okulda mikro çatlak oldu ama sadece bileğinizin şiştiğini zannettiniz. Doktor bir kortizon iğnesinin ağrınızı azaltacağını söylüyor iyimserlikle. İğneyi tam olarak iltihabın olduğu yere yönlendirmesi için, iğne **ultrason görüntüleme** kullanılarak yapılacak. İşlem yaklaşık bir saat sürüyor ve ultrason da o gün için tamamen dolu. Günün geri kalanını şimdiye kadar yaptığınız gibi geçirmeniz gerekecek. Doktor hasta kabul görevlisinden kortizon iğnesi için randevu alabileceğinizi söylüyor ve size şimdilik kuvvetli bir analjezik veriyor.*

Ses bir dalga olayıdır ve şaşırtıcı olabilir ama görsel bir araç olarak da kullanılabilir. Tıpta ses dalgaları hastanın iç organlarına ilişkin görsel bilgi edinmek için kullanılabilir. Elektromanyetik dalgalar boş uzayın içinden yayılabilirken, ses dalgaları bir ortam (gaz, sıvı ya da katı) tarafından desteklenmeden var olamaz. Sonografi olarak bilinen ultrason görüntülemede ortam sizin vücudunuzdur.¹ Sesin hızının ortamın yoğunluğu ile birlikte değiştiği gerçeği ultrason görüntülemenin temelini oluşturur.

Ses dalgaları bir ortamın yoğunluğundaki periyodik değişikliklerdir. Bir gitarın telini tımbırdattığınız zaman, telin kendi özellikleri (gerilim, kütle ve uzunluk) tarafından belirlenen tanımlı bir frekansta titremesine neden olursunuz. Tel titreirken telin ortasının belirli bir frekansta yukarı aşağı hareket ettiğini düşünün.

1 Örneğin bkz., Marveen Craig, *Essentials of Sonography and Patient Care*, 3. baskı. Saunders, 2012; James A. Zagzebski, *Essentials of Ultrasound Physics*. Mosby, 1996.

Yay yukarı doğru hareket ederken hava molekülleri ile çarpışır ve onları telin hareket ettiği yöne doğru iter. Tel tarafından itilen hava önündeki moleküllerle beraber yığılarak arkasında hava moleküllerinden nispeten arındırılmış bir alan bırakır. Tel aşağıya doğru sallanırken hareketinin yönündeki havayı rahatsız eder. Bir sonraki yukarıya doğru salınımında, tel yine hava moleküllerinin daha yoğun bölgeye yığılmasına yol açar. Dolayısıyla, titreşen yay, dışarıya doğru yaydığı üstündeki ve altındaki havanın yoğunluğunda periyodik modülasyona sebep olur.

Ses su gibi sıvıların içinde de aynı fiziksel süreç aracılığıyla hareket eder ve dolayısıyla ses dalgaları içimizde yayılabilir. Dalgaların hızı sıvı ortamın özelliklerine bağlıdır ve diğer bütün etmenler eşit olduğunda, ortam ne kadar yoğun (yani atomlar birbirine ne kadar yakın) ve ortamın atomları arasındaki bağlantı ne kadar zayıf ise ses dalgaları da onun içinde o kadar yavaş yolculuk eder. Ses dalgaları sesin hızının değiştiği iki ortam arasındaki arayüzde çarpıştığında, dalgalardan bazıları bu sınırdan yansıyacaktır. Ultrason cihazı ses dalgalarının kaynağının konumu değişirken yansımadaki değişiklikleri ölçerek bir kişinin içindeki yoğunluk farklılıklarını ayrıntılı bir şekilde gösterebilir.

Medikal görüntüleme uygulamalarında kullanılan tipik ultrason jeneratörleri, saniyede yaklaşık iki ya da üç milyar devirdir ki bu, tam işitme kapasitesine sahip bir insanın algılama alanının bile çok üzerindedir. Bu denli yüksek frekansa sahip ses dalgalarının uygun bir şekilde kısa dalga boyu vardır ve görüntüleme için arzu edilen budur. Dalga boyu ne kadar kısaysa dalgaları yayabilen özellikler de o kadar azdır (otomatik park etme özellikli arabanın kullandığı ışıklı radar konusundaki gibi). Dalganın komşu tepeleri arasındaki ayırım 91 cm ise dalga 2,5 cm'nin sekizde biri uzunluğundaki bir cisme çarptığı zaman dalgada meydana gelen önemli değişiklikler

algılanamayacaktır.¹ Vücuttaki küçük ölçekli yapıları algılamak için ultrasonik görüntüleme cihazları görünür ışığına yakın bir dalga boyuna sahip ses dalgaları kullanırlar. Fakat görünür ışıktan farklı olarak, bu ses dalgaları insan yüzeyinin içinden geçerek iç organlardan yansıtılabilirler.

Bir ultrason görüntüleme sisteminde ses dalgalarını piezoelektrik bir malzeme üretir. Pozitif ve negatif kutup arasında düzgün bir tarzda salınan değişken voltaj kullanarak piezoelektrik malzemenin sıkıştırılmış ve genişmiş hacimler arasında gidip gelerek titreşen bir gitar telinin yaptığı gibi ses dalgaları yaratmasını sağlayabiliriz. Çok yüksek frekanslarda titreşen piezoelektrik malzeme, kristal ile temas hâlindeki herhangi bir ortamda (vücudunuzdaki sıvı gibi) basınç dalgaları üretir. Ultrason çekilmeden önce cildinize jel sürülmesinin sebebi, ses dalgalarının piezoelektrik güç çeviriciden vücudunuza aktarımını iyileştirmektir (buna “empedans uyumlama” denir). Dalgalar içinize doğru hareket ederek ses dalgasının hızında farklılıkla sonuçlanan bir yoğunluk değişiminin olduğu bir arayüzde yansıtılırlar. Yansıtılan dalgalar daha sonra piezoelektrik malzeme tarafından algılanır, o da katı cismi sıkıştıran ve genişleten salınan basınç dalgalarına maruz kalıp işlenen ve bir görüntüye dönüştürülen bir voltaj üretir. Hemen fark edilmeyen bu arayüzler ortaya çıkan ultrason görüntüsünün kontrastını azaltır. Ultrason dalgalarının kaynağının pozisyonunu değiştirmek, çeşitli açılardan gelen yansımalar yaratarak basit bir tomografik görüntüleme prosedürü gerçekleştirir. Görüntü elde etmeye yönelik mühendislik ve veri işleme oldukça karmaşıktır ancak bu cihazların fizik prensibi

1 Tek tek atomların ya da küçük moleküllerin optik mikroskopla görülememesinin sebebi budur. Görünür ışığın dalga boyu bir atomun çapından kabaca bin kat daha büyüktür. Tek tek atomları görüntülemek için, elektron mikroskopundaki gibi kuantum mekaniği yöntemlerine başvurmak gerekir.

özünde gece pencereden bakarken yansımanızı gördüğünüz zaman iş başında olan ile aynıdır.

*Hasta kabul görevlisinin masasında durup ultrason ve kortizon iğnesi için randevu almak istiyorsunuz. Fakat görevli, doktorun istediklerini bilgisayar ekranında kontrol ederken yazılanı yanlış okuyor ve **manyetik rezonans görüntüleme (MRI)** için randevu almanız gerektiğini zannediyor. İşlemi hangi hastanede yaptırmak istediğinizi ve dövmeniz olup olmadığını sorunca bir yanlış anlama olduğunu fark ediyorsunuz. Bir dakika kadar sonra size MRI gerekmediği açıklığa kavuşuyor. Akıllı telefonunuzdan takviminize bakıp kortizon iğnesi için haftaya pazartesi gününü onaylıyorsunuz.*

Manyetik rezonans görüntülemede, atomların yapı taşlarının (elektronlar, protonlar ve nötronlar) her birinin kuzey kutbu ve güney kutbu olan bir çubuk mıknatıs gibi küçük, yerleşik bir manyetik alana sahip olmasından¹ faydalanılır.² Farklı elementlerin çekirdeklerinde farklı sayıda proton ve nötron vardır ve bu nedenle farklı nükleer manyetik alanlara sahiptirler. Vücudunuzda bulunan manyetik olarak aktif her atomun manyetik alanının gücünü nasıl ölçebilirsiniz? Nükleer mıknatısların hepsinin tek bir yönü göstermesini sağlayarak ve 180 dereceye dönmeleri için ne kadar enerji gerektiğini tespit ederek. Kuzey kutbu tavana dönük (varsayalım ki) büyük bir manyetik alana sahip çok büyük bir elektromıknatısın içinde uzandığınızda, vücudunuzdaki nükleer mıknatıslar bu dış

1 Eisberg ve Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, s. 434-37.

2 Aslında MRI için başlangıçta Nükleer Manyetik Rezonans Görüntüleme'nin başharfleri olan NMRI deniyordu, fakat pazarlamayı kolaylaştırmak için N harfi çıkarıldı.

alanla aynı hızda olmak isteyecektir, tıpkı bir pusula iğnesinin kendisine yaklaştırılan bir mıknatıs tarafından çekilecek olması gibi.¹

Aslına bakılırsa, nükleer manyetik alanlar dıştaki mıknatısla aynı yöne işaret ediyorsa en düşük enerjiye ve mıknatısın yönünün tam tersine hizalanmışlarsa da en yüksek enerjiye sahip olurlar. İşte bu yüzden MRI cihazının aktif olduğu odaya metal bir cisim ya da kredi kartıyla giremezsiniz, çünkü MRI cihazının büyük elektro mıknatısı bu cisimler üzerinde büyük bir kuvvet uygulayabilir. Aynı şekilde, MRI cihazının değişen manyetik alanı vücudunuzun içindeki bir metalde, hatta dövmenizde metalik mürekkepler kullanılmışsa cildinizin üzerinde bile ısınmaya yol açabilir.

Şimdi, atomlarınızdaki çekirdeklerin manyetik alanı aşırı derecede zayıftır; onları çok güçlü bir dışsal alana bile yerleştirseniz onları sonunda o alandan uzağı işaret edecekleri şekilde döndürmek için çok fazla enerji gerekmez. Bu harika bir haber, çünkü nükleer mıknatısları ters döndürmek için gereken ışık elektromanyetik spektrumun alt ucundadır: Cildinizden ve vücudunuzun içinden rahatlıkla geçen radyo dalgaları.

Kuantum mekaniği açısından ele alındığında, ışık “fotonlar” denilen ayrı ayrı ışık paketlerinden oluşur. Işığın herhangi bir formunun enerjisi onun frekansı tarafından belirlenir. (Bunu ilk olarak 1905’te Albert Einstein fark etmiş ve aynı yıl özel görelilik teorisini geliştirmiştir.²) Kuantum mekaniğinin bir özelliği çekirdek

1 Özleştirmeciler nükleer spinlerin teknik açıdan dıştaki manyetik alanla tam olarak aynı hızda olmayacağını, fakat *Singing in the Rain* filminde manyetik Gene Kelly’nin manyetik sokak lambası direğinin etrafında dönmesi gibi hareket edeceğini belirteceklerdir. En hakiki özleştirmecilere göre ise bu teknik açıdan bir kuantum mekaniği sürecidir ve nükleer bir mıknatısın enerjisinin harici manyetik alana olan duyarlılığına Zeeman etkisi denir. İyi de, madem bu kadar şeyi biliyorsunuz bu kitabı neden okuyorsunuz?

2 Barry Parker, *Quantum Legacy: The Discovery That Changed Our Universe*. Prometheus Books, 2002, s. 46-50.

ve atomların bir fotonu sadece ve sadece foton enerjisi seviyelerinin ayrılmasına tam olarak tekabül ederse emebilmesidir. Fotonun çok az ya da çok fazla enerjisi varsa emilim gerçekleşemez. Farklı elementlerin çekirdeğinin farklı manyetik alan güçleri olacaktır. Harici bir manyetik alandaki nükleer mıknatısı döndürmek için gereken radyo dalgası foton enerjisi her bir element için farklı olacaktır ve emilen radyo dalgalarının frekansı (dolayısıyla enerjisi) hangi atomların mevcut olduğunu gösterir.

Radyo kadranı 100.3 MegaHertz'e ayarlı iken 100.0 MegaHertz'deki bir radyo istasyonunun yayını dinlemek isteyen herkesin yaptığı gibi, radyo dalga frekansları çok net ayarlanabilir. Baskın MRI sinyali¹ vücudunuzdaki her hücreyi dolduran su moleküllerinden gelir. Proton (ya da nötron) çiftleri birleşirken birinin kuzey kutbu diğerinin güney kutbuna denk gelir ki bu yüzden hiçbir çiftin manyetik alanı olmaz. Sudaki oksijen atomu çift sayı da proton ve nötrona sahiptir ve sonuç olarak çekirdeği manyetik değildir. H₂O'daki hidrojen atomları asıl olarak izole protonlardır ve içlerindeki nükleer manyetik alan MRI cihazının manyetik alanıyla etkileşime girecektir. Algılanan sinyalin asıl kaynağı bu hidrojen atomlarıdır.²

MRI taramasında kontrast elde etmek için, manyetik alan vücudunuzun bir tarafında (örneğin sol taraf) bilinçli olarak çok zayıf yapılır, kuvveti gövdenizin üst kısmı boyunca eşit dağılımlı olarak artar ve sağ tarafta da çok güçlü (bu örnekte) tutulur. Böylelikle nü-

1 Örneğin bkz. Dominik Weishaupt, Victor D. Koechli ve Borut Marincek, *How Does MRI Work? An Introduction to the Physics and Function of Magnetic Resonance Imaging*, Springer, 2008. Manyetik rezonans görüntülemenin arkasındaki fiziğin açıklaması için bkz. Kakalios, *The Amazing Story of Quantum Mechanics*, s. 227-33.

2 Vücutta, net nükleer manyetik alanları olan başka atomlar da vardır, örneğin kalsiyum, sodyum, fosfor, nitrojen ve karbon ve oksijen izotopları gibi (bunların nötronları protonlardan daha fazladır ; buna ileride geleceğiz).

leer mıknatısların yönlerini vücudunuzun sol tarafına döndürmek için çok az enerjiye ve sağ tarafa dönmek için daha fazla enerjiye gereksinimi olur. Frekansları (ve dolayısıyla enerjileri) değişirken gelen radyo dalgalarının ne kadarının emildiğini fark ederek, vücudunuzda bulunan atomların sayı ve çeşitlerini bulabilirsiniz. Bu bilginin (birçok hesaplama kuvvetinin yardımıyla) düzenlenmesi içimizin görüntüsünü verir.

Önceden bahsedildiği gibi, nükleer mıknatısın manyetik alanla aynı ya da onun tersine durması arasında çok küçük bir enerji farkı vardır. MRI cihazları bu küçük sinyalle mücadele etmek değil, onu görüntüde kontrast elde etmek için kullanırlar. Sistem, döndürülen ve döndürülmeyen nükleer mıknatısların sayısı aynı olana dek, ilk olarak radyo enerji fotonlarının sürekli akışı ile bombardımana tutulur. Yani harici alanla aynı hizayı işaret eden nükleer mıknatıslarla onun tam karşısına işaret edenler aynı sayıdadır, dolayısıyla kuzey kutbunu işaret eden mıknatısların yarısı yukarıya, kuzey kutbu olanların yarısı da aşağıya işaret eder ki bu durumda net nükleer manyetik alan sıfırdır. Şimdi radyo enerjisi foton akışı kapandı ve manyetik alana karşıt yöndeki nükleer mıknatıslar, yukarıda tarif edilen bir radyo dalga fotonu yayarak kendilerini düşük enerji durumuna (alanla aynı hizada) yeniden yönlendirirler.

Sistemin biraz daha fazla mıknatısın harici alana karşıt değil onun hizasında olduğu orijinal konfigürasyonuna geri dönmesi için geçen süre, konusu nükleer mıknatısın yakınındaki diğer atomlara karşı çok duyarlıdır. Nükleer mıknatısların orijinal hâllerine dönmelerinin ne kadar zaman alacağını hesaplayarak yakınlarda başka ne tür atomlar olduğuna ilişkin bilgi edinebiliriz bundan da insanın içindeki organik maddenin yüksek kontrastlı görüntüsünü oluşturabiliriz.

Dokunun biyolojik durumuna ilişkin çok özel detaylar, örneğin bir doku kütlesinin iyi huylu mu, kanserli mi olduğu MRI tara-

ması ile belirlenebilir. Kısa süre önce yapılan bir araştırmada kanserli tümörlerin iyi huylu bir kütleden çok daha hızla büyüdüğü ve dolayısıyla metabolizmasının daha yüksek olacağı olgusundan faydalanıldı.¹ Manyetik olarak aktif çok sayıda çekirdeğe sahip bir tür glikoz enjekte edildikten sonra, hastanın kanserli tümörleri bu glikozu etrafındaki kanserli olmayan maddeye göre çok daha hızlı devralır ve böylelikle bir MRI cihazında bu habis kütleler daha parlak görünürler. Nükleer fizik yalnızca vücudun içini görüntü-
lemez, aynı zamanda çok önemli, hayat kurtaran teşhisler koyma-
mıza da olanak tanır.

1 Simon Walker-Samuel ve ark., “*In Vivo* Imaging of Glucose Uptake and Metabolism in Tumors”, *Nature Medicine* 19, 1067, 2013.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Havaalanında

*Havaalanı yolunu hızla katediyorsunuz. Havaalanına giren arabaların olduğu şeride geçip otoyolda gittiğiniz hızdan yazılmış hız limiti olan saatte 48 km'ye iniyorsunuz. İlerideki uzun süreli katlı otopark alanına gitmek için park şeridine geçiyorsunuz. E-bilet okuyucuda duruyorsunuz ve otomatik bir ses park yerinizde saatte iki dolar tasarruf etmek isteyip istemediğinizi soruyor. Mesajın amacı, kâğıt bilet almak yerine **kredi kartı** ile ödeme yapmanızı sağlamak. Yarın otoparktan çıkarken çıkış gişeleri tamamen otomatik olacak ve bir gecelik park ücretini ödemek için yine kredi kartınızı kullanacaksınız. Seyahatlerde en düzenli kullandığınız kredi kartını çıkarıp e-kart okuyucuya sokuyorsunuz. Kartı hızla geri çekiyorsunuz, beyaz ve turuncu çizgili tahta bariyer kalkıp rampaya çıkmanıza izin veriyor.*

Kredi kartı hesabınızla ilgili bilgiler kredi kartınızda farklı biçimlerde saklanır: Hesap numarasının kendisi kartın ön tarafında basılıdır; kartın uzun kenarı boyunca yaklaşık 0,65 cm genişliğinde

manyetik şerit vardır; bazı tiplerde bellek çipi kartın içine gömülüdür. Her depolama mekanizmasında farklı fiziksel ilkeler kullanılır.

Kartın ön yüzündeki kabartma sayılar bilgi depolamanın en basit yoludur, aldatıcı biçimde basit bile olabilir. İlk zamanlar bu rakamlar kartın arka yüzüne damgalanırdı ki sayılar kartın ön yüzüne kabartılı olarak çıksın. Bu yöntem bazı kredi kartlarında artık uygulanmıyor. Hesap numarasının kabartma yazılı olmasının faydası, bir alışveriş işleminin hem satıcı hem de alıcı için basılı kopyalarını çıkarırken görülür. Bu durumda nispeten daha eski karbon kâğıdı teknolojisine¹ dayalı sofistike bir malzeme bilimi kullanılır.² Günümüzde, karbonsuz kopyalar, mürekkeple doldurulmuş küçük boş küresel taneler içeren özel kâğıtlar kullanıyor. Bu tanelerin kabuğu çok sert olmadığından kâğıdın üzerine sıkıca bastığınızda kolaylıkla kırılırlardı. Kredi kartı yazıcısında, kâğıt kartın üzerindeki kabartmalı hesap numarasının üzerine yerleştirilir ve sonra kâğıdın ve kartın üzerinden bir silindir geçirilir. Silindirin yüksekliği kâğıdın üzerinden sadece kabartmalı hesap numarasının üzerinden geçerken basacak ve mürekkep doldurulmuş taneleri kırıp size özel kredi kartının belli bir mağazada kullanıldığını kalıcı bir tarzda kaydetmesini sağlayacak şekilde belirlenir.

Kredi kartınızın üzerindeki manyetik şeritte hesap numaranız ek bilgilerle birlikte depolanmıştır.³ Şeritte, kuzey kutupları

1 Bkz. "Carbon Paper", *How Products Are Made* websitesi, [http:// www.madehow.com/Volume-1/Carbon-Paper .html #ixzz4IkE9h9fE](http://www.madehow.com/Volume-1/Carbon-Paper.html#ixzz4IkE9h9fE); ve Kevin Laurence, "The Exciting History of Carbon Paper!", <http://www.kevinlaurence.net/essays/cc.php>.

2 İlk hâlinde karbon kâğıt içinde gömülü karbon siyah taneler bulunan ve iki düz tabaka kâğıt arasına sıkıştırılmış mumlu bir kâğıt tabakasıydı.

3 Robert C. O'Handley, *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 2000, s. 674-77; Barry M. Lunt, *Marvels of Modern Electronics: A Survey*. Dover, 2013, s. 150-52; Thomas Norman, *Electronic Access Control*. Butterworth-Heinemann, 2011, s. 53-54.

bir yönü ya da tersini işaret eden bir dizi manyetik alan bulunur. Mıknatıslar, sadece iki sayının izlenmesi gerektiği müddetçe bilgi kaydetmek için idealdir. Herhangi bir sayıyı iki girdi kullanarak (bir kuzey kutbu ya da güney kutbunun yukarıda olması ya da transistörün içindeki bir akımın yüksek ya da alçak olması gibi) ifade etmenin yolu “ikili sayılar”ı içerir. İkili (*binary*) bilgi bütün modern dijital veri kullanımının temeli olduğundan, onun nasıl çalıştığını açıklamaya biraz yer ayıralım.¹

Onluk sayma sistemimiz akla uygun ve oldukça anlaşılır olmakla birlikte sayıları göstermenin başka yolları da vardır. Bir bilgisayardaki gibi elektrik akımlarıyla ilgiliyseniz akımları yönetmenin en basit yöntemi şalter kullanmaktır. Şalter ya açık (bu durumda devre kesilir) ya da kapalı (o zaman da akım akabilir) olabilir. Aynı şekilde, bir kredi kartı şeridi ya da bir manyetik sabit diskte bulunan manyetik atomlardan oluşan küçük kümelerin de iki yönü olabilir, Kuzey kutbu bir yönü ya da diğerini gösterir. Bu kolaylıkla nokta ya da tire, “kapalı” ya da “açık” veya sıfır ya da bir şeklinde gösterilebilir. Sayıların iki basamaklı düzende gösterilmesine “ikili” (*binary*) denir ve bilgisayarların mantık ve işleminin merkezinde de bu yatar.

Sınırlı sayıda para biriminde banknot varken para bozduğunuzu düşünün. Varsayalım ki sadece 1’lik, 10’luk, 100’lük ve 1.000’liklerimiz vesaire var. Yani bir ile başlıyoruz ve her bir üst banknot önceki değerin on katı (buna da “10’luk” sistem deniyor). Kırk iki doları bir araya getirmek için dört adet 10’luk ve iki adet 1’liğe ihtiyacımız var. Bir başka örnek olarak iki adet 100’lük, sıfır

1 T. R. Reid, *The Chip: How Two Americans Invented the Microchip and Launched a Revolution*. Simon & Schuster, 1985, s. 121-27. Bir eldeki parmakları kullanarak 31’e kadar sayarken ikili sistemin nasıl kullanılacağı hakkında bkz.: *The Unbeatable Squirrel Girl*, no. 11, yazar Ryan North ve çizen Jacob Chabot ve Erica Henderson, Marvel Comics, Ekim 2016.

adet 10'luk ve dört adet 1'liğim varsa, 204 dolarım var demektir. Bunu o kadar sık yapıyoruz ki 10'luk sayma sistemi kullandığımızı ve “204” yazmanın 100'lüklerin sayısını, 10'lukların sayısını ve 1'liklerin sayısını temsil etmenin bir yöntemi olduğunu durup düşünmüyoruz bile. Onluk sistemin sorunlu tarafı, her birim için sadece tek bir banknotumuz varsa işlememesidir. Sayıları temsil etmek için sadece iki yönü olan (Kuzey kutbu yukarı veya Kuzey kutbu aşağı) mıknatıslar kullanıldığında ortaya çıkan durum budur. Sadece bir 1'lik, bir 10'luk, bir 100 dolarlık banknotum olsaydı, o zaman 101'i oluşturabilirdim ama 204 veya 42 olmazdı.

Şimdi de 1'ler, 2'ler, 4'ler, 8'ler, 16'lar vs diye giden farklı bir para birimi düşünün. Bir kez daha bir ile başlıyoruz ama bu defa her bir üst birim öncekini iki ile çarparak elde ediliyor. Bu sayma sistemine “2 tabanlı” ya da “ikili” denir. İstediğim kadar doları bir araya getirebilirim; örneğin, 21'in karşılığı $16 + 4 + 1$ 'dir. Onluk sistemde olduğu gibi en sağ uçta birliklerle başlıyor ve değerleri sola ekliyorum. Dolayısıyla “21”i 10101 diye yazıyorum, yani sağdan sola bir adet 1, sıfır 2, bir adet 4, sıfır 8 ve bir adet 16. 10'luk sistemden daha uzun ve hantal olmasına rağmen bunun büyük bir avantajı da var: Her değer için bir banknotum bile olsa, her sayı temsil edilebiliyor.¹ Benzer şekilde, ikili kod alfabenin harfleri ve başka soyut semboller için atanabilir.

Kredi kartınızın üzerindeki manyetik şeritte ise bu bilgiyi değişen manyetik alanların elektrik akımları yarattığını belirten Faraday yasasından faydalanarak okuyabilirsiniz. Pek çok kredi kartı okuyucusunda kartı mekanik olarak çeker ya da tarayıcıdan geçirirsiniz, böylelikle manyetik alanların bir bobinin (ya da baş-

1 2 sayısının ikili sistemde 10 diye yazıldığını, “birler” sütununda 0 ve ikiler sütununda 1 olduğunu anlarsanız şu “inek öğrenci esprisi”ni de anlayabiliriz: “Dünyada 10 çeşit insan vardır ikili sistemi anlayanlar ve anlamayanlar.”

ka bir manyetik sensörün) yanından geçer.¹ Manyetik bölgenin bir tarafında kuzey kutbu, diğer tarafında güney kutbu varsa, harekete geçirilen akım bir yöne akacak, bölge bobini geçerken de ters yöne akacaktır ve “1” diye okunacaktır. Akıma sebep olan, bobinin içinden geçen manyetik alandaki değişikliklerdir ve mıknatısın bobine bakan sadece kuzey kutbu ya da güney kutbu varsa akım sadece bir yönde dolaşacaktır ve “0” diye okunacaktır. Kredi kartı okuyucunun gerçek konfigürasyonu basit bir bobinden biraz daha karmaşık olmasına ve kartın üzerindeki tek siyah şerit aslında her biri kendi bilgi setine sahip üç ayrı bant ihtiva etmesine rağmen, temeldeki fizik prensibi burada tanımlandığı gibidir.²

Hesap bilgisinin kredi kartınıza kaydedilmesinin üçüncü bir yöntemi de küçük bir çipin kredi kartı okuyucunun içindeki bir alıcıyla radyo dalgaları aracılığı ile iletişim kurmasıdır. Genellikle RFID denilen³ bu çip, kimlik (ID) saptamada radyo frekansı (RF) ışığı kullanır. Kredi kartınızın içindeki çip E-ZPass sistemindeki ile aynı fizik yasasından yararlanarak kart okuyucu ile iletişime geçer. ancak burada garaj kapısı açıcısı ya da anahtarsız uzaktan kumandalı giriş sisteminden daha gelişmiş güvenlik protokolleri vardır. Kredi kartlarındaki çiplerin çoğu “yakın alan iletişimi” denilen

1 Pek çok kart okuyucu manyetik bölgeleri bilgisayarınızın manyetik sabit diskindekine benzer bir “okuma kafası” kullanarak algılar. (Jagadeesh S. Moodera, Guo-Xing Miao ve Tiffany S. Santos, “Frontiers in Spin-Polarized Tunneling”, *Physics Today*, Nisan 2010.) Burada detektörden geçen akım yakındaki manyetik alana duyarlıdır. Ben yukarıda basit bir örnek olsun diye bobin kullandım.

2 Bu mekanizma, manyetik banta kodlanan bilginin tıpkı bir müzik kasetinde ya da banttı bantta kayıt yaparken kasetçalarda olduğu gibi elektrik voltajlarına dönüştürülmesi ve bunun artırılıp işlendiğinde hoparlörlerin titreşmesine sebep olmasıyla aynı şekilde çalışır. Video kaset kaydedicisinde (VCR) bilginin manyetik depolanması için daha karmaşık bir yöntemi kullanılır fakat fizik prensibi yine aynıdır.

3 Roy Want, “RFID—A Key to Automating Everything”, *Scientific American*, Ağustos 2008.

bir sistem kullanırlar. Bu sistemde radyo sinyali karttan 10 cm'den daha uzak mesafelerde sönümlenir (bu da herhangi birinin kredi kartınıza kulak misafiri olup ondaki bilgiyi çalmasını zorlaştırır), işte bu yüzden de kartınızı ya okuyucunun içine sokmanız ya da ona çok yaklaştırmmanız gerekir. Katlı otopark girişindeki terminal kredi kartınızın üzerindeki bilgiyi okuyup yorumlar yorumlamaz bu bilgiyi kaydeder (park ücretini ödemekten kaçınma ihtimalinize karşı) ve kapıyı açar.

*Otomobilinizi park ettikten sonra bagajdan valizinizi alıyor ve ana terminale yöneliyorsunuz. Sabah evden çıkarken yanınıza hiç nakit para almadığınızı fark edince canınız sıkılıyor. Acil bir durum için üzerinizde biraz bozuk para olmasını yeğlerdiniz. Terminale göz gezdirip ilerideki gazete bayiiinin yanında bir ATM buluyorsunuz. Şansınıza ATM sizin bankanıza ait, yani kullanım ücreti ödemeyeceksiniz. Banka kartınızı yerleştiriyorsunuz (manyetik şeridin doğru yöne baktığına dikkat ederek) ve ekran standart karşılamaları geçip PIN kodunuzu soruyor. Dört basamaklı şifrenizi giriyorsunuz. Kullanmaya başlayalı epey zaman geçmesine rağmen PIN kodunuzu doğru hatırlıyorsunuz ve **dokunmatik ekran** tekrar değişip size bir dizi seçenek sunuyor. HESAPTAN PARA ÇEK yazan kutuya dokunuyorsunuz ve ekranda çekmek istediğiniz miktar seçeneklerinin olduğu kutular çıkıyor. Yüz dolarlık kutuya dokunuyorsunuz ve ATM makbuz almayı mı, e-posta gönderilmesini mi istediğinizi soruyor. E-posta seçeneğini işaretliyorsunuz ve birkaç saniye içinde beş adet gıcır gıcır 20 dolarlık banknotla birlikte bankamatik kartınız da makineden çıkıyor. Parayı cebinize koyup güvenliğe yöneliyorsunuz.*

ATM kulübesinin ekranına dokunduğunuzda parmağınız bir elektrik devresinin parçası olur. Bazı ekranlarda temasın baskısıyla akı-

mın akışı değişirken bazıları sizin elektrik iletkenliğinizi algılar. Birinci tip dokunmatik ekran, “dirençli” algılayıcı¹ kullanır, zira ekran aslında parmağınızın kuvvetine direnç gösterir. Dokunmatik ekranın alanı birçok küçük kareye bölünmüş, dama tahtasına benzeyen düzgün bir ızgara gibidir. Ekranın sizin dokunduğunuz ön tarafı şeffaf, elektriksel olarak iletken plastikten yapılmıştır ve elektriği iyi iletmesi için kimyasal olarak modifiye edilmiş bir cam türünden ince bir yalıtkanla ayrılmıştır. Ekranı bastırdığınızda üstteki iletkenin alttaki iletken cama temas ederek devreyi kapatmasını ve akımın üst ve alt tabakalar arasında akmasını sağlarsınız. Elektronik yarıiletken bir çip, artık bir akım taşıyan ekran üzerindeki konumu (yani “dama”nın karelerinin konumları) kaydeder ve bu bilgiyi işleme alır. Bu mekanizmanın faydası eldiven giydiğiniz ya da ekran kalemi kullandığınız zaman da çalışmasıdır; kredi kartı ile yapılan bir alımı onaylamak için imzanızı isteyen dokunmatik ekranlar genellikle “dirençli”dir. Dezavantajı, imzanızın bu pedlerde kargacık burgacık görünmesinden de anlaşılacağı üzere, alt tarafın çözünürlüğünün çok yüksek olmamasıdır. Dahası ekrana fiziksel olarak bastırdığınız için bu tip dokunmatik sensörler çizilip zarar görebilirler.

Daha hafif bir dokunuş gerektiğinde, başka bir dokunmatik ekran tipi sizin elektriği iletme becerinizden yararlanır. Parmağınızın ucundaki bu ikinci tip dokunmatik ekranda elektrik yüklerini depolamak için kullanılan kapasitör denilen bir cihaz vardır.² Kapasitör genellikle birbirine üst üste iki metal levhadan oluşur, tıpkı bir sandviçteki ekmek dilimleri gibi. Negatif yüklü elekt-

1 Geoff Walker, “A Review of Technologies for Sensing Location on the Surface of a Display”, *Journal of the Society for Information Display* 20, 413, 2012.

2 Paul A. Tipler ve Gene Mosca, *Physics for Scientists and Engineers*, 6. baskı. W. H. Freeman, 2007, s. 802-806.

ronlar metal levhalardan birinin üzerine yayılır ve diğer levhada ona eşit ölçüde pozitif yük oluşur. Levhalar arasındaki boşluk bir yalıtkan (bu “sandviç”in iç malzemesi) ile doldurulur. Bu düzenleme dirençli dokunmatik ekranlarda ince bir yalıtkan ile ayrılan iki iletken levhaya benzer; sadece burada ekrana dokunduğunuz yeri kaydetmek için elektronik sandviçi fiziksel olarak ezmeye gerek yoktur.

Daha önce olduğu gibi, dokunmatik ekran karelere bölünmüştür. Ekranın üzerindeki her bir küçük kare, cihazın içinde altındaki başka bir devreye bağlı olan bir kapasitördür. Kare içindeki levhalardan biri üzerinde depolanmış yük değiştiğinde, devresi bu değişimi kaydeder ve daha sonra bu bilgi girdi bekleyen bir bilgisayar çipine gönderilir.¹ İnsanlar aslında elektrik yükünü çok iyi taşırlar; halı gibi iletken olmayan bir şeye elinizi sürtüncü elektrik fazlasını nasıl çektiğinizi düşünün. Belirli bir lokasyona dokunduğunuzda, devreye kendi kapasitansınızı eklersiniz, net kapasitanstaki bu değişiklik algılanır ve işlemciye uygun bir sinyal gönderilerek hangi lokasyonun seçildiği bildirilir. Bu dokunmatik ekranların bazı türlerinde üst iletken eksiktir ve parmak ucunuz kapasitörü tamamlayan üst plaka görevi görür (ve hangi karenin seçildiğini belirlemek için bekleyen devreyi değişime uğratar).² Su (ter dahil)³ da iletkendir ve kapasitif dokunmatik ekranın üzerinde seçmek istediğiniz karelerin değil diğerlerinin üzerine dokunurlarsa sensörleri şaşırtabilirler.

Temel kapasitör iki metal levhadan oluşur fakat bunlar dokunmatik ekranlarda kullanılan türden olsalardı nereye dokunmanız gerekti-

1 Walker, “A Review of Technologies”.

2 Kapasitif bağlantılı dokunmatik ekran üzerinde, ucunda kendi kapasitörü olan özel bir kalem kullanılabilir.

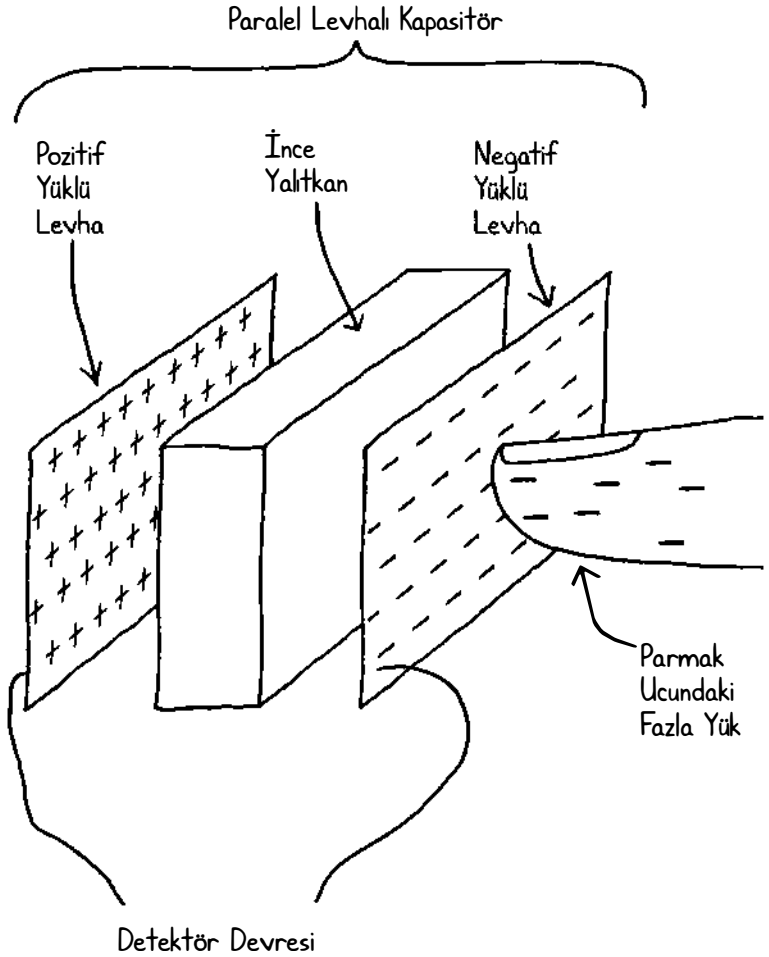
3 Saf, damıtılmış su gerçekten de çok iyi bir yalıtandır. Musluk suyu, yağmur suyu ve terdeki iyonlar elektrik iletkenliğini büyük ölçüde artırabilir.

ğini asla göremezsiniz. ATM ekranının üzerindeki görüntü, yüzeye dokunduğunuz bölgeyi kaydeden üst tabakadaki kapasitörlerin alt tarafında bulunan bir ekrandan yansıtılır. Bu yüzden, dokunmatik ekran devresini oluşturan kapasitörlerin ışığın içlerinden geçmesine izin vermeleri gerekir. Hem harika bir iletken hem de neredeyse cam kadar şeffaf olan indiyum-kalay oksit denilen özel bir alaşım¹ kullanılır. İletken şeffaf malzemeler iki çelişik özelliği birleştirir: uygulanan bir voltajla serbestçe hareket eden çok yoğun elektrik yükü (böylece iyi iletken olurlar) ve izin verilen enerji seviyeleri arasında büyük bir ayırım (bu da onları bir yükü daha alt enerji durumlarından üst enerji durumlarına yükseltmek için enerjisi yetersiz olan görünür ışık için şeffaf hâle getirir).

Bazı dokunmatik ekranlarda dokunacağınız ya da parmağınızı kaydıracağınız bölgeyi belirlemek için ışık kullanılır.² Işık, su ya da cam gibi bir şeyin içinde boşlukta ya da havada olduğundan daha yavaş hareket eder. Daha yoğun olan ortamda, salınan elektromanyetik dalgaların elektriksel alanları atomun elektronlarının elektriksel alanları ile çakışır ve bu etkileşim ışık üzerinde bir tür geri sürüklenme etkisi yapar. Işık eğer bir ortamda diğerine göre daha hızlı hareket ediyorsa iki farklı malzeme arasındaki sınırı geçtiği zaman ne olur? Bir bardak sudaki bir samanın hava/su arayüzünde kırılmış gibi görüldüğünü fark eden biri, ışık hızındaki bu süreksizliğin sonucuna tanık olmuştur. Arayüzde ışık demetinin yolunun bükülmesi ışığın iki nokta arasındaki en hızlı yolda gitmesinin sonucudur ve buna “ışığın kırılması” denir. Belirli bir

1 H. J. J. van Boort ve R. Groth, “Low Pressure Sodium Lamps with Indium Oxide Filter”, *Phillips Technical Review* 29, 17, 1968; Mamoru Mizuhashi, “Electrical Properties of Vacuum-Deposited Indium Oxide and Indium Tin Oxide Films”, *Thin Solid Films* 70, 91, 1980.

2 Stuart F. Brown, “Hands-On Computing”, *Scientific American*, Temmuz 2008.



ŞEKİL 4

cismin (gaz, sıvı, katı) içinde ışığın ne kadar hızlı hareket edeceğini ve dolayısıyla iki maddenin arasındaki arayüzde ne kadar keskin bir bükülme yapacağını belirleyen özelliğine “kırılım imlecı” denir.

Işığın daha büyük bir kırılım imlecinden (hızının daha az olduğu) daha düşük bir değere sahip ortama (daha hızlı hareket ettiği) doğru hareket etmesi durumunda, sınırda yaptığı açı yeterince ge-

nişse, kırılım imleci daha büyük olan cisimden kaçmayacak kadar bükülebilir. Bu açının değeri iki ortamın kırılım imleçleri arasındaki farka bağlıdır ve daha geniş her açı da ışık sanki bir aynadan sekiyormuşçasına arayüzde yansıyacaktır. “Toplam iç yansıma”¹ adı verilen bu olay fiber optik kabloların temelini oluşturur;² aynı zamanda ultrason görüntülemeye de kullanılır.

Toplam iç yansımanın fiziksel süreci dokunmatik ekranların bazı yeni versiyonlarında da kullanılmaktadır. Spektrumun kı-zılötesi kısmında ışık yayan bir dizi diyot, levhanın iki tarafının üzerindeki dış kenarda gömülüdür. Bu kı-zılötesi ışın demetleri üst yüzey levhasından toplam iç yansımaya maruz kalırlar ve levhanın karşıt iki tarafını kaplayan ışık sensörleri tarafından algılanırlar. Biri üstteki levhaya dokunduğunda, yansıtılan ışık demeti bozulur ve ışığın yörüngesindeki farklı sensörler tarafından kaydedilir. Sistem uygun yazılımla ışığın hareketindeki değişikliğe hangi lokasyon ya da lokasyonların sebep olduğunu saptayabilir. Dağıtılan kapasitör sisteminden farklı olarak bu teknik, iletken olmayan eldivenli bir parmak, ekran kalem ya da kalem teması gibi ışığın yansımasını değiştirecek her şeye duyarlıdır.

Telefonunuzda havayolunuzun uygulamasını açıyor ve dijital olarak Hızlı Yanıt (QR- Quick Response) simgesi ile gösterilen biniş kartınızı açıyorsunuz. Neyse ki güvenlikte ön kontrol için seçilmiştiniz.

1 Lunt, *Marvels of Modern Electronics: A Survey*, s. 202-207.

2 Bir fiber optik kablonun içinde ışık, daha düşük bir kırılım imlecine sahip bir başka maddenin dış kabuğu (“kılıf” denir) ile çevrelediği silindirik şeklindeki bir damarın içinden geçer. Bu imleçler dikkatli bir şekilde seçilirlerse ışık yüzeyle yaptığı açıdan bağımsız olarak damar/kılıf arayüzünde yansıtılacaktır. Lazer gibi düz bir ışık demeti hâlinde hareket eden ışık kılıftan sıçrayacak ve kablo kaç büküm ya da dönüş yaparsa yapsın içindeki fiberden aşağıya doğru yayılmasına devam edecektir. Bkz. Ben G. Streetman ve Sanjay Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 5. baskı. Prentice Hall, 2000, s. 392-94.

*Güvenlik görevlisinin istasyonundaki lazer tarayıcı telefonunuzun üzerindeki simgeyi okuyor ve görevli ehliyetinizdeki resimle sizi karşılaştırdıktan sonra geçmeniz için bip sesi veriyor. Bagajınızı ve çantanızı X ışını makinesinden geçen taşıyıcı bandın üstüne koyuyorsunuz. Sonra da **metal detektörden** geçmek için sıraya giriyorsunuz.*

Bir metal detektör yapmak için işe elektrikli diş fırçanız ve onun şarj tabanı ile başlayın. Elektrikli diş fırçanızdaki pili şarj etmek için tutma yerini prize takılı plastik tabana yerleştirdiniz. Tabanın içinde, prizden gelen alternatif akımı taşıyarak değişen bir manyetik alan yaratan bir bobin vardır. Bu değişen manyetik alan diş fırçasının tutma yerinin içindeki ikinci bobine girdi ve değişen manyetik akım bu bobin vasıtasıyla bir akıma sebep oldu. İki bobin arasında herhangi bir metal olması ikinci bobinin içinden geçen manyetik alan miktarını değiştirecektir.

Plajda ufak para ya da gömülü hazine arayanlar tarafından kullanılan metal el detektörlerinde de bir metalin varlığını algılayan iki bobin kullanılır.¹ Bu kişisel metal detektörlerinde çubuğun ucunda büyük bir disk vardır ve metal nesneleri aramak için levhayı yere yakın bir şekilde hareket ettirirsiniz. Levhada eşmerkezli iki bobin vardır: levhanın kenarında alternatif akım vasıtasıyla alternatif elektromanyetik alan (çok çok düşük frekanslı radyo dalgalarına eşdeğer) yaratan bir dış bobin ve levhanın ortasında yansıtılan dalgaları algılayan bir iç bobin. Dış bobin tarafından yaratılan radyo dalgaları metal bir nesneye çarptığı takdirde bu durum nesnenin içinde alternatif bir akım yaratır ve bu da gelen sinyalin tersi yönde kendi değişen manyetik alanını üretir. Bu durumda, içteki bobin

1 Marshall Brain, *MORE How Stuff Works*. John Wiley & Sons, 2002, s. 291-93.

bu yansıyan dalgayı ve levhanın iyi bir elektrik üretkeninin üzerinden geçtiğine işaret eden bir alarm (yanıp sönen bir ışık veya bip sesi) gönderir.

Kamu binalarında ve havalimanlarında kullanılan kapı tipi detektörler bu süreçte küçük bir ustalıkla çözümden faydalanırlar.¹ Kemerin bir tarafındaki bobinin içinden bir akım geçirir ve sonra aniden akımı keserler. Bobinin içindeki akım bir manyetik alan yaratır ve o aniden durunca bobinin içinden geçen alan da aynı şekilde yok olur. Fakat bir bobinin içinden geçen manyetik alanı değiştirmek bir akıma sebep olacak, o da kısa bir süreliğine manyetik alanın değişmesini önlemeye çalışacaktır. Yani ana bobinin içinde, manyetik alan hızlı azaldığı zaman yaratılmış bir akım vardır. Eski tip elektrik ampullerinde ışığı duvardaki düğmeden kapatırken bu geri akımı görebilirsiniz. Daha yakından bakarsanız ışığın çok kısa bir süre canlanıp sönükleştiğini ve ampul kapanırken söndüğünü göreceksiniz. Ampulün bir anlık yeniden canlanması güç kesildiği zaman devrenin manyetik alanda meydana gelen değişikliği önlemeye çalışmasıyla ortaya çıkan akımdır.

Havaalanındaki metal detektörü kemerdeki bobinin içinden sürekli akım geçirir ve yaratılan akımın büyüklüğünü gözlemler. Kemerin içinden geçen metal bir cisim bir an anten işlevi görür ve manyetik alan kapandığı zaman manyetik alandaki değişime yanıt olarak kısa süreli bir akım yaratır. Kemerin içinde algılanan yaratılmış akım, metal detektöre girdiği zaman hafifçe artar ve ayrılırken de azalır. Detektör normalde bobinin içinden saniyede yüz defa akım geçirir ve metalin varlığını belirlemek için yaratılan bütün akımları bir araya getirir.

1 David Macaulay, *The Way Things Work*. Houghton Mifflin Company, 1988, s. 323.

Peki ya metal bir cismi çıkarmayı unutursanız ve el detektörü ile kontrol edilmeniz gerekiyorsa? Bu cihaz sahilleri taramak için kullanılan metal detektöre benzer şekilde çalışır; bir bobin çok düşük bir frekans ve düşük güçte radyo dalgası üretir, diğeri ise herhangi bir metal cisim yüzünden bu sinyalde meydana gelen değişiklikleri ölçer.

*Metal detektör kuyruğu önünüzdeki kişide takıldı. Güvenlik ön kontrol detektörünün adamın kol saatinden etkilenmemeliydi. Daha fazla yanlış pozitif sinyal vermesini önlemek için detektörün duyarlılık seviyesinin ayarlanması gerekiyor. Güvenlik görevlisi size yandaki **vücut tarayıcıyı** kullanmanızı söylüyor. Birkaç dakika önce ATM'den çektiğiniz kâğıt paralar dahil cebinizdeki her şeyi boşaltıp hepsini X ışını makinesinin taşıma kayışının üzerindeki küçük plastik tepsiye koyuyorsunuz. Tarayıcıya dirsekleriniz bükülü, kollarınız başınızın üstünde, göbeğiniz içinize çekili, gereksiz bir cakayla adım atıyorsunuz. Tarayıcı etrafınızda dönerken kıpırdamadan duruyorsunuz. Tamam teslim oluyorum, diyorsunuz içinizden, ama n'olur uçağımı kaçırmayayım.*

Havaalanlarındaki çoğu tarayıcıda kıyafetinizin altında kaçak eşya olup olmadığını kontrol etmek için “geri saçılım” ilkesine dayalı “milimetrik dalgalar” kullanılır.¹ Geri saçılım, iletim kipinde (*transmission mode*) bir cismin içinden geçen ışığı ölçmek yerine yoğunluk değişiklikleri arasında arayüzde yayılan ışığı gözlemler. Dişçiniz dişinizin röntgenini çekerken iletim yöntemini kullanır. Detektör fotoğraf filmi dişinizin arkasına yerleştirilir, X ışını kay-

1 R. Appleby, “Passive Millimetre-Wave Imaging and How It Differs from Terahertz Imaging”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 362, 379, 2004.

nağı da dışın önüne koyulur. Böylece film dışın içinden iletilen her X ışınını kaydeder ve yoğunluktaki her değişiklik (bir oyuk ya da dolgu gibi) onu detektöre yansıtan X ışını miktarını değiştirerek kaydedilen sinyal yoğunluğunda değişiklik olarak kendini gösterir.

Görüntü almanın bir diğer yolu ise, dalgaların karşılaştığı ortam her değiştiğinde yansıtılan ya da dağıtılan dalgaları ölçmektir. Fizikçiler bu yansıtılan dalgalara geri saçılmış dalgalar derler ve havaalanındaki tarayıcıların milimetrik dalgaların hem kaynağını hem de detektörünü kapsayan iki dikey çubuğu vardır. Bunlardan biri vücudunuzun önünde hareket eder, diğeri arkanızdan geçerek tam görüntü oluşturur.

Bir milimetrik dalga kabaca bir milimetre (yaklaşık olarak 1,10 cm, bu da ortalama insan saçının çapının on katıdır) dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgadır.¹ Milimetrik dalgaya mikrodalga² da denir, cep telefonunuzun iletişim için kullandığı elektromanyetik spektrum aralığının aynısıdır. Bir metre dalga boyuna sahip ışık, radyo ve televizyon için kullanılırken, bir nanometrelilik dalga boyları (bir metrenin milyarda biri) X ışınlarıdır. Görünür ışık rengine göre 400 ila 700 nanometre dalga boyuna sahiptir.

Vücut tarayıcıda bir milimetre dalga boyunda mikrodalgaların kullanılmasının sebebi bu dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaların giysinin içinden kolayca geçmesi ama cildinizden yansıtılmasıdır. Giysilerinizdeki iplikler milimetrik dalgaları engellemez zira onlar mikrodalgaların dalga boylarına göre küçüktürler, tıpkı büyük bir okyanus dalgasının bir şamandıra ya da yüzücünün yanından geçmesiyle yönünü değiştirmemesi gibi. Cildiniz ise mik-

1 Paul A. Tipler ve Gene Mosca, *Physics for Scientists and Engineers* cilt 1, 6. baskı, W. H. Freeman, 2007, s. 1041.

2 Teknik olarak bir milimetrelilik bir dalga boyu mikrodalga ile spektrumun kızılötesi bölgesi arasındadır fakat mikrodalgaya daha yakındır.

rodalgalar için büyük bir bariyer oluşturur ve size eriştikleri zaman geri saçılırlar. Kıyafetinizin altında saklanan herhangi bir cisim mikrodalgaları üstderinizden farklı yansıtır ve geri saçılımdaki bu fark tarayıcı tarafından algılanır. Tıpkı metal detektöründen geçerken metal cisimleri üstünüzden çıkarmanız gerektiği gibi, bir vücut tarayıcıdan geçerken de kıyafetinizin altının görüntülenmesini engellemek için ceplerinizi boşaltmanız ve kemerinizi çıkarmanız gerekir.

Bununla birlikte, tarayıcı kabininde ne kadar uzun kalırsanız kalın, kumpir gibi pişmezsiniz. Vücut tarayıcısındaki mikrodalgalar, mikrodalga fırınınızda kullanılandan, hatta cep telefonunuza mesaj gönderildiği zamankinden çok daha azdır.

Milimetrik dalga tarayıcı kıyafetinizin altında bir şeyin gizli olup olmadığını gösterirken aynı zamanda her tür kaçak malın çok düşük çözünürlüklü bir görüntüsünü verir. Milimetrik dalga tabanlı tarayıcılardan çok daha az yaygın olmakla birlikte, bazı havaalanlarında bir yolcunun ne kaçırıyor olabileceğine ilişkin daha net bir görüntü veren X ışını tabanlı geri saçılım sistemleri bulunmaktadır.

X ışınlarından bahsetmişken, şu anda el bagajınız, görüntüleme konusunda fotoğraf filmini tedavülden kaldıran bir katı hâl yöntemi kullanılarak inceleniyor.

*Vücut tarayıcının içinde durduğunuz sırada çantanız, el bagajınız ve ceplerinizden çıkanlar, taşıyıcı bant üzerinde X ışını makinesinden geçti. Tarayıcının cam kabininden baktığınızda başka bir kontrol noktasındaki **X ışını tarayıcısının** düz panel ekranını görebiliyorsunuz. Tarayıcıdan bir çanta geçtiği zaman çantanın anahatlarını ve içindeki eşyaların siluetlerini gösteren bir görüntü görüyorsunuz. X ışınlarının bizim onları gördüğümüz gibi renkli olmadığını biliyorsunuz ama çantadakiler bir sürü farklı renkte görünüyor. Sizin geçi-*

şiniz Metal detektörü ve vücut tarayıcıdan dolayı uzamış olmasına rağmen çantalarınız arama noktasının diğer tarafına hâlâ ulaşmadı. Bir güvenlik görevlisi çantanızdaki bir şeyin ne olduğunu anlamakta güçlük çekince taşıyıcı bandı durdurmuş ve geriye doğru çalıştırmış.

Havaalanı güvenliği tarafından kullanılan X ışını görüntüleme cihazı iletim kipinde çalışıp çantanızın üst kısmını X ışınlarına maruz bırakır ve içinden ne geçtiğini ölçer. Valiziniz çok sayıdaki münferit yarıiletken piksele bölünmüş bir katı hâl detektör levhasından geçer. Yalıtkan ve yarıiletken gibi iletken olmayan şeyleri eski tip bir sinema salonuna benzetebiliriz¹, düşük enerji orkestrasındaki bütün koltuklar elektronlar tarafından işgal edilmişken yüksek enerji balkonundaki koltukların hepsi boştur.² Sadece ısı ya da ışık tarafından coşturulup balkona çıkabilmiş elektronlar koltuktan koltuğa geçebilecek ve elektrik akımı taşıyabilecektir. (Elektronlar diğer elektronlarla aynı lokasyonda bulunmaktan hoşlanmazlar, bu yüzden bir başka koltuğa yalnızca boşsa geçebilirler.³)

Orkestradaki artık boş olan koltuklar (“delikler” denir) da bir elektrik alanına yanıt olarak hareket edebilirler; yanındaki elektronlar üzerinden geçip giderken, boş koltuk katının içerisinden hareket eden pozitif bir yük gibi davranır. Bir yalıtkanın içinde, doldurulmuş alt bandın tepesi ile üstteki boş bandın altı arasındaki enerji aralığı spektrumun ultraviyole kısmı içindedir; pencere camı gibi pek çok yalıtkanın görünür ışık için şeffaf olmasının nedeni budur. Görünür ışığın camda orkestra ile balkon arasında

1 James Kakalios, *The Amazing Story of Quantum Mechanics*. Gotham, 2010, s. 175-78.

2 Bu benim katıların bant yapısına ilişkin en sevdiğim analogilerden biridir ve birçok kez de kullanmışımdır. Belki de kütüphane yerine sinemada çok zaman geçirdiğimdendir.

3 Bu olayın resmi adı “Pauli Dışlama İlkesi”dir.

köprü oluşturmak için yeterli enerjisi yoktur; bu ışık emilemez ve doğrudan cismin içinden geçer. Buna karşılık yarıiletkenlerin elektromanyetik spektrumun kızılötesi ya da görünür kısmında bir enerji ayrımı vardır ve dolayısıyla elektronları yüksek enerjili balkon durumlarına yükseltmek daha kolaydır.

Bazı detektörlerde X ışınları doğrudan yarıiletken tarafından emilirken diğer sistemlerde X ışınları ilk olarak yüksek enerjili radyasyona maruz bırakıldığında ani ve kısa süreli bir görünür ışık yayan ve sintilatör adı verilen bir malzemeye çarpar. X ışını ya da görünür ışık fotonlarının emilmesi mobil elektronlar ve yarıiletken detektörün içinde eşit sayıda pozitif yüklü delik yaratır. Küçük bir yerleşik elektrik alanı tarafından cihazın üst ve alt kısmına çekilen yükleri iki tarafta birikirler. Ne kadar fazla ışık emilirse o kadar fazla yük birikir ve bu yükleri ölçmek o belirli piksele çarpan ışığın kaydını verir.

X ışınları detektöre ulaşmadan önce, tarayıcının içindeki çantada bulunanlarla etkileşime girmek zorundadır. Bir valizin içindekileri görüntülemeye çalışıyorsanız kontrast gibisi yoktur. Bir atomun ne kadar fazla elektronu varsa X ışınlarını başlangıç yörüngelerinden saçma olasılığı o kadar fazladır. Bagaj tarayıcı saçılma duyarlılığını artırmak için bir enerji (ve dolayısıyla dalga boyu) aralığı içindeki X ışınlarını kullanır. Patlayıcı maddeler uzun zincirli karbon molekülleri içermeye eğilimindedirler (unutmayın, her bir karbon atomunun yalnızca altı elektronu var) ve atomları düşük enerjili X ışınlarıyla daha iyi etkileşime girer. Bıçak ve tabancalardaki çelik yüksek enerjili X ışınlarını saçmada daha etkili olan demirden yapılırlar genellikle. Çantanız hem yüksek hem de düşük enerjili X ışınlarına maruz kalır ve aralarında ince bir metal levha olan iki detektör içinden geçenleri kaydeder; üstteki detektör tam sinyali alır ve diğer detektör düşük enerjili X ışınlarının filtrelendiği me-

tal levhanın altındadır. İletilen X ışını sinyali, X ışınının enerjisine göre renkle kodlanır. Üstteki detektörden gelen yüksek ve düşük enerjili X ışınları arasındaki sinyali karşılaştırıp ardından yalnızca alttaki detektörden gelen yüksek enerjili X ışınlarına bakarak kaç adet düşük enerjili X ışınının saçıldığı anlaşılabilir ve her organik malzemenin görüntülenmesi iyileştirilebilir.

Dizüstü bilgisayarınız ayrı taranır, aslında buna gerek yoktur çünkü kasanın içindeki metal, bilgisayarın altındaki her türlü cismi X ışının incelemesinden korur. Pek çok kasa ya plastik (organik bir madde) ya da atom başına en az elektrona sahip (on üç) az sayıdaki metalden biri olan alüminyumdan yapılmıştır. Ayrı taramanın sebebi bilgisayarların iç aksamının yoğun ve karmaşık olmasıdır. Bir dizüstü bilgisayar ya da tablette o kadar fazla sayıda küçük parça vardır ki cihazın içinde bomba parçasının bulunmadığından emin olmak için çok dikkatli bir incelemeye gerek vardır.

*Şansınız kaçmış gibi görünüyor. Çantanız X ışını tarayıcılardan birini çalıştıran güvenlik görevlisinin dikkatini çekiyor. Cebinizden çıkardıklarınızı tekrar yerine koyarken havaalanı güvenlik noktasında asla duymak istemediğiniz o cümleyi duyuyorsunuz: "Bu çanta sizin mi?" Başınızla evet diyorsunuz ve görevli çantaya biraz daha bakmak istediğini söylüyor. Çantanızı arama noktasının arkasındaki paslanmaz çelikten bir masanın üzerine koyup üzerini küçük bir beyaz kâğıt disk ile siliyor. Bu disk kutu şeklindeki büyük bir cihazın içine koyuyor ve siz kutunun üzerinde **patlayıcı iz detektörü** yazdığını fark ediyorsunuz. Bir dakika geçmeden, cihaz tehlike yok işareti veriyor ve güvenlik görevlisi işbirliğiniz için teşekkür ediyor. Artık gidebilirsiniz ve bir dakika bile kaybetmemeniz gerek. Uçak giriş kapısına yetişmek için acele etmeniz gerekiyor.*

Valizinizin üzerinde küçük bir disk gezdirildiğinde, patlayıcı yapımında kullanılan her kimyasal madde izi diske aktarılır. Patlayıcı bir toza kısa bir süre önce dokunduysanız yok denecek az miktardaki patlayıcı madde parmak izlerinizdeki yağa geçer. Çantanıza dokunduğunuzda bir miligramlık malzeme ona bulaşmış olabilir. Patlayıcı izi detektörü kâğıt disk üzerindeki özel kimyasal maddelerin “kokusunu almak” için tasarlanmıştır.

Bir molekülü diğerinden ayırt etmek için bir yöntem ihtiyacımız var. Bir trinitrotoluene molekülü (TNT), çok özel bir yapıda düzenlenmiş yedi karbon atomu, altı oksijen atomu, beş hidrojen atomu ve üç nitrojen atomundan oluşur.¹ Elbette daha büyük moleküller de vardır fakat bir TNT molekülü atmosferi oluşturan oksijen ve nitrojen moleküllerinden kat kat büyük ve kütlelidir. Aslında molekülün hem şekil hem de kütlesine duyarlı bir tür test yapmak isterdik, böylelikle TNT’yi diğer organik moleküllerden ayırıp yanlış pozitif sorunundan kaçınabilirdik. TNT moleküllerini² kalabalık içinden seçmeye yarayan bu yöntem “iyon hareketlilik spektroskopisi”³ adı verilir ve beyaz diskten “araba yarışı” gibi çıkan bütün molekülleri kapsar.

Aynı motoru iki farklı araca, örneğin büyük bir kamyonete ve küçük bir spor arabaya yerleştirdiğimi ve onları aynı noktadan başlatıp düz bir çizgi üzerinde yarıştırdığımı düşünün. Yarışı hangi araç kazanırdı? Aynı motora sahip oldukları için yolculuk süresindeki fark (büyük ölçüde) ağırlığa ve rüzgâr direncindeki

1 Örneğin bkz. G. A. Eiceman, Z. Karpas, ve Herbert H. Hill Jr., *Ion Mobility Spectrometry*, 3. baskı. CRC Press, 2016.

2 Teknik açıdan spektrometre yasal olarak tüm patlayıcılara eklenmesi gereken özel “etiketli molekülleri” arar ama biz basit olması için sadece TNT’den bahsedeceğiz.

3 Abu B. Kanu, Prabha Dwivedi, Maggie Tam, Laura Matz ve Herbert H. Hill Jr., “Ion Mobility-Mass Spectrometry”, *Journal of Mass Spectrometry* 43, 1, 2008.

farka bağılı olacaktır. Araba ne kadar ağırsa motorun sağlayabileceği ivme o kadar az olacaktır. Dahası, kamyonetin kapladığı yer daha fazla ve ön profili daha büyük olduğu için hava direnci daha fazla olacaktır. Yarış pistinde ilerlerken havayı yoldan itmek için motordan gelmesi gereken enerji, otomobilin hızını artırmak için mevcut değildir. Dolayısıyla aynı motora sahip oldukları sürece kamyonetle spor araba arasındaki farkı, hangisinin bitiş çizgisini daha önce geçtiğini görerek ayırt edebilirim, çünkü yolculuk süresi kütle ile hava direnci farklarına bağlıdır. Bu iki aracın farklı olduğunu söyleyebilmemize rağmen, aynı süreç yarışçıları görsel olarak inceleyemediğimiz zaman da geçerlidir, tıpkı moleküller için söz konusu olduğu gibi.

Valizin üzerinden geçirilen beyaz disk bir silindirin bir ucuna (izin başlama çizgisine) yerleştirilir ve daha sonra ısıtılarak moleküller buhar fazına getirilir. Molekülleri silindirin diğer ucuna (izin bitiş çizgisine) çekmek istiyoruz ve çekme kuvvetinin kimyasal bileşimlerinden bağımsız olarak bütün moleküller için aynı olmasını istiyoruz. Bunu başarmanın bir yolu her molekülden bir elektronu çıkarıp hepsini +1 net pozitif yükle bırakmaktır. Silindirin bitiş çizgisinin ucunda negatif voltaj uygulanır ve bu işlem bütün molekülleri aynı kuvvetle çeker, zira bir cismin bir voltaja nasıl karşılık verdiğini onun net elektrik yükü belirler.

Bütün moleküllerin aynı yüke sahip olması bu yarıştaki bütün araçlara aynı motoru koymakla eşdeğerdir. Silindir, hava kullanan belirli bir basınçla dolar, burada amaç, moleküller silindirde aşağıya doğru hareket ederlerken hava direncinin etkilerini kontrol etmektir. Şimdi artık hepsi de silindirin ucundaki negatif voltajdan gelen aynı çekme kuvvetine maruz kaldığından dolayı, tüpün diğer ucuna ulaşmaları için gereken zamanı kaydediyoruz. Sonuç olarak iyonların farklı hareketliliği nedeniyle kütle ve büyüklük

olarak ayrılmış bir molekül spektrumu elde ederiz ve dolayısıyla patlayıcı iz detektörü bir “iyon hareketlilik spektrometresi”dir. Önceki kalibrasyon deneylerinden, TNT’nin kütesine ve yapısal konfigürasyonuna sahip bir molekülün bir uçtan diğerine ne kadar zamanda gideceğini biliyoruz. Belirli bir anda “bitiş çizgisini geçen” molekülleri kaydederek, söz konusu çantanın belirli bir noktada TNT ile temas etmiş olduğundan kuşkulandı ek inceleme istemek için geçerli bir sebebimiz olur.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Uçakta

*Nihayet, sondan ikinci yolcu uçağa binerken kapıya varmayı başardınız. Kapıyı tutması için biniş görevlisine sesleniyorsunuz. Koşarak yukarı çıkıyorsunuz, nefes nefesiniz ve herkesin sizi beklediğini görüyorsunuz! Özür diliyorsunuz ve hemen akıllı telefonunuzda biniş kartınızın QR kodunu açıyorsunuz. Lazer tarayıcının biplemesi uçağa hoşgeldiniz demek. Ancak artık baş üstü bagaj yerleri tamamen dolmuş. Çantanızın kapıda aranması gerekecek. İstenen bir durum değil ama uçağı kaçırmaktan iyidir. Kapı görevlisi artık el bagajı sayılmayan çantanızda elektronik bir cihaz ya da **lityum pil** olup olmadığını soruyor. Olmadığını söylüyorsunuz, çantanıza kırmızı bir etiket takıyor ve onu körüğün ucuna, hemen uçağın girişine getirmenizi istiyor. Yer mürettebatı yük ambarına koymak için son çantaları alırken sizinkini de müteşekkirellerinizden kabul ediyor.*

Kabin görevlisinin kontrol edilmiş valizinizde lityum pil olup olmadığını sormasının iki sebebi vardı: (1) bütün pillerin depolanmış

enerjilerini zarar gördükleri takdirde kontrolsüz bir şekilde salma potansiyelleri vardır ve (2) lityum-iyon piller yüksek enerji yoğunluklarından dolayı özellikle tehlikelidirler.

Lityum, alkali akrabaları sodyum ve potasyum gibi kimyasal olarak çok aktif bir metaldir ve doğadaki saf hâlinde, suyla çok hızlı reaksiyona girer.¹ Geleneksel alkali piller eskidikçe içinde oluşan hidrojen gazı gitgide daha fazla basınç uygulayarak pilin mührünü yarabilir.² Bu durumda alkali metal havadaki karbon-dioksit ile reaksiyona girip metal terminalin elektrotları üzerinde paslı bir katman oluşturur. Geleneksel alkali piller için durum bu kadar olumsuz iken, lityum bazlı pillerde yangın ve patlama gibi daha dramatik sonuçların yaşandığı bilinmektedir. Enerji yoğunluklarının daha yüksek olması, terminal ayırıcı kısa devre yaparsa geleneksel alkali pile göre daha fazla enerji salındığı anlamına gelir. Bir pil, özellikle de lityum iyon pili atarken işte bu yüzden dikkatli olunmalıdır. Pilin kabının patlaması veya ezilmesi tehlikeli bir kısa devre durumuna yol açabilir.

Lityum bazlı piller, diğer pillere kıyasla pound başına daha iyi kullanılabilir enerjiye sahip olduklarından pek çok kişisel elektronik eşyada bulunurlar. Pilde depolanan elektrik enerjisi, yüklü iyonların terminaller üzerinde yığılmasına sebep olan kimyasal reaksiyonların saldırdığı enerjiden gelir. Elektrotlar üzerinde daha fazla yük elde etmenin bir yöntemi de birden fazla ilave ya da eksik elektrona sahip iyonlar kullanmaktır. Bununla birlikte, bir elektron atomdan ayrılıp onu iyon hâline getirdiğinde, çekirdeğin artık dengesiz olan

1 Louis Bloomfield, *How Everything Works*, 5. baskı. John Wiley & Sons, 2008, s. 632-45; bkz. Seth Fletcher, *Bottled Lightning: Superbatteries, Electric Cars and the New Lithium Economy*. Hill and Wang, 2011.

2 Isidor Buchmann, *Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers*, 4. baskı. Cadex Electronics, 2016; Thomas Reddy, *Linden's Handbook of Batteries*, 4. baskı. McGraw-Hill Education, 2010.

pozitif yükü kalan elektronlar üzerinde daha güçlü bir çekişe sahip olur ve fazla elektronları çıkarmak ya da negatif iyonlara elektron eklemek çok daha güçleşir. İyonların yükü kolaylıkla değiştirilemezse pilin pound başına depolanmış yükünü artırmanın bir diğer yolu, daha hafif iyonlar kullanıp pilin ağırlığını azaltmaktır. Oda sıcaklığında gaz olmayan en hafif atom lityumdur ve lityum iyon piller taşınabilir elektronik cihazların geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Yıllar önce otomobillerdeki aküler kurşun-asit karışımından oluşuyordu.¹ Kurşun, ağırlığı hidrojen atomunkinden iki yüz kat daha fazla olan, büyük ve ağır bir atomdur. Evrenin en hafif elementi olan hidrojen, yörüngesinde tek bir elektron bulunan tek bir protondan oluşur; buna karşılık kurşunun çekirdeğinde 82 proton ve 125 nötron vardır, bunların etrafında da 82 elektron bulunur. Proton ve nötronlar elektronlardan kabaca 2.000 kat daha büyük bir kütleye sahiptir, dolayısıyla bir atomun ağırlığını azaltmak için çok hafif çekirdeğe sahip elementleri düşünmek gerekir. Helyumun çekirdeğinde yalnızca iki proton ve iki nötron vardır ve hidrojenden sonra ikinci en hafif elementtir fakat oda sıcaklığı ve basıncında olmasının yanı sıra kimyasal olarak atıl bir gazdır ve dolayısıyla bir pilde elektrik enerjisi depolamak için uygun değildir. En hafif üçüncü element ise çekirdeğinde yalnızca üç proton ve üç nötron bulunan alkali metal lityumdur. Lityum iyon pillerde ağırlıktan büyük tasarruf edilmesinin kaynağı budur.

Kullandıkları iletken elektrotların tipi ya da içinde bulundukları sıvının özgül bileşiminden bağımsız olarak, pillerin voltaj sağlayabilmeleri için iyonların üretecekleri bir kimyasal reaksiyon gerekir.

1 Henry Schlesinger, *The Battery: How Portable Power Sparked a Technological Revolution*. Smithsonian Books, 2010, s. 173-75; Fletcher, *Bottled Lightning*, s. 13-17.

Bu reaksiyon enerjii tüketerek bağlantı ucunun üzerindeki iyonları zorlar. Lityum pillerde terminaller, bir otoparktaki kademeler gibi, atom yığınlarından oluşan grafit ya da kobalt oksit gibi katmanlı malzemelerden oluşur. Dolayısıyla lityum iyonlar, atom düzlemleri arasına park etmiş hâlde bu terminallerin içine yerleşmiştir ve bu yöntem daha fazlasının depolanmasına imkân tanır. Bir pilin tuta-bileceği azami voltaj kimyasal reaksiyondan ne kadar enerjinin elde edilebileceği ile belirlenir ki bir terminale ne kadar fazla iyon eklenirse ek bir iyon daha yerleştirmek o kadar zorlaşır. Bir terminaldeki pozitif iyonlar diğerindeki negatif yükler tarafından elektriksel olarak çekilir. Dolayısıyla bütün pillerde yüklü terminalleri ayrı tutup iyonların yeniden birleşmesini önlemek için bir tür bariyerin bulunması gerekir. Kimyasal tepkenlerin ilgili terminallere doğru hareket etmesine izin vermek için bu bariyer gözenekli olmalıdır fakat bu, negatif ve pozitif yüklerin kendi elektrotlarını bırakabilecekleri ve pilin içinde yeniden birleşebilecekleri kadar açık bir sınır olamaz. Bu bariyer aşılsa pil kısa devre yapabilir ve terminali yüklemek için sarf edilen enerji, kimyasal reaksiyonun tersinmesine bağlı olarak genellikle ısı ve gaz şeklinde hızla geri kazanılır.¹

Uçağa giriyorsunuz, koridorda zorlanarak belirlenmiş koltuğunuza doğru ilerliyorsunuz. Dolu uçakta arka tarafta pencere kenarındaki tek boş koltuğu seçmek zor değil zaten. Çantanızı önünüzdeki koltuğun altına koyup kemerinizi bağlıyorsunuz. Kabin amiri uçak kapısının kapatıldığını duyuruyor ve bütün kişisel elektronik cihazların kapatılması ya da uçak moduna getirilmesi uyarısını yapıyor (siz de akıllı telefonunuzu uçak moduna getiriyor ve tabletinizin ka-

1 Geri kazanılan enerji aslında, termodinamik hususlardan dolayı terminaleri yüklemeye harcanan enerjiden fazladır ama bu teknik detay pilin patlamasının yanında tabii ki çok önemsizdir.

*palı olup olmadığını kontrol ediyorsunuz). Birkaç dakika sonra uçak pistte taksilemeye başlıyor. Pilot anonsu açıp uçağa hoşgeldiniz diyor ve uçuşunuzun kalkış sırasında ikinci olduğunu söylüyor. Kabin görevlisi güvenlik uyarılarını ustalıkla yapıyor ve o neredeyse son kelimesini söyler söylemez pilot mürettebata havalanma için hazırlanma talimatı veriyor. Uçak pistin başında bir an bekliyor ve sonra gaza basılıyor ve uçak hızlanmaya başlıyor. Hızlanan **uçak** yumuşak bir tarzda gökyüzüne doğru yükselmeye başlıyor. Yükseklik artıyor ve işte havadasınız.*

Sıcak hava balonuyla ya da süpersonik jetle dünya yüzeyinden ayrılmak istediğinizde, hava moleküllerinin aracınızın üstünden çok alt kısmına çarpıp yukarıya doğru net bir dengesiz kuvvet oluşturması gerekir ve bu kuvvet sizin ağırlığınızdan daha fazlaysa sizi yukarı, daha yukarı yükseltir.

Buz parçaları neden bardağın dibine çökmeyip içkinizin yüzeyinde yüzüyorsa sıcak hava balonları ve zeplinler de aynı sebepten gökyüzüne yükselirler: Yoğunluk farkı yukarıya doğru bir kuvvete yol açar ve buna “kaldırma kuvveti” denir.¹ Kaldırma kuvvetinin büyüklüğü cismin boyutuna, yani cismin hacminin ne kadar sıvının yerini aldığına bağlıdır. Cismin ağırlığı yerini aldığı maddenin ağırlığından fazla ise batır; hafifse de yüzer.² Bir balonun yükselmesi için, çevreleyen atmosferden hacim (yoğunluk) olarak daha az kütleye sahip bir gazla (genellikle sıcak hava ya da helyum) doldurulur. Havadan daha yoğun bir araçla ulaşım için ise atmosfer net bir yukarı kuvvet sağlayacak bir düzenleme yapmak gerekir.

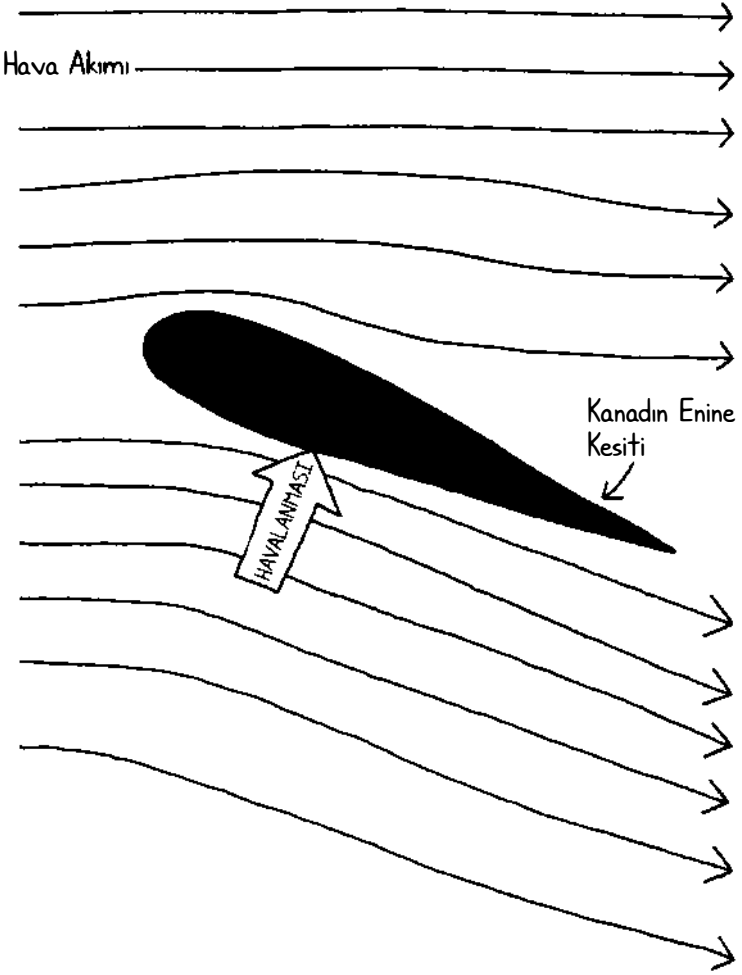
1 David Macaulay, *The Way Things Work*. Houghton Mifflin Company, 1988, s. 103, 112-13.

2 Odunun içinde toplam yoğunluğunu azaltan küçük hava cepleri vardır, suya tamamen doyduğunda batıp su kütlesinin dibine iner.

Uçak kanatları biçimli ve kavislidir, kanadın altındaki havayı aşağıya doğru yönlendirmek ve kanadın yukarısında hareket eden havayı yukarıya doğru çevirmek için kanadın tepesinde büyükçe bir profil vardır.¹ Kanadın altındaki hava küçük bir hacme sıkıştırılır ve böylelikle hava kanadın üstüne, ters yöne doğru itilir. Burada Newton'ın keşfi olan hareketin üçüncü yasasından faydalaniyoruz: *Her hareket için eşit ve ters yönde bir tepki vardır*; bir başka ifadeyle kuvvetler çiftler çiftler gelir. Siz bir şeyi iterken o şeyin de sizi itmemesi mümkün değildir. Hareket hâlindeki havanın bu yön değiştirmesi kanadın altında daha büyük bir basınç (alan başına güç) oluşumuna sebep olur. Kanadın üstünde hava daha büyük bir alana doğru hareket ederek basıncı azaltır. Uçak ne kadar hızlı hareket ederse saniyede o kadar fazla hava yön değiştirir ve kanadın üstü ile altı arasındaki basınç farkı o kadar büyük olur. Hava akışının yönünü değiştirme çabasıyla oluşan bu basınç farkı, net bir kaldırma kuvvetine neden olur. Hız yeterince yüksekse bu kaldırma kuvveti uçağın ağırlığından daha fazla olabilir.

Bir uçak yukarı kalkacak kadar hızlı nasıl hareket edebilir? Burada da Newton'ın hareket ve karşı hareketler yasası iş başındadır. İlk uçaklarda (ve bugün dahi küçük uçaklarda) uçağın hızı pervanelerin dönmesiyle elde edilen ileri itilimden kaynaklanırdı. Pervane kanatları biçimlidir ve aslında dönen kanatlar olacak şekilde bir açı ile monte edilmişlerdir. Kanadın arkasında hareket hâlindeki bir miktar havayı boşaltır ve yönünü değiştirirler. Bu, pervane kenarının genişliği boyunca bir basınç farkı yaratarak pervaneyi ileri, uçağın öne doğru hareketi yönünde iter. Pervane kanatları ne kadar hızlı dönerse arkalarındaki havanın yönünü o kadar fazla değiştirirler ve uçak da istenen yönde o kadar hızlı hareket eder.

1 Bloomfield, *How Everything Works*, s. 168-71.



Kanadın altındaki hava akışının yönü aşağı çevrilir.
Hava kanadın altının üzerinde yukarı doğru bir kuvvetle geri itilir.
Buna "lift" denir.

ŞEKİL 5

Uçak ne kadar büyükse ağırlığı da o kadar fazladır ve belirli bir kanat büyüklüğü baz alındığında, uçağı yerden kaldırmak amacıy-

la kanatların altında yeterince kaldırma kuvvetine erişmek için o kadar hızlı hareket etmek zorundadır. Pervaneyi döndürecek enerji fosil yakıtın yanmasından gelir ve otomobildeki dönme kinetik enerjisini sağlayan da aynı fizik prensibidir. Daha fazla kaldırma kuvveti için gereken büyük hızlara jet motoru kullanılarak ulaşılır.

Bir jet motoru görünüşte benzemese de temelde benzinle çalışan bir otomobildeki gibi içten yanmalı silindirin yan dönmüş hâlidir.¹ Soğuk hava, dönen türbin kanatları aracılığıyla jet motorunun ön tarafına çekilir. Bu soğuk hava sıkıştırılınca sıcaklığı artar. Sıcak gaz bu defa jet yakıtı ile karıştırılır ve bir kıvılcım karışımı tutuşturup patlamaya yol açar. Artık çok daha sıcak olan gaz, motorun arka tarafında dar bir delikten geçerek çıkıp sıcak gazı daha da hızlandırır. Sıcak gazın uçağın arka tarafına doğru bu çıkışı Newton'ın üçüncü yasasından dolayı ileriye doğru bir itme kuvveti sağlar. İçten yanmalı motorun içindeki silindirden farklı olarak bir jet motorunda bu dört adım sürekli gerçekleşip uçağı kaldırma kuvvetini sağlayacak kadar büyük hızlara çıkarır.

Uçakta pervanenin dönme hızı ya da jet motorunun ileri itme kuvveti, hava direncine karşı koymak için uçağın hızı ile birlikte artmalıdır. Bu hava direnci hava yoğunluğunun daha az olduğu yüksek irtifada azalır. Bununla birlikte atmosfer inceldikçe uçağı kaldırmak amacıyla kanatları yukarı itecek hava azalır, dolayısıyla yüksek irtifada uçmak için yine çok yüksek hızın korunması zorunludur.

Uçağınız şaşılacak kadar kısa bir zaman zarfında bulutların içinden geçiyor ve seyir irtifasına tırmanıyor. Pencereden bakıyor ve birkaç dakika içinde rahatlayıp sabahın stresinden kurtuluyorsunuz. Genişlemesine uzanan masmavi gökyüzü rahatlatıcı ve bu zamanda

¹ a.g.e., s. 175-6.

*yaşadığınız için şanslı olduğunuzu hatırlatıyorsunuz kendinize; yüz yıl önce bu manzaralara erişmek böyle rutin bir olay olmayacaktı. Kilometrelerce uzanan çarpıcı bir bulut formasyonu dikkatinizi çekiyor. Akıllı telefonunuzu alıyor ve bulutların **dijital fotoğrafını** çekiyorsunuz.*

Telefonunuzu kullanarak bulutların görüntüsünün fotoğrafını çekerken iki önemli etaptan geçilir: Gelen fotonların, fotonların emildiği pozisyonlarda (pikseller) sınırlı kalan elektrik yükleri aracılığıyla kaydedilmesi ve fotoğraf çekilir çekilmez görüntüdeki her pozisyonda ne kadar elektrik yükünün bulunduğu ölçülmesi. Birinci etap, ışık yayan bir diyodun (güneş pili veya “fotodiyot” olarak da bilinen ışık emici bir diyot) geriye doğru işlemesi yoluyla gerçekleştirilir. İkinci etapta ise bu yükleri depolayan kapasitör dizilimleri bulunur.

Her pikselde ışık emilimi vasıtasıyla elektrik yükleri yayan bir fotodiyot bulunur. Bu cihazı saf silikonun “et” olduğu, üst ve altta ise özellikle eklenmiş kimyasal katışıklardan “ekmek” dilimlerine benzediği bir silikon çip sandviçi olarak düşünebiliriz.¹ Üstteki ekmek diliminde silikona eklenmiş fosfor, üstteki normalde boş hâller bandı “balkonu”ndaki elektron sayısını artırır. Alttaki dilimde silikona katılmış bor, elektronları düşük enerji bandından (normal olarak tamamen doludur) çıkararak katmanda etkili bir şekilde delikler açar. Bu katışkı eklenmiş silikon katmanlarının kesin sonucu, ortadaki saf silikon malzemesi boyunca bir elektrik alanının yaratılmasıdır.

Bu elektrik alanı önemlidir çünkü elektrik yüklerini istediğimiz yere götürecektir. Katı hâl fiziğinin oditoryum modelinde, bir ışık

1 Mark Johnson, *Photodetection and Measurement: Maximizing Performance in Optical Systems*. McGraw-Hill Education, 2003, s. 1-11; Ben G. Streetman ve Sanjay Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 5. baskı. Prentice Hall, 2000, s. 379-86.

fotonu hücreye bir elektronu daha üst hâller bandına yükseltmeye yeterli bir enerjiyle çarpar ve alt bantta bir delik açarsa, yarıiletkenin bir ucundan öbür ucuna kadar olan elektrik alanı bu yükleri ters yönlerde iter. Elektronlar “sandviç”in bir tarafında yığılırken delikler de diğer tarafta toplanacaktır. Ne kadar fazla foton emilirse, cihazın karşıt taraflarına o kadar fazla yük gönderilecektir. Dijital öncesi fotoğraf filminde, ışık kimyasal tepkimeden geçen ve filmi kalıcı şekilde değiştiren küçük gümüş halojenür tanecikleri tarafından emilirdi. Dijital kamerada fotodiyotlardan gelen yükler yeniden kullanılabilir kapasitörlerde depolanır. Her pikselde kapasitörün levhaları o lokasyondaki fotodiyottan gelen elektronları tutar ve bir sonraki aşamada bu yük görünecektir.

Sütunlar hâlinde (her birinde bin kapasitörün bulunduğu bin sütun) düzenlenmiş bir milyon kapasitörde depolanmış yükler için dikkatli bir zamanlama ve koordinasyon gerekir. 374. sıra ve 589. sütundaki kapasitörün üzerinde olması belirlenen yükün bir saniyeden az zamanda tam olarak o lokasyona gönderildiğinden emin olmak istersiniz. Bu kesin ve hızlı okuma “yük aktarmalı devre prensibi” ile gerçekleştirilir.¹

Her sırada, her birinde belirli bir miktarda depolanmış yük bulunan uzun bir kapasitör hattı vardır. İlk kapasitörün üzerindeki yükü okumak kolaydır. Bir voltajın uygulanmasıyla bu yük sıranın sonunda hemen solda bulunan bir referans kapasitörüne çekilir. Referans kapasitöründeki yük, bir transistör kullanılarak algılanan ve büyütülen bir voltaj yaratır. Bunun sonucunda oluşan voltaj ikili matematik kullanılarak bir dijital sinyale dönüştürülür ve bu sayı bilgisayar belleğinde saklanır. Soldaki sıranın sonuna komşu olan

1 Örneğin bkz. James R. Janesick, *Scientific Charge-Coupled Devices*, SPIE Press, 2001.

kapasitör artık boştur fakat yandaki kapasitörün üzerindeki yüke erişebilmemiz gerekir.

“Yük aktarmalı devre” yönteminde, sıranın sonundaki “kova” bir ölçüm fiçisine boşaltılır ve sonra onun yanındaki kova içindekileri ilk kovaya döker. Bunun üzerine üçüncü kova içindekileri yeni boşaltılmış olan ikinci kovaya, dördüncü kova üçüncü kovaya gönderir ve bu böyle devam eder. Kapasitatif (sıgal) kovalarda su yerine bir miktar elektrik yükü vardır ama prensip değişmez. Sıranın sonundaki ilk kapasitörü boşaltan pozitif voltaj, ikinci kapasitörün üzerindeki elektronların tamamı birinci kapasitöre geçene ve sonra yine referans kapasitöre (yüklerin ölçüldüğü) geçene dek, ikinci kapasitörde tutulan elektronları çekecektir. İkinci kapasitör artık boştur ve sıranın ileri sol ucundaki referans kapasitör artık ikinci kapasitörden gelen yükü tutmaktadır. Bu yük ise amplifikatöre gönderilip ölçülür ve bir voltaja dönüştürülür. Bu sırada artık boş olan ikinci kapasitörün levhalarına pozitif voltaj gönderilerek üçüncü kapasitörün üzerindeki elektronlar çekilir. Bu süreç sırada bulunan bin kapasitör için ve bin sıranın tamamında, bir milyon kapasitör incelenene ve depoladıkları yük bir milyon voltajlık bir sete dönüştürülene kadar devam eder. Bu şekilde görünen bu kapasitörler sırasına teknik olarak “yükten bağımlı cihaz” (*charge-coupled device* veya CCD) denir.

Bu sistemi çalıştırmanın tek yolu koordinasyondur. Voltajı uygun sekanstaki bellek çipinde depolayarak yüklerin sekansında ışık tarafından kodlanmış bilginin orijinal görüntüye dönüşmesini sağlamak için bütün kapasitörlerin yüklerini sıraya doğru zamanlarda nakletmeleri kritik önemdedir. Doğru zamanlamayı kusursuz bilgisayar saatleri ile sağlarlar.

Yukarıda tanımlanan prosedür, renkli bir görüntüyü her bir pikseli ince gri skalalı ama siyah beyaz bir fotoğrafa dönüştürür. Yani

yükün büyüklüğü ve dolayısıyla her kapasitörden kaydedilen voltaj o resim ögesinin ışık sensörüne çarpan fotonların sayısına bağlıdır ve bu voltaj herhangi bir değer alabileceğinden ötürü grinin tonlarını yakalayabilir. Dijital fotoğrafçılıkta renkli fotoğraf çekmek için kullanılan bir teknikte her sensör dört küçük eşit kareye bölünür. Bu küçük karelerin her birinin üzerinde bir filtre vardır; kırmızı, yeşil, mavi ya da bütün ışığın detektöre geçmesini sağlayan temiz bir filtre. Sıranın sonundaki amplifikatöre gönderilen ayrı ayrı yükler hangi rengin kapasitörünün kaydedildiğini takip eder. Voltajların işlenmesi, düzeltilmesi ve aradeğerlemesiyle yeniden bir araya getirilen görüntünün renk düzeyleri ayarlanabilir. Bu, spektrumun görünür kısmı ile sınırlı değildir. Enerji durumlarının dolu alt bandı ile üst boş bandı arasında çok daha küçük enerji boşluklarına sahip yarıiletken sensörler kızılötesi ışını algılayabilirler. Film fotoğrafçılığında olduğu gibi, bir foton emilip elektronik bir sinyale dönüştürülür dönüştürülmez, işlemin geri kalanı algılanan ışıktan bağımsızdır.

CCD olan kameraların geliştirilmesi fotoğrafçılıkta devrim yapmıştır. Mathew Brady Amerikan İç Savaşı'nda çektiği portrelerde kamerasının diyafram açıklığını açık bırakarak öznesinden yeterince foton gelip kameranın detektörüne ulaşmasını bekleme tekniğini uyguluyordu. Bu teknik kullanılarak uzak galaksilerden gelen ışık ya da saatte 500 mili aşkın hızla giden bir jet uçağından görüntülenen manzarayı tam olarak kaydetmek mümkündür. Görüntünün flulaşmasını önlemek için Brady'nin öznelerinin, yarım dakika tamamen hareketsiz durmaları gerekiyordu, oysa modern kameralar saniyenin çok kısa bir diliminde fotoğraf çekebiliyor.

Piksel ne kadar küçükse belirli bir alanı kaplamak için gereken görüntü ögesi o kadar fazla ve çözünürlük de o kadar yüksektir. Bu, kameralar ve ekranlar için aynı ölçüde geçerlidir. Örnek olarak bin sensör ihtiva eden bin sütunlu bir dijital kamera kullandık

fakat onun temsil ettiği bir milyon piksel (veya bir Megapiksel) bugün çözünürlüğünün alt sıralarında sayılıyor. Günümüzde dijital kameralar için son teknoloji çözünürlük seviyesi kabaca yirmi Megapiksel’dir fakat teknoloji asla uzun süre aynı kalmıyor.

Foton akınındaki bilgi voltaja dönüştürülür dönüştürülmez, bu voltajlar bir ve sıfırlardan oluşan bir dizilime dönüştürülebilir. Bu net dizilim, bir ekrandaki piksellerin hangi konum ve zamanlarda aktive edilmesi gerektiğine ilişkin talimatları kodlayabilir. Bilgisayarın belleği yeterli ise birden fazla görüntü alabilirsiniz (her kırk ya da elli milisaniyede bir) ve bu video görüntüsü de daha büyük bir birler ve sıfırlar setinden oluşacaktır. Uzaktaki bir veri depolama merkezine yüklemek istediğiniz birler ve sıfırlar işte bunlardır; bir bulutun fotoğrafını Bulut’a göndermek istediniz ya.

*Telefonunuz çektiğiniz dijital fotoğrafları **Bulut veri depolama** hesabınıza otomatik olarak kaydedecek. Ancak telefonunuz uçak modundayken veri sağlayıcınıza erişemezsiniz. İndiğinizde fotoğrafın diğer fotoğraf ve videolarla birlikte kaydedilmiş olduğunu tekrar kontrol edeceksiniz. Uçak artık bulutların epey üzerinde ve üstünüzde daha az atmosfer olduğu için uçuşta bugünkü doktor muayenenizdekine göre daha fazla radyasyona maruz kaldığınızı fark ediyorsunuz. Bunu düşününce sunum notlarınıza bakmak geliyor aklınıza.*

Çoğumuz açısından uzun süreli depolamak istediğimiz birler ve sıfırların sayısı zamanla akıllı telefonlarımızın kapasitesini aşar. Bu yüzden verilerimizi daha büyük ve derin çekmeceleri olan bir “kiralık kasa”da saklamak daha iyi bir seçim olur. Bütün bu sanal, dijital kasaları içeren banka kasa dairesine “Bulut” denir.

Bir uçakta, yerden sekiz kilometre yükseklikteyseniz Bulut’tan kabaca sekiz kilometre uzaktasınızdır. Oraya depoladığınız bilgi

ise yerde, genellikle yerkürenin kuzeyindedir. Yerel bankanızdan farklı olarak bunun belirli bir merkezi yoktur; bilginiz “sunucu” denilen çok sayıdaki bilgisayar bellek bankasında muhafaza edilir.¹

Telefonunuzu ya da tabletinizi açtığınızda cihazınız hangi piksellerin ışıklandırılacağını ekranınıza bildiren bir komut kümesini işleme koyar. Aynı şekilde, bir Web adresi aracılığıyla bir site (metin, bağlantı ve grafikleri bulunan) bilgisi talep ettiğinizde cihazınıza görüntüyü uygun olarak değiştiren farklı bir komut kümesi gönderilir. Tabletinize gönderilen birer ve sıfırların karmaşık örüntüsü hâlindeki web sitesinin bilgisi bir sunucuda depolanır. Bilgilerinizi dağınık ve yayılmış bir ağda muhafaza eden sunucuların toplamına “bulut veri depolama” sistemi denir. Fakat bütün bu verilerin sunucuları “kızartmaması”na da dikkat edilmelidir.

Bir transistörün düşük akım “kapalı” durumdan yüksek akım “açık” duruma her geçişinin küçük ama sıfır olmayan da bir enerji maliyeti vardır. Bu enerji yeterince hızlı geri çekilmezse transistörün sıcaklığı artacaktır. Sıcaklık, bir cisimdeki atom başına düşen ortalama enerjinin izini sürmenin bir yöntemidir. Katı bir cisimde, atomlar sabit lokasyonlara hapsolür ve ortalama enerji ne kadar yüksek ise atomlar denge konumlarının etrafında o kadar fazla titreşir. Bu titreşim elektrik akımını yörüngesinden saptırıp bir akımın uygulanan belirli bir voltaj için ne kadar büyük olabileceğini sınırlayabilir. Transistörün performansının azalmasına ek olarak, bu artan sıcaklık çipin kendisini bile imha edebilir. Isı giderilmediğinde, enerjinin yığılması, sıcaklığı silikonun erime noktasının üzerine bile çıkarabilir zira çok küçük

1 Andrew Blum, *Tubes: A Journey to the Center of the Internet*. Harper Collins, 2012, s. 259; Prashant Gupta, A. Seetharaman ve John Rudolph Raj, “The Usage and Adoption of Cloud Computing by Small and Medium Businesses”, *International Journal of Information Management* 33, 861, 2013.

bir hacimdeki milyonlarca transistör saniyede milyonlarca kez açıp kapanmaktadır.¹

Isı yönetimi bilgisayar sistemlerinin tasarımında önemli bir husustur, özellikle de sistemin işletim hızı maksimize edilmek isteniyorsa.² Transistörler ne kadar hızlı açıp kapanırsa akım seviyesindeki değişiklikler arasındaki zaman aralığı o kadar kısa ve bu işlemin sebep olduğu ısıyı gidermek için kullanılabilecek süre o kadar az olur.

Bulut veri depolama hizmeti veren pek çok şirket var ve bunların her biri elektrik gücüne ihtiyaç duyan çok geniş yelpazede sunucular kullanmaktadır. Google tarafından işletilen veri merkezleri iki yüz MegaWatt'tan fazla güç kullanırlar ki bu küçük bir elektrik santralinin üretimine denktir.³ Bu rakamı dünyanın dört bir yanında bulunan veri merkezlerinin sayısı ile çarpınca bulut depolamanın (ve genel olarak internetin) hatırı sayılır bir karbon ayak izi olduğu açıkça görülür. Klima masrafından tasarruf etmek için (sunucular aşırı ısınır ise kaydettiğiniz kedi videolarınız elden gider), bu veri merkezlerinin çoğu İsveç, Finlandiya ve kuzey Minnesota gibi iklimin daha soğuk olduğu yerlerde dir.

Sunumunuz için hazır olduğunuza kanaat getirince, uçuşunuzun geri kalanını indirmiş olduğunuz bir videoyu izleyerek geçirmeye niyetlenip tabletinizle kulaklığınızı çantanızdan çıkarıyorsunuz.. Minik

1 Vaclav Smil, *Energies: An Illustrated Guide to the Biosphere and Civilization*. MIT Press, 1999, s. 200.

2 Matt McKinney, "Selling the Cold, Minnesota's Tech Community Welcomes Data Centers", *Minneapolis Star Tribune*, 13 Aralık 2014.

3 James Glanz, "Google Details, and Defends, Its Use of Electricity", *New York Times*, 8 Eylül 2011; ancak Google'ın karbon ayak izini değiştirmesi planlandı: Quentin Hardy, "Google Says Its Data Centers Will Run Entirely on Renewable Energy by 2017", *New York Times*, 7 Aralık 2016.

*kulaklıklarınızın ses kalitesinden etkileniyorsunuz. Yanınızda oturan kişiye dönüyorsunuz ve onun da kendi tabletinde kendi videosunu izlediğini görüyorsunuz fakat o kulaklık yerine **gürültü önleyici kulaklıklar** takmış. Bu kulaklıklar iri ve hantal; gerçekten gürültüyü önüyorlar mı yoksa sadece boğuyorlar mı diye merak ediyorsunuz.*

Gürültü önleyici kulaklıklarda kulaklık kısmının büyük olmasının sebebi yalnızca çevredeki sesleri yalıtmaq değil, aynı zamanda her birinin telefon ahizesi vazifesi görmesine imkân tanımaktır. Yani hem mikrofon gibi çalışırlar (gelen ses dalgalarını algılayıp onları elektrik voltajlarına dönüştürürler) hem de hoparlör işlevi görüp bu voltajları tekrar ses dalgalarına çevirirler. Arkadan gelen sesi kesmek için bu yeni ses dalgaları gelen sesle karışır ve onu mükemmel bir şekilde yok eder.

Ses, bir ortamdaki, genellikle de havanın içindeki yoğunluk değişimleri ile kendisini gösterir.¹ Bu yoğunluk modülasyonları, tek bir gitar telinin çalınmasında olduğu gibi, iyi tanımlanmış bir frekansla düzenli aralıklarla tekrarlanabilir ya da bir uçak motorunun homurtusu gibi düzensiz ve kaotik olabilir. Bir gitar telinin sesini düşünün. Önceden gördüğümüz gibi, tel bize doğru hareket ettiğinde hava molekülleri ile çarpışıp onları önlerindeki boşlukta duran hava molekülleriyle sıkıştırarak ortalamadan daha yüksek yoğunluklu bir bölge yaratır. Tel bizden uzaklaşırken de arkasından telden yayılan ortalamadan daha düşük yoğunlukta bir boşluk bırakır. Tel geriye, bize doğru titreşirken, yüksek yoğunluklu bir başka hava paketi oluşturur ve onu da daha düşük yoğunluklu bir bölge takip eder. Telin ileri geri titreşimleri havanın yoğunluğunda

1 Paul A. Tipler and Gene Mosca, *Physics for Scientists and Engineers*, cilt 1, 6. baskı. W. H. Freeman, 2007, s. 502-503.

sürekli olarak birbirini izleyen değişimler yaratır. Havanın daha yoğun olduğu komşu bölgeler arasındaki aralığa “dalga boyu” denir. Varsayalım ki titreşen telden doğan yoğunluk dalgası sol majör olsun. Bu dalga kulak zarımızı döverek zarın titreşmesine neden olur. Sonunda bu mekanik titreşim, nöronlar tarafından iletilen ve işleme sokulan bir elektrik sinyaline dönüştürülür. Bu nöronlar gelen sinyali sol majör olarak yorumlarlar.

Fakat bu defa, bu sesin kulağımıza gelmeden önce aynı notayı ifade eden bir başka dalga ile çarpıştığını varsayın. İkinci dalga-daki her şey birinci ile özdeştir, tek bir önemli farkla: Bu ikinci dalga birinciden tamamen farklı fazdadır, öyle ki birinci dalga daha yüksek yoğunluklu bir bölgeye sahip olduğunda ikinci dalga düşük yoğunluklu bir bölgeye sahiptir ve tersi. Bu ikinci dalgayı yaratmak için ihtiyacınız olan tek şey başka bir gitar telidir, onu da birinciye yaptığınız gibi çekersiniz ama birinci tel aşağıya doğru inerken ikinci telin yukarı çıkmasına dikkat etmelisiniz. Bu iki dalga karşılaştığında, ortalamadan daha yüksek yoğunluklu bölgeler iç içe geçerek boşluktaki her noktada havayı ortalama yoğunluğa getirir. İkinci dalga bunu sanki birinci dalga hiç olmamış gibi güçlü bir şekilde yapar. Tekbiçimli ortalama yoğunluklu hava sadece havadır ve gitardaki sol majör sesi kaybolur. Birinci gitar teli bir ses dalgası yarattı ve ikinci tel de bir karşı dalga üretti onu etkisizleştirdi.

Tek bir nota ile yapılabilen, pek çok farklı notayla da yapılabilir. Uçak motorunun titreşimleri kanadın çerçevesinin içinden uçağın gövdesine iletilir ve oradan da basınçlı kabine taşınır. Bu ses dalgaları müzik ya da konuşmanınkinden farklıdır zira uçağın arkasındaki gürültünün her biri kulak zarınıza çarptığında dikkatinizi çekmek için rekabet eden geniş bir frekans dizilimi vardır. Geniş, boş bir odadaki bir konuşmayı gizlice dinlediğinizi varsayın. Ne

söylendiğini çaba harcayarak anlayabilirsiniz. Fakat odada düzinelerce çiftin bulunduğu büyük bir parti veriliyorsa ve hepsi de kendi aralarında konuşuyorsa tek bir tartışmayı takip etmek çok daha zor olacaktır. Sıradan kulaklıklar arka plandaki sesi kısmen bloke ederek arzu edilen sinyali doğruca kulağa üfleyecek fakat bu gürültünün bir kısmı yine de ulaşacak ve kulaklıklarda neyin çaldığına yoğunlaşmanızı zorlaştıracaktır.

Gürültü önleyici kulaklıklar partideki diğer herkesin konuşmalarını kaydeder ve anında karşı dalgalar yaratıp onların ses dalgalarını etkisiz duruma getirirler.¹ Kulaklıklarda gömülü mikrofonlar gelen sesleri algılar, yoğunluk dalgalarını tekabül eden voltaj değişimlerine dönüştürür ve girdiyi hızla analiz eder. Gürültü incelendiğinde fazı ters çevirip tam bir gürültü karşıtı voltaj yaratmak net bir matematiksel prosedürdür. Bu voltaj kulaklıklara gönderilince gelen gürültü dalgasını iptal eden mekanik bir ses dalgası çıkar. Kulaklıklara gömülü elektronik işlemcilerin hızı sesinkinden kat kat fazla olduğundan, kulaklıklar gürültünün değişimini telafi edip her zaman mükemmel bir şekilde sıfırlarlar.

Daha videonuz bitmeden kaptanın inişe geçmeye başladığınızı anons eden sesi geliyor. Uçuş sırasında çıkarmış olabileceğiniz kişisel eşyalarınızı toplamanız ve elektronik cihazlarınızı uçak inene dek kapatmanız söyleniyor. Tabletinizi ve kulaklıklarınızı yerine yerleştiriyorsunuz ve biraz sonra da yere iniyorsunuz. Uçaktan çıkarken kapıda kaydedilen bagajınızı geri alıyorsunuz. Havaalanından çıkan insan kalabalığına karışıyorsunuz. Taksi kuyruğu çok uzun olduğundan şehre hafif raylı tramvayla gitmeye karar veriyorsunuz. Hızlı ve etkin

1 S. J. Elliott ve P. A. Nelson, "Active Noise Control", *IEEE Signal Processing Magazine*, Ekim 1993; Scott D. Snyder, *Active Noise Control Primer (Modern Acoustics and Signal Processing)*, Springer, 2000, s. 3-5

hafif raylı sistemi düşününce uçağa alternatif bir yüksek hızlı tren olsaydı ona binerdim diye düşünüyorsunuz.

Fizik açısından, hafif raylı tramvayın temel özellikleri aslında tamamen elektrikli arabanınki ile aynıdır. Ancak sabit yol, itiş gücü için yüksek hızlı trenlerde uygulanabilecek bir başka opsiyon sağlar: Mıknatıslar.

Bazı cisimler neden baştan manyetiktir? Atomların tüm bileşenlerinin (protonlar, nötronlar ve elektronlar) kuantum mekaniğiyle izah edilen ve pusulanın iğnesine benzeyen küçük bir yerleşik manyetik alanı vardır.¹ MRI tarayıcıda, atom çekirdeğinin içsel manyetik alanı vücudunuzun içinin görüntülenmesini sağlar. Geleneksel mıknatısların manyetizması (çubuk mıknatıslar veya at nalı mıknatıslar) demir atomlarındaki elektronların manyetik alanından kaynaklanır. Çoğu atomun elektronları kuzey kutbundan güney kutbuna çift oluşturur, öyle ki ikisinin bir arada hiçbir manyetik alanı yokken bazı hâllerde (demir ya da kobalt gibi) ise, bir miktar eş olmayan elektron (ama hepsi değil) aynı yöne işaret eden kuzey ve güney kutupları sayesinde atoma net bir manyetik alan sağlarlar. Demir atomlarının manyetik alanlarının aynı yöne işaret etme yönündeki doğal eğilimi aşılabılır ve katı bir demir parçası çevresindeki alanda büyük bir manyetik alan yaratarak mıknatıslanabilir. Bu türde iki mıknatısı kuzey kutupları birbirine bakacak şekilde bir araya getirirseniz birbirlerini iten büyük bir kuvvet oluşur. Bu itici yapıda, mıknatısın biri demiryolu üzerinde, diğeri de trenin içinde ise bu itme gücü trenin ağırlığından fazla olabilir (mıknatısların yeterince kuvvetli olması şartıyla) ve tren yolun üzerinde havaya kalkar.

1 Robert Eisberg ve Robert Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, 2. baskı. John Wiley & Sons, 1985, s. 272-78, 434-37.

Benzer mıknatıs kutupları arasındaki bu itici gücü manyetik levitasyon trenlerinin (kısa adıyla “maglev”) nasıl yüzer gibi gittiklerini açıklar.¹ Fakat bunlarda demir çubuk mıknatıslar kullanılmaz; onun yerine manyetik raylı trenler güçlü elektromıknatıslara dayanır. Elektrik ile manyetizma arasındaki çok derin bağlantıdan bahsetmiştik. Elektrikli diş fırçanızda ve şarj aletindeki dönüştürücüde de onu kullanıyordunuz. Elektrik yüklerinin hareketi manyetik alanlar yaratır ve manyetik alanların değiştirilmesi elektrik akımlarına neden olabilir. Bir treni demiryolundan daha yükseğe kaldırmaya yetecek kadar büyük manyetik alanlar yaratmak için çok güçlü bir elektrik akımına ihtiyaç vardır.

Manyetik levitasyon treninin gittiği yol treni havaya kaldıran ve yürüten elektromıknatıslardan oluşur. Manyetik alanı yaratan bobin trenin altındadır. Akım bobinin etrafında saat yönünde aktığı takdirde kuzey kutbu bobinin bir ucunu gösterir ve akım saat yönünün tersine akarsa o zaman da bobinden güney manyetik kutup çıkar. Trenin önündeki elektromıknatısın içinde bulunan bobinlerdeki akım, kuzey kutuplu bir manyetik alan yaratacak, yolun güney kutbu tarafına çekilip treni yoldan aşağı indirecek şekilde kurulmuştur. Bobin yolun bu güney kutup bölgesi ile aynı hizaya gelir gelmez, bobinin içindeki akım ters dönerek bu kez bir güney kutbu yaratır; treni yolun bu kısmından uzaklaştırıp sonraki kuzey kutuplu olana doğru iter. Bir bilgisayar kullanarak elektrik akımı tersyüz edilince, bobinin içindeki değişen akım treni yol boyunca giderek daha hızlı çekecektir. Bir başka bobin seti ise treni yolun yukarısına doğru yükseltir, böylelikle dönen tekerlekler ile yol ara-

1 David Scott, “At Last, Maglev Goes Public: Britain’s Flying Train”, *Popular Science*, Ekim 1984; Scott R. Gourley, “Track to the Future”, *Popular Mechanics*, Mayıs 1998; örneğin bkz. Hyung-Suk Han ve Dong-Sung Kim, *Magnetic Levitation: Maglev Technology and Applications*, Springer Tracts on Transportation and Traffic, 2016.

sındaki sürtünme bertaraf edilir. Manyetik olarak havaya kalkan trenin saatte 322 km'den hızlı gitmesi mümkündür.

Hafif raylı trende, akıllı telefonunuzu çıkarıp veri sağlayıcınıza bağlanıyorsunuz. Bulut fotoğrafınız Bulut hesabınıza kaydedilmiş. Daha sonra bir Web tarayıcısında bindiğiniz hafif raylı trenin haritasını buluyor ve kentte gideceğiniz ofisin adresi ile güzergâhı karşılaştırıyorsunuz. Daha altı durak gideceksiniz. Söyleyecekleriniz üzerine düşünmek için yeterince zamanınız var.

ALTINCI BÖLÜM

Sunum Yaparken

*Durakta iniyorsunuz. Toplantınızın yapılacağı ofis binasına iki blok var. Pek çok Amerikan kentinde olduğu gibi şehir merkezi düzenli bir dikdörtgen ızgara şeklinde düzenlenmiş ve doğru yönü anladığınız zaman gideceğiniz yeri bulmak kolay. Binaya vardığınızda adres rehberine bakıp asansöre biniyorsunuz, çabucak yirmi üçüncü kata çıkıyorsunuz. Siz resepsiyon görevlisine kendinizi tanıttıktan sonra, görevli davetli olduğunuz yere telefon ediyor. Birkaç dakika sonra, sunumunuzu yapacağınız toplantı odasına giden koridorda yürüyorsunuz. Oda orta büyüklükte ve sizi davet eden kurumun yetkilisi elliden fazla kişinin katılmasını beklediklerini belirtiyor. Programa göre konuşmanızın başlamasına yirmi dakika var ve kahvenizi içerken tabletinizi LCD projektöre bağlamaya çalışıyorsunuz. Tabletinizi projektöre tanıtmakta sorun çıkıyor. Neyse ki sunumunuzun bir kopyası **USB bellek**'te var da konuşmanızı toplantı odasındaki bilgisayara yüklüyorsunuz. Dosyanın açıldığını ve doğru biçimlendirilmiş olduğunu da netleştirdikten sonra artık başlamaya hazırsınız.*

Bilgisayarlar birleri ve sıfırları bu değerleri sırasıyla yüksek ya da düşük akım seviyeleri ile gösteren yarıiletken transistörler kullanarak kaydeder. Yarıiletkenlerin en mükemmel yönü, elektrik dirençlerinin başka kimyasal elementlerden (güneş pilinin ve ışık yayan diyotların bazı) cüzi miktarlarda eklenerek ya da bir elektriksel alan (transistörün içinde) uygulanarak büyük ölçüde değiştirilebilmesidir.

Bir transistör yapmak için aralarında ince bir yalıtkan (cam ya da hava gibi) bulunan iki metal levhadan oluşan bir kapasitörle işe başlayın ve metal levhalardan birinin yerine silikon gibi bir yarıiletken koyun.¹ Normal bir kapasitörde levhalardan birine pozitif voltaj uygulanır ve metal plaka pozitif yük yüklenir. Bu büyük pozitif yük, elektronları ikinci levhaya çekerek bu plakayı negatif yükle bırakır. İkinci levha metal değil yalıtkan olduğunda da aynı şey meydana gelir. Silikonun içindeki elektronlar silikonun metal levhaya bakan tarafına çekilir. Daha önce, yarıiletkenin yalıtkan camla arayüzündeki bu bölgesinde akımı taşıyacak sadece birkaç yedek elektron varken şimdi yüzeydeki yüklerin yoğunluğu çok daha yüksektir ve bu bölge boyunca daha büyük bir akım ortaya çıkar.² Metal levhaya voltaj uygulayarak tepedeki yarıiletkeniden akabilen akımı değiştirebiliriz. İçinden daha büyük bir akım geçtiği zaman bu bilgisayarın belleğinde “bir”i temsil edebilir ve hiç gerilim uygulanmadığı zaman da silikonun içinden çok küçük bir akım geçer (ki bu da “sıfır” olur). Bu olaya (alttaki metal levhanın üzerindeki yüklerin değiştirilmesinin yarıiletkenin direncini değiştiren bir elektrik alanı oluşturduğu) “alan etkisi” denir ve

1 Barry M. Lunt, *Marvels of Modern Electronics: A Survey*. Dover, 2013, s. 23-32.

2 Elbette, silikonun bir tarafını elektrik için daha iyi bir iletken hâline getirirken bunu dipteki yüzeyi daha kötü bir iletkenine çevirme pahasına yapmış olduk. Yine de bir malzemenin içinden akım geçmeye zorladığınızda neresi kolaysa oradan geçecektir (“en az dirençli yol”) ve alttaki metal levhaya uygulanan voltajdan dolayı silikonun içinden daha büyük bir akımın geçtiğini göreceğiz.

cihazın tamamına da alan etkili transistör ya da FET (*field effect transistor*) adı verilir.

Bu transistör yapısının sorunu, cihazın yüksek akıma sahip olmasıdır ve bu yüzden de sadece metal levhaya voltaj gönderildiğinde “bir” yazmasıdır. Bilgisayarınızda bu voltajı sağlayacak enerji, pilinden ya da eğer bilgisayar prize takılı ise elektrik santralinden gelir. Voltaj kapatılır kapatılmaz, metal levhanın üzerindeki fazladan yük akıp gider ve transistör eski düşük akım durumuna döner. Böylelikle birler ve sıfırlar diziliminde depolanmış olan bilginin tamamı kaybolur, zira bütün transistörlerin varsayılan durumu sıfırdır.

Bir USB¹ bellek, güç kaynağına bağlı olmadığı zaman dahi, transistörlerin yüksek akım durumu bilgisini korur. Transistörü yüksek akım durumunda tutmak amacıyla birinci metal ile yarıiletken arasındaki yalıtkan camın içerisine gömülü üçüncü bir metal levha kullanılarak silikonun “açık” durumunda tutulması için gerekli elektrik yükleri depolanır.²

Bir transistörün içindeki yalıtkan cam tabaka genellikle çok ince olup sadece yaklaşık yüz nanometre kalınlığındadır (bir nanometre bir metrenin milyarda biridir ve bu, ucu ucuna eklenmiş üç atomun boyudur). USB sürücünün içindeki transistör için, alttaki elektrotla aynı bir başka metal levha eklenir fakat silikonun sadece on nanometre altındaki yalıtkan tabakanın içine sıkıştırılır. Bu metal hiçbir dış kabloya bağlanmaz, böylece normalde transis-

1 USB, “*universal serial bus*” (evrensel seri veri yolu) anlamına gelir; dizüstü bilgisayarınıza ya da tabletinize takılan ve bilgisayar endüstrisi tarafından farklı cihazlar tek bir tip kablo ile birbirine bağlanacak şekilde standart tasarım olarak belirlenmiş dikdörtgen şeklindeki ince bağlantı elemanı diye tanımlanır.

2 D. Kahng ve S. M. Sze, “A Floating-Gate and Its Application to Memory Devices”, *The Bell System Technical Journal* 46, 1288, 1967; R. Bez, E. Camerlenghi, A. Modelli ve A. Visconti, “Introduction to Flash Memory”, *Proceedings of the IEEE* 91, 489, 2003. Ayrıca bkz. James Kakalios, *The Amazing Story of Quantum Mechanics*. Gotham, 2010, s. 216-18.

törün işleyişinde hiçbir rol oynamaz. Fakat yarıiletkenin kabloları kısa devre yaptırılırsa ve alttaki elektroda uygulanan voltaj üstteki yarıiletkenin içinden büyük bir akım gitmesini sağladığından ötürü buna (“geçit elektrodu” da denir) büyük bir voltaj uygulanırsa yüklerin bir kısmı yalıtkanın içinden çevik bir şekilde zıplayabilir¹ ve bu gömülü metal levhanın içine yerleşebilirler. Gömülü levha hiçbir şeye bağlı olmadığı için, bu yükler telafi edici bir voltaj uygulanıp onu sönmüldürene dek bu levhanın üzerinde kalmaya devam edecektir. Voltaj onları silene dek yalıtkan camın içindeki levhanın üzerindeki yükler yarıiletkenin içinde ters yüklü bir iletken kanal oluşmasına neden olur. Bu “kayar nokta kapılı alan etkili transistörü”, transistör güç kaynağından çekildikten sonra bile oldukça iletken “açık” durumunu sürdürecektir.

USB bellek sürücüler (“usb flaş sürücü” ya da “önemsiz sürücü” diye de bilinir) de, tablet bilgisayarlar ya da hafif çok ince dizüstü bilgisayarlar da uzun vadeli veri depolama için bu tipte transistör kullanırlar. Bu gibi gelişmeler, cihaz üretiminde bir çipin üzerindeki transistör sayısında önemli bir artışa yol açarak kayar nokta kapılı transistörlerin kullanıldığı bilgisayar belleklerinin kapasitelerini hızla genişletmiştir. Bilgisayarların sabit sürücülerinde ilk zamanlar² manyetik kısımları olan diskler kullanılırdı³ ve bunların kuzey ve güney kutupları birleri ve sıfırları temsil ederdi. Bu diskler çok yüksek hızlarda döner ve bir manyetik okuyucu kafa

1 Yükler gömülü levhaya tünelleme adı verilen kuantum mekaniksel bir süreç vasıtasıyla girerler fakat bunun detaylarına girmemiz gerekmiyor. (Robert Eisberg ve Robert Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, 2. baskı. John Wiley & Sons, 1985, s. 205-209.)

2 Çoğunda hâlâ kullanılıyor.

3 Robert C. O’Handley, *Modern Magnetic Materials: Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 2000, s. 674-721; Lunt, *Marvels of Modern Electronics: A Survey*, s. 153-56.

bobin işlevi görerek değişen bu manyetik alanları elektrik akımlarına dönüştürürdü. Buna karşılık, kayar nokta kapılı FET sabit sürücülerin hareketli parçası yoktur ve bu tip bilgisayar bellekleri çok az enerjiye ihtiyaç duyar.

*Siz konuşmanızı USB sürücüden bilgisayara aktarırken ev sahibiniz toplantı odasından çıkageliyor ve sunumunuzun bir basılı kopyasını alıp alamayacağını soruyor. Bu sayede dinleyiciler konuşmayı daha kolay takip edebilecek ve not alabilecekler. Bir gecelik bir seyahat için valizinizde ağırlık yapmasın diye çıktılardan ve slaytlardan sadece bir kopya getirmiştiniz. Sizi davet eden kişi sorun olmadığını söylüyor ve notlarınızı sizden alıp yandaki **fotokopi makinesini** kullanarak toplantıdaki herkes için çoğaltıyor.*

Kserografinin icadından önce bir belgenin kopyasını istediğinizde bunu ilk belge üretilirken karbon kâğıdıyla yapmanız gerekirdi. Fotokopi makinesinde ise bir sayfanın içeriğinin diğerine aktarımı, optik ve elektronığın karmaşık bir dansı ile olur.

Fotokopi makinesi silindir şeklindeki bir gövdenin dışını kaplayan bir yarıiletkenle başlar.¹ Yarıiletkenin yüzeyinin üzerine elektrik yüklerini (örneğin pozitif yükler diyelim) püskürtmek için çok yüksek voltajlı bir kablo kullanılır. Kopyası alınacak olan belge yarıiletken gövdenin üzerindeki cam yüzeye yerleştirilir. Belgenin altında hareketli bir lamba sayfa boyunca parlak bir ışık gezdirir. Belgenin beyaz boşluk olan kısmında bu ışık elektrik yüklü yarıiletken yüzeyin üzerine yansıtılır; siyah basılı yere ise hiç ışık yansıtılmaz.² Yansıtılan ışığa maruz bırakılan kısmın elektrik yükü

1 H. Richard Crane, *How Things Work*. American Association of Physics Teachers, 1996, s. 18-19.

2 Konuyu zorlaştırmamak için sadece siyah beyaz fotokopiden söz edeceğiz.

nötralize olunca orijinal belgenin üzerindeki siyah kısımlar, yarı-iletken gövdenin üzerinde kalan pozitif yüklü kısımlar tarafından doğru biçimde yeniden üretilir. Bir pigmentle doldurulmuş iletken olmayan boş plastik parçacıklar (bunlara “toner” denir¹) farklı bir voltaj taşıyan bir başka kablo kullanılarak negatif yükle yüklenir. Daha sonra toner yarıiletken yüzeyin üzerine püskürtülür. Negatif yüklü toner parçacıkları (bunlar başka bazı kimyasal maddelerle birlikte esas olarak karbon atomu yığınıdır) gövdenin üzerindeki pozitif yüklü kısımlara (orijinal belgenin siyah kısımları) çekilir. Bir tabaka kâğıt, gövdeyi yüklerken kullanılan kablo kullanılarak pozitif yükle yüklenir ve fiziksel olarak gövdenin üzerine yerleştirilmesiyle toner yarıiletken ile kâğıt arasına sıkıştırılır. Negatif yüklü toner parçacıkları pozitif yüklü kâğıt tarafından çekilir ve kâğıt gövdeden sıyrıldığında toner de onunla beraber gelir. O zaman kâğıdın ısınmasıyla toner kâğıdın üzerinde erir ve elektrik yükleri nötralize olur. Kâğıt artık orijinal belgenin kopyasıdır.

Kâğıt çıkış tepsisine çıkarken, bir silecek yarıiletken gövdenin yüzeyi üzerinde gezerek kalan toneri siler. Bu aynı zamanda yüzey üzerinde kalmış olan elektrik yüklerini de gidererek gövdeyi yeni kopyalama işlemine hazırlar. Çoğu fotokopi makinesinde bunların olup bitmesi bir saniyeden az zaman alır.²

Bütün bu işleyişin püf noktası, ışık pozitif yüklü yarıiletken gövde üzerinde parladığında yüklerin dışarı iletilmesiyle, yalnızca negatif yüklü toner parçacıklarını çekmek için pozitif yüklü kısımları karanlıkta bırakmasıdır. Işık yarıiletken yüzeyin yükünü

1 Dan A. Hays, “How Does a Photocopier Work?”, *Scientific American*, Mart 2003.

2 David Owen’ın 1986’da bir makalede yazdığı gibi: “Xerox makinesi tıpkı Postane gibi gerçekten de insanın ummayı hak ettiğinden çok daha iyi çalışan oldukça karmaşık bir mühendislik harikasıdır.” (David Owen, “Copies in Seconds”, *The Atlantic Monthly*, Şubat 1986.)

değiştirebilir çünkü yarıiletkenler elektriği orta düzeyde iletirler, metaller kadar iyi değildirler ama yalıtkanlardan çok daha iyidirler. Düşük enerjili orkestradaki sandalyelerin hepsini elektronlar kapmıştır ve iki elektron aynı sandalyede oturamayacağı için de elektronlar için boş sandalye yoksa hiçbir akım hareket edemez.¹ Uygun dalga boyunun ışığı bir yarıiletken üzerinde ışıldadığında elektrik direnci önemli ölçüde azalmış olabilir. Elektronlardan bazıları yüksek enerji balkonu hâllerine çıkartılır ve uygulanan voltaja karşılık olarak sandalyeden sandalyeye hareket ederek bir elektrik akımı oluşturabilir. Görünür ışık pozitif yüklü yarıiletken üzerinde parladığında, aydınlatılan kısmın iletkenliği artar. Parlak kısımların içindeki yükler hızla ters yöndeki bir elektroda doğru harekete geçebilir. Karanlıktaki yükler hareket edemezler (çünkü dirençleri hâlâ çok yüksektir) ve böylelikle negatif yüklü toner parçacıklarını çekmek için yerlerinde kalırlar.

Benzer bir mekanizma tarayıcıların ve yazıcıların da üretilmesini mümkün kılmıştır. Belgenin karanlık ve aydınlık kısımları yarıiletken gövdenin üzerindeki piksellerle buluştuğunda, yüksek ve düşük yüklü ayrı bölgeler her lokasyondaki kapasitörlerde depolanabilir. Yükten bağımlı cihazları (örneğin bir dijital kamera) kullanırken bir dizi voltaj değeri olarak okunabilir ve herhangi bir bilgisayar belleğinde depolanabilirler. Bu voltaj seti ile mürekkep püskürtmeli yazıcıya yön vererek bir basılı kopya almak mümkündür. Bu cihazda bir tabaka kâğıt bir çubuğun arkasına çekilir ve bir kayış ve bir kasnak, kartuşu ileri geri hareket ettirir. Mürekkep püskürtmeli yazıcıların bir tipi mürekkebin kâğıda püskürtülebileceği memesi olan bir silindire bağlı bir mürekkep haznesi kullanır.² Silindir

1 Kakalios, *The Amazing Story of Quantum Mechanics*, s. 198-201.

2 Marshall Brain, *MORE How Stuff Works*. John Wiley & Sons, 2002, s. 232-33.

piezoelektrik kristalin bulunduğu tepesine basınç uygulanınca mürekkep çıkar. Kristalden geçen voltaj değiştirildiğinde kristal ya genişleşip mürekkebi memeden dışarı iter ya da kasılıp hazneden baskı silindirene doğru daha fazla mürekkep çeker. Belgelerin bir dizi voltaja ve bu voltajların da basılı bir kopyaya dönüştürülmesi, tek bir cihazın nasıl hem tarayıcı, hem faks makinesi, hem baskı makinesi ve hem de fotokopi makinesi olarak çalıştığını açıklar: Hepsi aynı fizik kuralına bağlıdır!

Bu kadar yaygın olarak kullanılan bir ürün olmasına rağmen, fotokopi makinesinde zaruri olan düzensiz yarıiletkenin türü hemen hiç anlaşılmamıştır. Fizikçiler kristallerin özelliklerini düzensiz katı cisimlerinkinden çok daha derinlemesine kavıyorlar. Belirli bir katı cismin 16 cm^3 'ünde yaklaşık olarak bir septilyon¹ atom bulunur. Fizikçiler, bir septilyon denklemi çözmek için kafa patlatacaklarına malzemenin özelliklerini anlatmak için kristal yapının simetrisini kullanırlar fakat atomlar gelişigüzel bir konfigürasyona sahipse bu kısa yolu kullanmak imkânsızdır.

Şimdiye dek ele alınan yarıiletkenlere “kristal yarıiletken” denir. Tamamen karbon atomlarından oluşan fakat her atomun ucunda başka karbon atomları bulunan bir piramidin² ortasında çok net bir konumda durduğu bir katı cisim düşünün. Bu tip bir konfigürasyona “elmas kristal kafes” denir ve aslında elmas da zaten bu tarz düzenlenmiş karbon atomlarından başka bir şey değildir. Çeşitli kristal yapısı³ türleri vardır, örneğin sofranın yapısı ters köşelerinde sodyum ve klor atomları bulunan ve bunun biteviye tekrar ettiği bir küptür. Fakat atomlar, düzensiz ya da amorf yapıda olduğu üzere,

1 Trilyon çarpı trilyon.—ç. n.

2 Teknik terim olarak “tetrahedron” kullanılır.

3 Bununla birlikte, olası tekil kristal yapılarının sayısı şaşılacak kadar azdır.

çok hem de pek çok biçimde gelişigüzel düzenlenebilirler. Fotokopi makinesinin hayati bir kısmı olan yarıiletken gövde aslında amorf bir yarıiletken oluşur (kristal türünden farklıdır bu).¹

Fotokopi makinesinin gövdesinde ya da kayışında, maliyetleri düşük tutmak için amorf bir yarıiletken kullanılır. Büyük, tek bir silikon kristali yapmak için işe bir fiçı eritilmiş silikonla başlarsınız. Bu yüksek sıcaklıktaki sıvıya bir kristal çekirdeği batırılır, yavaş yavaş çıkarılır ve çıkarılan silikon eriyik havuzundan çekilirken çekirdeğin kristal yapısını alır.² Bu yavaş ve dikkatli işlemin sonunda 25 ila 30 cm çapında büyük bir kristalin silikon silindiri elde edilir. Silindir daha sonra salam dilimleri gibi ince disklerle bölünür. (Bir fotokopi makinesinde bütün kristal silindiri tek bir gövde için kullanmak o kadar pahalıya gelirdi ki hâlâ karbon kâğıdı kullanıyor olurduk.) Daha sonra her diskin üzerinde, çeşitli kimyasal ve termal işlem etaplarından geçilerek bir dizi mikroçip üretilir ve sonra bu disk tek tek çipler hâlinde kesilip cep telefonlarında, dizüstü bilgisayarlarda ve diğer teknolojik cihazlarda kullanılır. Fakat 21,5 x 29 cm üzerine fotokopi çekmek için diske gerek yoktur. Fotokopi makineleri ilk çıktığında, üretilen en büyük tek bir kristal silikon silindir 5 ila 7,5 cm çapındaydı ki bu bir fotokopi makinesi için yetersizdi. Çeşitli disklerden parçalar kesip onları yapıştırmak, kopyada her kristal kısmın bağlantı yeri boyunca belirgin dikey çizgiler bırakacaktır. Bununla birlikte eğer atomlar bir yüzeyin üzerine gelişigüzel bırakıldıysa amorf bir yarıiletken standart bir sayfanın eni büyüklüğünde bir alanı kaplayabilir.

1 Örneğin bkz., S. R. Elliott, *Physics of Amorphous Materials*. Longman Scientific & Technical, 1983.

2 Ben G. Streetman ve Sanjay Banerjee, *Solid State Electronic Devices*, 5. baskı. Prentice Hall, 2000, s. 12-16.

İlk Xerox marka fotokopi makinesinden bu yana fotokopi makinelerinde her zaman gövde malzemesi için amorf yarıiletkenler kullanılmıştır. Güneş pilleri, düz panel ekranlar, tarayıcılar, fotokopi makineleri ve X ışını görüntüleme cihazları gibi diğer teknolojilerde de (temelde büyük düz alanlar üzerinde yayılmak için yarıiletkenlerin gerekli olduğu her şeyde) kullanılmalarına rağmen, biliminsanları bunların nasıl çalıştığını henüz tam olarak kavramış değil. Araştırmalar sürüyor, kavrayış geliştikçe de daha iyi cihazların üretileceği umuluyor.

Sizi sunum yapmaya davet eden kişi elinde fotokopilerle dönüyor ve ödünç aldığınız bilgisayar ile toplantı odasındaki LCD projektörünü kabloyla birbirine bağlıyorsunuz. Masaüstündekilerin sunum ekranına yansıtılmasıyla, o bilgisayarın çalışıp çalışmayacağına dair duyduğunuz bir anlık endişe hafifliyor.

Basit bir slayt projektörü şeffaf plastiğin üzerine basılan küçük bir fotoğraftan geçerek parlak bir ışık verirken, LCD (*liquid crystal display* - sıvı kristal ekran) projektör bilgisayarınızdaki bir dijital dosyadan bir ekrana yansıtılabilecek *sana*/bir fotoğraf slaytı üretir.

Sıvı kristal, bir sıvının bütün karakteristik özelliklerini taşıyan gerçek bir sıvıdır: Bulunduğu kabın şeklini alır, kap eğildiğinde molekül yığını akar ve diğer katı kıvamlı sıvılar gibi dökülür.¹ Fakat aynı zamanda sıvı kristalin moleküler birimlerinin diziliminin altında yatan bir düzen de vardır, tıpkı bir kristaldeki gibi. Çoğu kristal katı cisim, malzemenin her yerinde periyodik olarak tekrarlanan temel elementler gibi tek atomlu ya da küçük moleküldür; sıvı

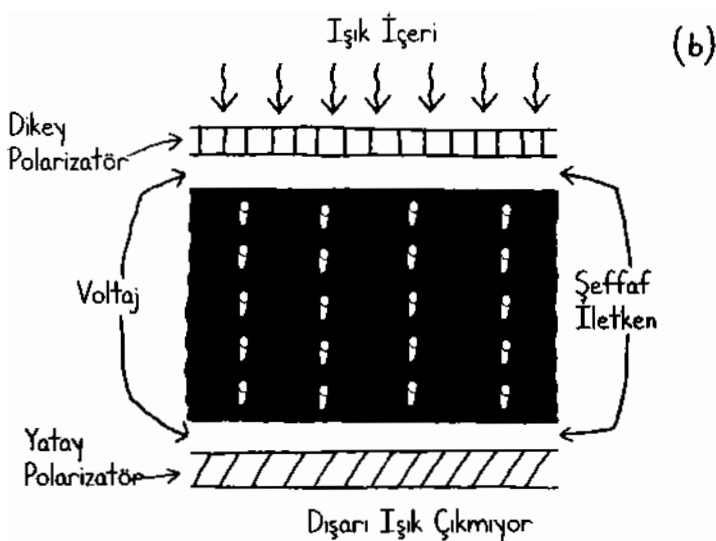
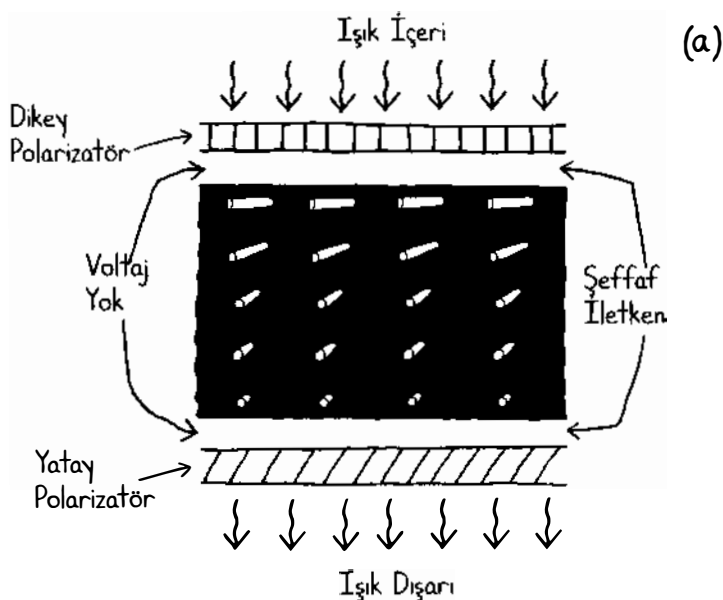
1 Örneğin bkz., Peter J. Collings, *Liquid Crystals: Nature's Delicate Phase of Matter*. Princeton University Press, 1990.

kristallerde bu rolü daha büyük, karbon tabanlı moleküller üstlenir. Bu moleküllerin özellikleri ayrıntılı kimyasal bileşenlerine ve bağlanma düzenlerine çok duyarlıdır. Moleküller, kesin bileşime ve nasıl etkileşime girdiklerine bağlı olarak, normal bir sıvıda olduğu gibi gelişigüzel düzenlenebilirler fakat sıcaklık düşürüldüğünde daha az gelişigüzel bir konfigürasyonu benimseyebilirler.

Buzun erimesinden ya da suyun kaynamasından farklı olarak, sıvı kristallerin uğradığı dönüşümler, moleküllerin daha az çarpıcı bir şekilde yeniden düzenlenmesini içerir. Örneğin bu uzun zincirli moleküllerden bazıları, komşuları ile olan elektrostatik etkileşimlerden ötürü aynı yöne doğru sıralanabilirler, tıpkı uzun dar bir kutudaki çok sayıdaki kürdan gibi (buna “nematik” faz denir). Sıcaklığı düşürürseniz moleküllerin termal (yani kinetik) enerji fazlası daha da azalacaktır. Bu şekilde bir başka zayıf elektrostatik etkileşime maruz kalırlar ve bir başka örüntüde sıralanırlar. Sıvı kristallerin güzelliği ve gücü, bazı moleküllerde bir moleküler düzenlemeden diğerine dönüşümün sıvının bulunduğu hücreye dışarıdan elektrik alanı uygulayarak sağlanmasından ileri gelir.

LCD projektörlerde olsun, tablet ya da televizyonlar gibi düz panel ekranlarda olsun sıvı kristallerin bu özelliğinden faydalanılır.¹ Ekran, iki boyutlu resim öğeleri ızgarasına bölünmüştür (ATM dokunmatik ekranı gibi) ve her piksel küçük aralıklarla ayrılan cam tabakalardan oluşan küçük bir hücredir ve tabakaların arasında da sıvı kristal vardır. Ön ve arka cam tabakaların yalnızca elektrik alanı belirli bir yöne yönlendirilmiş ışığı tabakaların arasından geçiren polarizatörleri vardır. Sıradan beyaz ışık, olası bütün yönlerde salınan elektrik alanlarına sahip elektromanyetik alanların düzensiz

1 Örneğin bkz., Jiun-Haw Lee, David N. Liu ve Shin-Tson Wu, *Introduction to Flat Panel Displays*. John Wiley & Sons, 2009 ve Robert H. Chen, *Liquid Crystal Displays: Fundamental Physics and Technology*. John Wiley & Sons, 2011.



ŞEKİL 6.1

bir karışımıdır. Polarizatör bir hapisane penceresinin parmaklıkları gibidir ve ışık bir kez onun içinden geçtiğinde elektrik alanları iletken olmayan parmaklıklar gibi aynı yönü gösterecektir. Piksel hücrelerinin bir ucunda dikey polarizatör vardır, böylelikle hücreye giren ışığın dikey yönde salınan elektrik alanları olacaktır. İkinci cam levhanın ise polarizatörü yatay konumdadır ve ışığın elektrik alanları yatay yönde uzanmadığından onun ilk camdan geçmesini sağlayan ışığın bir parçası bile ikincinin içinden geçemez. Elbette iki polarizatörün arasındaki sıvı kristal, ışığın elektrik alanını yeniden yönlendirmedikçe.

LCD piksel için belirli bir sıvı kristal molekülü seçilir, böylelikle molekülün uzun aksı bir adet cam levhanın üzerindeki dikey polarizatörün çizgilerinin yönünde hizalanır. Levhanın diğer tarafındaki molekül de yatay polarizatör yönünde hizalanır. Bu iki levhanın arasında sıvı kristal moleülleri hafif bir dönüşle dikey hizadan yataya geçerler. Sıvı kristal, moleüllerin yönelimini takip ederken ışığın elektrik alanını yönlendirir. Dikey polarize olmuş ışığın elektrik alanı ikinci polarizatöre ulaştığında yatay düzlemde olacak şekilde döner. Bu sayede ışık içinde parladığında bu piksel parlak olacaktır.

Beş Volt kadar düşük bir voltaj iki cam levhaya uygulandığı takdirde (dokunmatik ekranlarda kullanılan indiyum-kalay oksit gibi şeffaf iletkenler kullanılarak) sıvı kristal farklı bir konfigürasyona geçiş yapar. Işığın elektrik alanı bu defa dikeyden yataya doğru dönmez ve bu yüzden de artık karanlık olan pikselden hiç ışık geçmez.¹ Dizilimdeki her piksele uygulanan voltajı değiştirerek ve filtreler kullanarak, renkli bir görüntü üretebiliriz.

1 Sıvı kristal ekrandan yayılan ışık polarize olduğundan, bu tür görüntülere polarize güneş gözlükleri takarken baktığınızda farklı polarizatörlerden ileri gelen girişim örüntüleri görülebirlirsiniz.

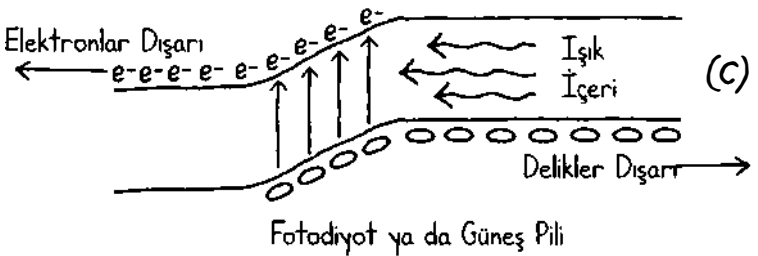
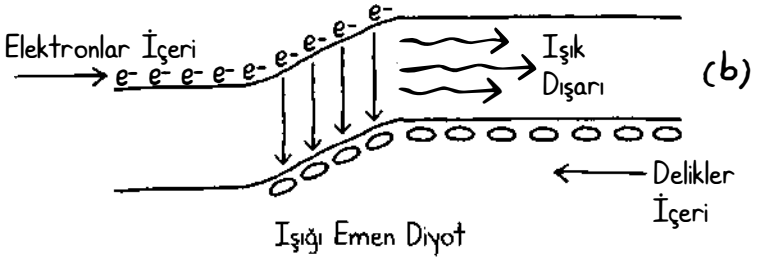
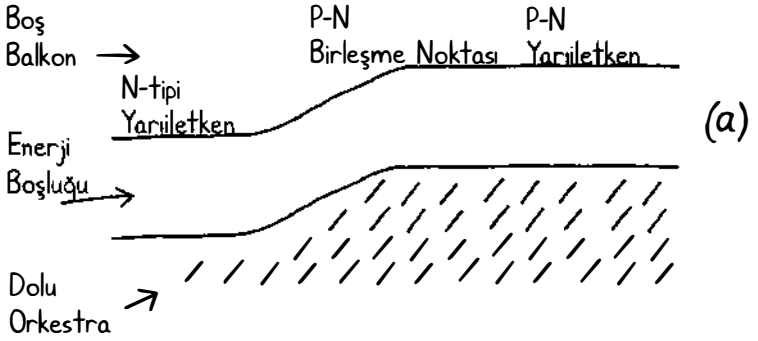
*İlk slaytınız ekrana yansıtılıyor ve sunumunuzdaki farklı özellikleri ve maddeleri işaret etmek için kullanacağınız küçük **lazer kalem**i test ediyorsunuz. Yeşil nokta parlak ve odanın arka tarafından bile net olarak görülebiliyor.*

Lazer kalemlerde, barkod okuyucularda, DVD ve Blu-Ray oynatıcılarda, “lazer diyot” (katı hâl lazeri) denilen bir cihaz kullanılır. Lazer diyot, ışık yayan diyodun (LED) geliştirilmiş hâlidir.

Bir diyot, elektriksel bağlama telleri akımın önce bir cisimden, sonra da diğerinden geçmesini sağlayacak şekilde düzenlendiği, bir araya getirilmiş iki yarıiletkenден oluşur.¹ Yarıiletkenlere dair, alt katta her sandalyesi bir elektron tarafından işgal edilmiş dolu orkestra ve üst katta boş balkonuyla oditoryum benzetmesini hatırlayacaksınız. Elektronlar akımı ancak bir sandalyeden yandaki boş sandalyeye geçerlerse taşıyabilirler. Dolu orkestra akım taşıyamaz zira elektronların geçebileceği boş sandalye yoktur; balkon da taşıyamaz, çünkü bir sürü boş sandalye vardır ama orada da elektron yoktur. Bir yarıiletkene belirli bir kimyasal katışıktan az miktarda eklenerek katışkının düşük enerji orkestradan kimseyi almadan elektronları balkona bağışladığını varsayın. Bu malzeme artık elektriği çok daha iyi iletecektir.

Elektronları orkestradan kapıp balkona hiç elektron eklemeksizin arkada boş sandalyeler bırakabilen başka farklı kimyasal katışkılar da vardır. Orkestradaki bir elektron artık boş olan bir sandalyeye zıplayınca arkasında boş bir alan bırakır ve eksik elektron (veya “delik”) orkestranın içinden ilerleyerek bir akım taşıyabilir. Birinci katışkı türünün sonucuna “n-tipi yarıiletken” denir, bu adın

1 John P. McKelvey, *Solid State and Semiconductor Physics*. Harper & Row, 1966, s. 390-98, 408-16.



ŞEKİL 6.2

verilmesinin nedeni hareketli yüklerin negatif yüklü elektronlar olmasıdır. İkinci tip katışkının sonucu ise “p-tipi yarıiletken”dir çünkü orkestranın içindeki delikler pozitif yüklü parçacıklar gibi hareket ederler. Bir diyot, n-tipi yarıiletkenin p-tipi yarıiletkenin yanına yerleştirilmesi ve metal bağlama tellerinin n-tipi ve p-tipi taraflarına bağlanmalarıyla elde edilir.

Çok sayıda elektronu olan ama orkestrada hiç boş sandalyesi olmayan bir yarıiletken (n-tipi), bir sürü boş orkestra sandalyesi bulunan ama balkonda hiç elektronu olmayan bir başka malzemenin (p-tipi) yanına yerleştirildiğinde, elektronlar bir taraftaki balkondan diğer taraftaki balkona taşınırlar (kalabalık bir odadaki insanların yandaki boş odanın kapısı kilitli olmadığında o taraftan gitmesiyle aynı sebepten) ve bu da onları p-tipi malzemenin içindeki boş orkestra sandalyelerinin üzerine yerleştirip boş konumlara düşerek enerjilerini düşürmelerini ve süreç içindeki ışık veya ısı olarak enerji yaymalarını sağlar. Bu yeniden birleşimin büyük bölümü iki malzemenin buluştuğu p-n birleşme noktasında meydana gelir. Fakat fazladan elektronların ve deliklerin ortadan kaldırılması, arkasında başka yükler bırakır. İki yarıiletkene eklenen katışkı atomlarının kendi elektrik yükleri vardır (n-tipi yarıiletkenin içinde pozitif yüklü iyonlar ve p-tipi tarafında negatif yüklü iyonlar) ve onları dengeleyecek elektronlar veya delikler olmaksızın, dahili bir elektrik alanı yaratırlar. Bu alan, diyodu şaşırtıcı derecede işlevli hâle getirir; bir akımın dahili elektrik alanına karşı yönde akması çok zordur (balkonda onlara ayrılmış boş sandalyeler olsa bile) ama kabloların polaritesi değiştirilirse akımın alanın yönüne geçmesi çok kolaydır.

Yarıiletkene ışık tuttuğunuzda ışığın enerjisi emiliyorsa (yani en azından orkestranın tepesinden ve balkonun altından geçerse)

bir elektron ve delik oluşur.¹ Bu yükler kendilerini aniden gömülü elektrik alanına maruz kalmış vaziyette bulur ve elektronların n-tipi tarafa ve deliklerin de p-tipi tarafa hareket etmesiyle birbirlerinden uzağa itilirler. Ne kadar çok ışık emilirse, o kadar fazla yük birbirinden uzağa itilir ve sadece üzerine ışık tutularak p-n bağlantısından bir akım oluşabilir. Bu bir güneş pilidir. Bobinleri manyetik alanların içinde döndürmek zorunda olmadan, ışık enerjisini doğrudan doğruya elektrik akımına dönüştürmenin bir yoludur. Bu aygıt aynı zamanda emilen fotonları dijital kameranızda fotonlara dönüştüren fotodiyottur.

Bir akım içindeki elektronları n-tipi tarafa ve içindeki delikleri de p-tipi taraftan iterek farklı yönde akmaya zorladığınız takdirde, iki malzeme arasındaki p-n bağlantısında buluşacaklardır; bunu yaptıkları zaman elektronlar orkestradaki boş koltukların (deliklerin) içine düşüp enerjilerini ışık olarak serbest bırakacaklardır. Bu bir ışık yayan diyottur (LED) ve ters yönde çalışan bir güneş pilinden başka bir şey değildir.² Yani bir güneş pilinde ışık girer ve akım çıkarken, LED’de ise akım girer ve ışık çıkar. Aynı aygıttır, sadece ileri ya da geri çalışır.

Akkor telli lambada, küçük bir kablonun içinden büyük bir akım geçirilir ve elektrik akımının kinetik enerjisi kabloya geçerek onu akkor hâline getirir. Aynen ekmek kızartma makinesinin kablosunda olduğu gibi, akımın enerjisinin büyük bölümü kabloyu ısıtmaya gider ve yalnızca küçük bir kısmı ışığa dönüştürülür. LED’de ise, üretilen ısı çok düşüktür. Onun yerine elektrik akımının enerjisi

1 Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 7. baskı. John Wiley & Sons, 1996, s. 570-74.

2 Nick Holonyak, “From Transistors to Lasers to Light-Emitting Diodes”, *MRS Bulletin* 30, 509, 2005; Chris Woodford, *Atoms Under the Floorboard*. Bloomsbury Sigma, 2015, s. 159-61. Işık yayan diyotların ve lazer diyotların fiziği hakkında bkz. Kakalios, *The Amazing Story of Quantum Mechanics*, s. 184-87, 207-209.

doğrudan ışığa çevrilir ki LED ampullerin çok daha fazla enerji tasarrufu yapmasının sebebi de budur.¹

Bir LED'i yarıiletken lazere çevirmek için, aygıt p-n bağlantı bölgesindeki elektronların ve deliklerin kendiliğinden yeniden birleşmelerini geciktirecek şekilde yapılanmıştır.² Daha sonra tamamen doğru enerjiye sahip bir ışık fotonu, bir elektron ve deliğin yeniden birleşmesini tetikleyerek aynı anda ikinci bir ışık fotonun yaratılmasına yol açar. Bu iki foton böylece tamamen eş fazlı olacaklar (elektrik ve manyetik alanları beraber salınacak) ve p-n bağlantı bölgesine giren bir sonraki elektron ve delik için ışık yayımına daha neden olacaklardır. Işığın bir kısmı, ne n-tipi ne de p-tipi yarıiletken katmanlardan geçerek bağlantıya paralel seyahat eder. Işığın bu bölgedeki kendiliğinden yayılımı yavaştır. Tetiklenen yayılımı hızlandırmak amacıyla, bağlantının kenarları ayna gibi parlatılmış olduğu için ışık geri ve ileri yansıtılır ve böylelikle içeri giren elektronlar ve delikler sürekli yeniden birleşmeleri ve yansıyan ışık demeti ile eş fazlı ışık yaymaları için tetiklenir. Parlatılmış taraflardan birinin üzerinde bulunan odaklama merceğiyle küçük bir açıklık, ışığın bir kısmının dışarı çıkmasına imkân verir, bunun hepsi de tek bir dalgaboyunda ve eş fazlıdır. Hepsi aynı yönde seyahat ederler³ ve bu eş fazlı ışık demetine "uyarılmış ışımaya" yoluyla

1 LED'den gelen bütün ışığın enerjisi (ve dolayısıyla dalgaboyu) aynı olacaktır, bunu belirleyen ise balkonun altı ile orkestranın tepesi arasındaki farktır. Beyaz ışıklı LED'i üretmek için her biri farklı bir renkte ışık yayan ve birleştirildiklerinde de beyaz görünen çok sayıda farklı LED gerekir.

2 Winston Kock, *Lasers and Holography: An Introduction to Coherent Optics*, 2. baskı. Dover, 1981.

3 Bir lazer ışının demeti, yayılım kaynağından o kadar küçük bir dağılım gösterir ki ekrana ulaşana dek lazer kaleminden görünmez. Ekrandaki düzensizlikler ışığı bütün yönlerde dağıtır, böylelikle onu görebiliriz. Bir lazer ışını demetini lazer kaleminden ekrana geçerken görmek için, önce ışını görme alanınıza yayacak küçük parçacıklar yaratmanız gerekir. Sınıfta iki tebeşir silgisi birbirine çarpılıp bir toz

güçlendirilmiş ışık” (*light amplified by the stimulated emission of radiation*) kısaltması olarak lazer ışını denir.

Lazer kalemin küçük pili, elektronu ve delikleri gömülü p-n bağlantısı elektrik alanına ters yönde iten voltajı sağlayarak lazer ışını demetini üretir. İlk yarıiletken lazer diyotlar ışığı spektrumun kızılötesi kısmında yayıyorlardı (bunlar bir sunumda kullanılacak bir lazer kalem açısından işlevsizse de CD okuyucular için yeterliydi).¹ Malzeme araştırma ve üretimindeki ilerlemeler görünür kırmızı ışığın (DVD oynatıcılarda kullanılır), daha sonra yeşil ve en sonunda da güvenilir ve (en önemlisi) ucuz olan mavi-mor ışıklı yarıiletken lazerlerin (Blu-ray oynatıcılar) geliştirilmesini sağladı. Barkod okumada kullanılan lazer tarayıcılar, siyah beyaz şeritleri bir lazer ışını demetiyle tarar ve beyaz kısımlardan yansıyan ışığı ölçer. Bu, bilgiyi kodlayan yüksek ve düşük yoğunluklu bir ışık dizilimi yaratır, tıpkı kredi kartınızın üzerindeki şeritlerdeki manyetik kısımların dizilimi gibi. Akıllı telefonunuzun üzerindeki QR simgesi de aynı şeyi yapar ama tek boyutlu bir barkod değil beyaz siyah kısımların iki boyutlu dizilimi olduğu için yüz kat daha fazla bilgiyi temsil eder.

Konuşmaya bu sunuma zaman ayırdıkları için herkese teşekkür ederek başlıyorsunuz. Sizi davet eden kişi arkadakilerin sizi duyamadığını söylüyor. Hemen bir yaka mikrofonu getiriliyor ve hoparlör sistemi açılıyor. Mikrofonu gömleğinize iliştiriyorsunuz ve ses seviyesinin fazla yüksek olmadığından emin olunca sunumunuza tekrar başlıyorsunuz.

bulutu yaratılabilir ya da sigara dumanı kullanılabilir fakat konferans odasında ve sınıfta tebeşir silgisi ve sigara yasaktır.

1 Louis Bloomfield, *How Everything Works*, 5. baskı. John Wiley & Sons, 2008, s. 26-32, 475.

Mikrofon ses dalgalarını elektrik voltajlarına dönüştüren bir cihazdır. Bunu öyle bir şekilde yapar ki sesin değişen genliği ve dalga boyunda kodlanmış bilgi voltaj değişimlerinde korunur. Bu voltajlar daha sonra elektronik olarak artırılabilir ve bir hoparlöre gönderildiğinde orijinal sesler daha da yükseltilebilir. Hava basıncındaki değişimleri voltajlara dönüştürmek için tekniklerin geliştirilmesi sadece telefon, yayın ve kayıt teknolojisinde değil, popüler müzik türlerinde bile değişikliklere yol açmıştır.

Sabit telefonların ilk modellerindeki mikrofonlarda kurumun elektriksel özellikleri kullanılıyor ve gelişigüzel bir şekilde toplanmış küçük amorf karbon katı parçacık tanecikleri ihtiva eden bir silindirden ibaretti.¹ Bu tanecikler silindirin içine tıkıştırılmış, üstteki kapak da bir zara bağlanmıştı. Telefonun ahizesine konuştuğunuz zaman, sesinizden dolayı hava basıncındaki değişimler zarın salınmasına neden oluyordu. Yüksek perde sesler zarın düşük perdeye göre ileri geri daha hızlı titreşmesine neden olur ve titreşimlerin genliği ne kadar yüksek sesle konuştuğunuzu yansıttı. Zar aşağı indiğinde karbon tanecikleri sıkışırken yükseldiğinde taneciklerin üzerindeki basınç serbest kalıyordu. Taneciklerin arasındaki temaslar, silindirin ne kadar sert sıkıldığına bağlı olarak değişiyordu. Karbon tanecikleri elektriği çok iyi iletirler (metal kadar değil ama yalıtıkandan iyidirler) ve karbon parçacıkları ile doldurulmuş silindirin silindire bir voltaj uygulandığında bir akımı iletme yeteneği, taneciklerin arasındaki ortalama aralığa çok fazla duyarlıdır. Temas hâlinde olmayan iki tanecik akımın akmasına izin vermez ve birlikte sıkı sıkı bastırılanlar da zar zor temas edenlerden daha düşük bir dirence sahip olurlar. Bir mikrofona konuştuğunuzda bir

1 Örneğin bkz., Glen Ballou, ed., *Electroacoustic Devices: Microphones and Loudspeakers*. Focal Press, 2009; M. D. Fagen, ed., *A History of Engineering and Science in the Bell System: The Early Years (1875–1925)*. Bell Telephone Laboratories, 1975.

araya gelen karbon taneciklerinin direnci, sesinizden dolayı hava basıncındaki değişikliklerle tamamen doğru orantılı olarak değişir ve bunun sonucunda silindirin içinden geçen akımda meydana gelen kiplenmeler voltaja dönüştürüldükleri zaman sizin ses dalgalarınızın elektrik yansımasını ortaya koyacaktır.

Ancak konuşma için her ne kadar yeterli olsa da karbon tanecikli mikrofonun frekans uygunluğu bir miktar eksiktir. Karbon taneciklerinin herhangi bir şekilde çökmesi akımda gelişigüzel değişikliklere yol açacaktır ki bu tip mikrofonlardan eksik olmayan cızırtının sebebi de budur. 1920'ler ve 1930'larda kapasitörlere dayalı alternatif bir mikrofon üzerine yapılan ar-ge çalışmaları, yeni bir popüler şarkıcı tipinin patlama yapmasına yol açtı. Başarıya giden yolun sesi yükseltmekten geçtiği eski halk ozanları kuşağından farklı olarak (karbon tabanlı mikrofondan önce şarkıcılar seslerini oditoryumun arka sıralarından duyulmasını sağlamak için megafon kullanırlardı), artık şarkıcılar kapasitör tabanlı mikrofonlar sayesinde mikrofona daha fazla yaklaşarak şarkıyı daha samimi ve alçak bir sesle söyleyebiliyorlardı.

Kondansatörlü mikrofonda ("kondansatör" kapasitörün diğer adıdır) gelen ses dalgalarından dolayı titreşen zar, paralel levha kapasitörünün bir levhasıdır.¹ Bu cihazın yük depolama becerisi levhaların ayrılmasına çok duyarlıdır. Bu zar hava basıncındaki değişikliklere bağlı olarak ileri geri esnediğinde iki levha arasındaki mesafeyi azaltır ya da artırır. Kapasitörde depolanmış belirli miktarda yük için, bu durum kapasitör boyunca voltajda küçük fakat ölçülebilir bir değişikliğe yol açar. Bu da kapasitör boyunca voltajdaki değişiklikte kendini gösterir. Kapasitörler çok hızlı şarj

1 Alexander Case, "The Vocal Microphone: Technology and Practice", *Physics Today*, Mart 2016.

ve deşarj olabilirler, böylece iyi tasarlanmış bir devre çok geniş bir frekans dizilimi üzerinden levhadaki değişiklikleri hızlı ve net olarak takip edebilir. Bu mikrofonlar çok hassastır; kapasitör boyunca voltajda ölçülebilir bir değişiklik yaratmak için çok küçük hava kütlesi gerektiğinden, çok küçük ses dalgalarını doğru algılayabilirler. Bu sayede artık şarkıcıların seslerini duyurmak için bağırımları gerekmiyordu ve Bing Crosby ve Frank Sinatra gibi popüler müzik devleri kariyerlerine sağladığı faydadan dolayı fizikteki ilerlemelere teşekkür borçluydu.

İlk radyo istasyonlarında sabit bir mıknatısın manyetik alanında hareket eden bir metal tabakanın kullanıldığı “kurdele mikrofonlar”dan da yararlanılırdı.¹ Bunun fiziksel çalışma prensibi temelde geleneksel hoparlörün tersten çalışması gibidir, yalnızca mikrofonda kablo bobini yerine ince bir metal şerit kullanılır. Metal şeridin alanının içinden geçen manyetik alan miktarındaki değişiklikler, onun kenarları boyunca bir akıma yol açar (metal şerit kablo bobini gibi davranırken, bobinin içinden geçen manyetik akımdaki değişiklik kablonun içinde bir akım oluşturur). Metal şeridi kaplayan manyetik alan, zaman ve büyüklük açısından gelen ses dalgalarından farklılık gösterdikçe, bunlar şeridin içindeki akımda meydana gelen değişikliklerde kendini gösterir. İnsan sesinin olası her tınısı kurdele mikrofonun geniş frekans dizilimi sayesinde net olarak alınabilir.

Mikrofon yakaya takılı ise ya da enerji kaynağının sınırlı kapasiteye sahip piller olduğu cep telefonları ve diğer elektronik cihazlarda daha az güç gerektiren bir mikrofon olması istenen bir özelliktir. “Elektret mikrofon” (“*electret*”, elektrik ve *magnet*² keli-

1 a.g.e.

2 İng. Mıknatıs. —ç. n.

melerinin birleşiminden oluşur) esas olarak bir kondansatör ya da kapasitör mikrofondur, tek farkla, kapasitör levhalardan biri sabit elektrik yükü taşıyan bir mıknatısın elektriksel analogudur. Demir gibi sabit bir mıknatıs tek tek demir atomlarından yapılmış küçük mıknatıslar yığınınından oluşur. Her atomun hem kuzey kutbu hem de güney manyetik kutbu vardır. Atomların manyetik alanlarının büyük bölümü aynı yöne işaret ettiğinde katı demir parçasının büyük, net bir manyetik alanı olacaktır. Bir “elektret” için de bu geçerlidir fakat onun manyetik dipollar yerine elektrik dipolları (yani aralarında kısa bir mesafe bulunan pozitif ve negatif yük) vardır. Kuvars (silikon dioksidin kristal konfigürasyonu) bir elektrettir, tıpkı pek çok uzun zincirli karbon tabanlı polimer molekülü gibi.

Elektret malzemeleri kondansatör mikrofonu dahil etmenin üç önemli avantajı vardır: (1) ucuzdurlar, (2) her zaman polarize olurlar, böylece bir levhanın elektret olduğu kapasitör boyunca bir voltaj olmasını sağlamak için dış güç kaynağı gerekmez ve (3) ucuzdurlar! Bir elektret kapasitörün levhalarından biri olarak kullanılırsa zaten elektrik yükü taşıdığı için dışarıdan şarj edilmesine ihtiyaç yoktur. Birinci ve tekrar belirtilen sonuncu nokta tüketici elektroniği ürünlerinin seri üretiminde elbette ki çok önemlidir. Daha büyük ölçekli kondansatör mikrofonlar ya da kurdele mikrofonlarının frekans kalitesine yaklaşamamaları da elektret mikrofonların küçük, hafif ve ucuz olabilirler. Sonuç olarak, akıllı telefonunuz ya da gürültü önleyici kulaklığınız gibi telefon işlevi gören hemen her taşınabilir elektronik cihazda büyük olasılıkla bir elektret mikrofon kullanılmaktadır.

Sunumunuza başlıyorsunuz: “Geldiğiniz için hepinize teşekkür ederim. Bildiğiniz gibi, herkes elde taşınabilen kişisel elektronik cihazları seviyor fakat bazı arkadaşlar bu ürünlerin güvenli olmamasından endişe

duyuyor. Örneğin insanlar telefonlarının daha iyi çekmesini istiyor ama baz istasyonlarının yakınında olmaktan rahatsız oluyorlar. Bugün benim amacım radyasyonun ne olduğu konusunda bilgi vererek müşterilerimizin bu konuda bilinçli bir şekilde karar vermesine yardımcı olmak.”

İster ses ister elektromanyetik dalgalara ister bir çekirdekten çıkarılmış yüksek hızlı atom altı parçacıklarına (elektronlar, protonlar, nötronlar ya da bunların kombinasyonları) ait olsun her türlü enerji yayılımı fizikçiler tarafından “ışınma” (radyasyon) diye adlandırılır. Bu sabah hoparlörlerinizden dinlediğiniz müzik, odadaki bütün noktalara yayıldı, bu sayede kahvaltı hazırlamakla uğraşırken onu duyabildiniz. Akıllı tabletinizi kullanarak uçuşunuzun durumuna ilişkin talep ettiğiniz bilgi, spektrumun radyo kısmında elektromanyetik dalgalar yayan bir wi-fi yönlendiriciden yayınlanıyordu. Ayak bileğinizin görüntüleri X ışını radyasyonu kullanılarak alındı. Havaalanında güvenlikten geçerken, iyon hareketlilik spektrometrede ölçülecek moleküllere elektrik yüklemek için nükleer radyasyon kullanan patlayıcı iz detektörü vasıtasıyla valiziniz bir daha görünlendi. Işınma (radyasyon) zararlı da olabilir, yararlı da, hiçbir şey yapmayabilir de. Esas mesele ışıma değil onun molekülleri neye maruz bıraktığıdır. Bir ya da iki elektronu çıkarırsa (bu durumda o molekül artık elektrik yüklü bir iyon olur) o zaman ona “iyonlayıcı radyasyon” denir. Genel bir kural olarak, görünür ışığın ışımasına eşit ya da ondan daha az olan hiçbir enerji ışıması iyonlayıcı değildir.

Bir moleküldeki atomlar kimyasal bağlarla bir arada tutulurlar ve kimyasal bağı bozmak için gereken enerji kabaca birkaç elektron-volt’tur.¹² Bazı kimyasal bağlar daha az enerjiyle kırıl-

1 Elektron-volt, fizikçiler tarafından kullanılan bir enerji birimidir ; bir elektron-volt, bir elektronun bir Volt’luk voltaj farkı ile hızlandırıldığı zaman kazanılan enerjidir.

2 Örneğin bkz. Roy McWeeny, *Coulson’s Valence*. Oxford University Press, 1979.

labilir; bazıları daha serttir ve kırmak için çok sayıda elektron-volt gerekir fakat bir bağı kırmak için birkaç çift elektron-volt gerektiğini söylediğiniz takdirde yanılmış olmazsınız. Bir kimyasal bağ iki komşu atomun elektronları arasındaki etkileşimleri içerir ve eğer anlık ışıma bir elektronu çıkarmaya yeterli enerjiye sahipse bağ bozulur. Bir radyo dalgası fotonu bir elektron-volt'un milyarda biri kadar enerjiye sahiptir, bir mikrodalga'nın enerjisi bir elektron-volt'un milyonda biridir ve kızılötesi ışın fotonunun enerjisi bir elektron-volt'un yüzde biri ile onda biri arasındadır. Elektromanyetik spektrumun bu kısmındaki herhangi bir elektromanyetik ışıma iyonlayıcı değildir. Görünür ışık fotonlarının enerjisi rengine göre 2-4 elektron-volt'tur, ultraviyole fotonun enerjisi yaklaşık 10-100 elektron-volt'tur, X ışınlarının enerjisi bin elektron-volt'tur ve spektrumun en yüksek enerji bölümüne "gamma ışını" ışığı adı verilir ve yaklaşık olarak bir milyon elektron-volt enerjiye sahiptir. X ışınları, gamma ışınları ve bazı ultraviyole ışıklar iyonlayıcı radyasyon kategorisine girerler. Bundan başka bir çekirdekten yüksek hızda parçacıklar biçiminde yayılan enerji vardır ve genellikle 5-10 milyon elektron-volt olup en kesin iyonlayıcı radyasyondur.

"Bir dakika," diye salondan biri sözünüzü kesiyor. "Mikrodalga fırınlar mikrodalgaları sadece yemeği çabuk pişirmek için kullanıyorlar. Nükleer ışımayla hiç alakası yoksa o zaman onu kullandığımızda neden yemeğe 'nükleer silahla saldırdığımızı' söylüyoruz?" Bu harika bir soru anlamında başınızı sallıyor ve yanıt veriyorsunuz: "Mikrodalga fırınlar, çekirdekten yayılan ve hızlı hareket eden parçacıklardan mum ışığının alevine ya da akkor telli ampule dek her tür enerji için 'ışıma' terimini kullanan biliminsanları ve mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Mikrodalga fırınlarda elektronik olarak radyo vericisine

benzeyen bir cihazın yarattığı elektromanyetik dalgalar kullanılır.¹ Fırında oluşan mikrodalgalar, yemeğinizdeki su gibi, polar moleküllerin mikrodalganın elektrik alanı ile etkileşime girerek hızla ileri geri hareket etmesine yol açar; bu tıpkı dıştaki bir manyetik alanın bir pusula ibresinin belli bir yönü göstermesini sağlamasına benzer. Mikrodalganın elektrik alanı saniyede milyarlarca devir frekansla salınır ve su molekülleri bu hızla ters dönerek bu dönme kinetik enerjisini yemeğinizin her tarafına taşırlar. Mikrodalgalar ve radyo dalgaları katı cisimlerin içinden kolayca geçer (bu sayede bir binanın içinde bir radyo istasyonunu açabilir veya cep telefonu sinyali alabiliriz), dolayısıyla mikrodalgalar yemeğin içine nüfuz eder ve her nokta aynı zamanda ısınır (ısı dıştan içe doğru geçip merkeze doğru dağılmaz) bu nedenle de pişme süresi standart fırınlardan çok daha kısadır. ‘Yemeğe nükleer silahla saldırmak’ gibi deyimler tuttu ama mutfağınızdaki mikrodalganın nükleer fizikle alakası yok.”

Bazı çekirdeklerin neden radyasyon yaydığını anlamak için öncelikle onların neden bir arada kaldıklarını irdelememiz gerekiyor. Bütün atomların merkezinde çekirdek bulunur ve çekirdek de çok küçük bir hacme sıkıştırılmış birkaç proton ve nötrondan oluşur. Bütün protonlar pozitif yüklüdür, nötronlar ise elektrik yükü taşımazlar. Pozitif yüklü protonlar birbirini iter ve çekirdek oluşur oluşmaz ondan kaçmaları gerekir. Neyse ki çekirdeğin içinde onları bir arada tutan daha büyük bir kuvvet vardır. Bu kuvvete Baskın Kuvvet denir ve protonları birbirinden uzağa iten elektrik kuvvetinden yüz kat kadar güçlü olmasına rağmen sadece çok kısa mesafelerde (kabaca bir nötron çapında) etkili olur.² Bu ise tesadüfe bağlıdır,

1 Michael Vollmer, “Physics of the Microwave Oven”, *Physics Education* 39, 74, 2004.

2 A. Das ve T. Ferbel, *Introduction to Nuclear and Particle Physics*, 2. baskı. World Scientific, 2003, s. 45-50.

zira uzun menzilli olsaydı bu kadar yoğun etkili bir kuvvet *bütün* atomların çekirdeklerini dev bir proton ve nötron alanı içinde bir araya çekerdi. Bu durumda Baskın Kuvvet çok zayıf olsaydı bütün çekirdekler protonların birbirini itmesinden dolayı ayrı ayrı uçuşurlardı, çok güçlü olsaydı da bütün çekirdekler çekilip tek bir kütle hâlinde birleşirlerdi.

Çekirdek ne kadar büyük olursa (yani ne kadar fazla proton ve nötron ihtiva ederse) proton ve nötronların Baskın Kuvvet aracılığıyla çok kısa menzilli çekimi ile protonların birbirini itmesini dengeleyerek hepsini bir arada tutmak o kadar güç olurdu. Aslına bakılırsa pek çok çekirdek gerçekten de ya kısmen ya da tamamen parçalara ayrılır ya da en azından durulup daha sabit bir konfigürasyona¹ girer ve sonunda da ışıma yayarlar. İşte bu çekirdeklere “radyoaktif” adı verilir.

Bir çekirdek düşük enerji ve sabit konfigürasyona geçince normalde radyoaktif olmaktan çıkar. Fakat $16,4 \text{ cm}^3$ uranyum yaklaşık bir septilyon atom ihtiva eder ve belirli bir anda bunlardan bazıları ışıma yayıyor olacaktır. Sabit olmayan belli bir izotopun ışıma yaydığı an gelişigüze'dir ve hemen de meydana gelebilir, çok sonra da. Bunun zar atmaktan farkı yoktur; ilk denemede “yedi” gelebilir ya da zarları birçok defa atmak gerekebilir. “Yarılanma süresi”, bir cisimdeki bütün çekirdeklerin ortalama yarısının kendi radyasyonlarını yayana kadar beklenmesi gereken süredir. Genel olarak da çekirdekler ne kadar çabuk çürürse yarılanma süresi o

1 Fizikte, bir çekirdekdeki protonların ve nötronların verili konfigürasyonunun “sabit” olduğunu söylediğimizde aslında başlangıçtaki konfigürasyonuna göre daha düşük enerjiye sahip olduğunu kastederiz. İri bir kaya parçası bir tepenin doruğunda süresiz olarak dengede tutulabilir fakat kaya parçasının tepenin alt kısmında olduğu zaman daha sabit bir konfigürasyon söz konusudur. Çekirdek yüksek enerjili bir konfigürasyondan düşük enerjili daha sabit bir duruma geçerse bir yolunu bulup enerji farkını ışıma biçiminde dışarı vermesi gerekir.

kadar kısa ve kütleinin tüm radyoaktif izotopları tüketme ve artık ışıma yaymama zamanı da o kadar yakın olacaktır.

Protonları çekirdeğin en yakın çevresi ile sınırlandırmak için çok fazla enerji gerekir, bu yüzden de sabit olmayan bir çekirdek gevşeyip daha düşük enerjili bir duruma doğru geçerse ışıma şeklinde dışarı verdiği enerji de çok fazladır. Sabit olmayan çekirdeklerden yayılan ışımının baskın biçimleri, sıkı bağlanmış iki proton ve iki nötron (alfa parçacıkları olarak anılırlar), bir hızlı elektron (bunlara da beta parçacıkları denir) ya da gamma veya X ışını elektromanyetik dalgaları şeklindedir.¹ Bu terimler ilk kez atomun iç işleyişinin anlaşılmasından önce, yirminci yüzyıla girerken kullanıldı.

Pozitif yüklü alfa parçacığının da, negatif yüklü beta ya da gamma ışınlarının da bir başka maddeye çarptıkları zaman kinetik enerjilerinin küçük bir bölümünü kaybetmeleri ve hedef atomdan gelen elektronların bazılarını çıkararak karşılaştığı bir sonraki atomu iyonize etmeye hazır hâlde yüksek hızda devam etmeleri çok kolaydır. Havaalanı güvenliğıindeki bazı patlayıcı madde iz detektörlerinde beta parçacıkları yayan bir tür nikel kullanılmaktadır; diğer versiyonlarda ise alfa parçacıklarını yaymak ve iyon hareketlilik spektrometresinde test edilecek molekülleri iyonize etmek için daha ağır bir atom olan amerikyum kullanılmaktadır.

Hücrenin içinde doğal olarak iyonlar olsa da çok yüksek bir konsantrasyon genetik bir zarar verebilir; iyonlayıcı radyasyona yüksek dozda maruz kalmanın ciddi hastalıklara ve ölüme yol açabilmesinin nedeni de budur. Elbette ki markette satılan et ve sebzelerde olduğu gibi hücreler zaten ölmüşse radyasyona maruz kalmak artık onlara daha fazla zarar vermeyecektir ama yiyeceklerin üzerinde hâlâ yaşamaya devam eden bakterileri öldürmesi

1 George Gamow, *The Atom and Its Nucleus*. Prentice Hall, 1961, s. 78-81.

mümkündür. Salmonella ve diğer hastalıklardan sorumlu bakterileri yok etmenin bir yöntemi de gıdayı iyonlayıcı ışımaya (gamma, X ışınları ya da beta parçacıkları gibi) maruz bırakmaktır.¹ Bu da gıdanın sıcaklığını artırmaya gerek olmaksızın istenmeyen bakterileri öldürmek açısından pişirme ile aynı sonucu verir. Işımaya tabi tutulan gıda “ışınlanmış” diye tanımlanır. İyonlayıcı ışıma yoluyla hücrelere verilen zarar yeni, kararlı olmayan radyoaktif çekirdek oluşumuna yol açmaz ve bu yüzden de *ışınlanmış gıdanın kendisi radyoaktif değildir.*² “Radyoaktif” ile “ışınlanmış”ın karıştırılması talihsizliktir, zira bu terimler öyle duyguları çağırırlar ki çoğu kişi içinden nükleer çürüme geçen her tür işlem den uzak durmaya çalışır, önlenabilir hastalıklara yakalanma ve ölüm pahasına bile.

1 Jozsef Farkas ve Csilla Mohacsi-Farkas, “History and Future of Food Irradiation”, *Trends in Food Science & Technology* 22, 121, 2011.

2 İndüklenmiş radyoaktivite denen olguda, kararlı çekirdek kararlı olmayan ve dolayısıyla radyoaktif olan çekirdeğe dönüştürülebilir. Ne var ki bu durum sadece çekirdek harici bir nötron kaynağına maruz bırakılırsa meydana gelir ve gıda sterilizasyonunda kullanılan gammalar, X ışınları ve beta parçacıklarıyla olmaz.

YEDİNCİ BÖLÜM

Otelde

*Sunumunuz bittikten sonra ofisteki birkaç kişiyle konuşuyor, ayrıntılı sorulara yanıt veriyorsunuz. Küçük bir grup sizi civardaki hoş bir lokantaya götürüyor; yemeğin yanında verilen şarap özellikle çok güzel. Tatlıdan sonra bir iki blok ötede, kolay bir yerdeki otelinize yürüyerek gidiyorsunuz. Sunumunuz sırasında konuşmanıza o kadar odaklandınız ki ayak bileğinizi unuttunuz ama sancı tekrar başlıyor. Bu yoğun günün ardından artık odanıza geçip devrilebilirsiniz. Resepsiyon görevlisine kredi kartınızı ve ehliyetinizi veriyorsunuz, o da imzalamanız için kayıt formunu hazırlıyor. **Akıllı fitness bilekliğinize** göz atınca günün büyük bölümü uçakta, trenlerde ve otomobillerde geçmesine rağmen günlük adım hedefinizi aştığınızı görüyorsunuz. Kayıt formunu imzaladıktan sonra resepsiyon görevlisi size oda anahtarınızı veriyor: Kredi kartınız büyüklüğündeki bu küçük kart, üzerinde oda numaranız yazan küçük bir karton kılıfın içinde duruyor. Asansöre yöneliyorsunuz. Kısa bir beklemeden sonra asansör geliyor ve hemen katınıza çıkıyorsunuz.*

Bir adım attığınız sırada, bir ya da iki yönde (düz bir çizgide giderken ya da bir köşeyi dönerken) veya üç yönde (örneğin bir döner merdivenden çıkarken ya da inerken) hareket etmiş olursunuz. Her adım bir hareketin başlangıç ve bitişini içerir ve hızdaki her değişiklik ivme (artsın ya da azalsın, hızın değişme oranı olarak tanımlanır) olarak nitelendirilir. Adımlarınızı takip eden fitness bilekliği üç boyutta ivmenizdeki en ufak değişiklikleri ölçer ve bu değişiklikler önceden belirlenmiş eşikleri geçtiğinde o adımı kaydederek koşu cetveline ekler.

Muntazam, düzenli adımlarla yürürken bile sürekli ivme kazanırsınız, zira ayağınızı yere basıp bir kuvvet uyguladığınızda yer de buna karşılık verir. Ayağınız başlangıçta durgun vaziyetteyken yerden kalkıyor ve gitmek istediğiniz yöne doğru hareket ediyor. Adım tamamlanınca ayağınız tekrar yere basıyor ve tekrar sıfır ivme ile bir adım daha atmaya hazır oluyorsunuz. Newton'ın hareketin ikinci yasasının matematiksel ifadesi şöyledir: *Kuvvet, bir cismin kütlesinin ivmeyle çarpımıdır*. Dolayısıyla hareketteki herhangi bir değişiklik yani her ivmelenme, ister hızın artması ister azalması isterse sadece yön değişikliği olsun bir kuvvetin uygulanmasını gerektirir. Akıllı fitness bilekliğiniz adımlarınızla bağlantılı bu kuvvetleri armonik salıngaçların özelliklerinden faydalanan ivmeölçerlerle ölçer.¹

Bu sabah çalar saatleri ve dijital zamanlayıcıları bir yayın ucunda salınan bir kütle ve ileri geri salınan bir çekül cinsinden ele almıştık. Bu salıngaçların, özellikleri (kütlenin ağırlığı, yayın sertlik derecesi, sarkaç yayının uzunluğu gibi) ile belirlenen doğal bir frekansı vardır. Fakat bir kuvvetin aniden ve kısa bir şekilde uygulanması

1 Jon S. Wilson, *Sensor Technology Handbook*, cilt 1. Elsevier, 2005, s. 137-53; S. Beeby, G. Ensell, M. Kraft ve N. White, *MEMS Mechanical Sensors*. Artech House Inc., 2004, s. 175-95; O. Sidek, M. N. Mat Nawi ve M. A. Miskam, "Analysis of Low-g Capacitive Cantilever-Mass Micro-Machined Accelerometers", *International Journal of Engineering & Technology* 10, 133, 2010.

salınımın bu frekansını bir anda değiştirebilir, tıpkı çocuk parkındaki salıncakta birini itince tanık olunacağı gibi. Akıllı fitness bilekliklerinde sallanan bir sarkaç ya da sarmal bir yayın ucundaki kütle yerine minicik bir dirsek vardır. Minyatür bir trampelen şeklindeki bu dirsek, yaklaşık 500 mikron uzunluğunda ve 50 mikron kalınlığındadır —ortalama saç teli yaklaşık 100 mikron çapındadır— ve bütün ani hareketler bu dirseğin sapmalarına yansır.

Dirsek, dıştan gelen kuvvete tepki olarak kalkıp indikçe mekanik sapmaları ölçülüp üstünde ve altında bulunan kapasitör levhalar aracılığıyla bir elektrik sinyaline dönüştürülür. Minik trampelenin üst ve alt yüzünde birer metal levha vardır; bu çitanın üstünde ve altında da başka sert metal levhalar bulunur, dolayısıyla minik çita iki ayrı kapasitörün ortasındadır. Çita aşağıya doğru hareket ettiği zaman alttaki levhalar arasındaki aralık azalır. Levhaların üzerindeki sabit yük miktarı için kapasitör boyunca voltaj, levha aralığına çok duyarlıdır ve çitanın pozisyonundaki bir kan hücresinden büyük olmayan değişiklikler bile algılanabilir. Çitanın üstünde ve altındaki yalıtıcı tamponlar, büyük bir sarsıntı sırasında onu levhalara çarpmaktan korur.

Birbirine göre doğru açılara yöneltilmiş bu türde üç ivmeölçer, üç boyutlu hareketinizi izler. Mikro imalat ve yarıiletken üretimi alanındaki gelişmeler, ivmeölçerlerin mikrodevrelerin içine konabilecek şekilde tek bir silikon çipin üzerinde üretilmesini mümkün kılmaktadır.¹ Buna karşılık, yer değişikliği çitanın (ya da daha büyük cihazlarda yayın ucundaki gerçek bir kütle) ucunun detektör ile doğrudan temas ettirilmesi yoluyla ölçülebilir. Bu durumda kuvvet ne kadar büyükse detektöre o kadar fazla

1 Bu cihazlara MEMS –mikro elektrik mekanik sistemler (*micro-electrical mechanical systems*)– adı verilir.

basınç yapacaktır. Buradaki detektör piezoelektrik malzeme ya da piezodirençli kristal (gerildiğinde elektrik direncini değiştiren bir malzeme) olabilir.

İvmeölçerin çıktısı sensörün hareketine yanıt olarak zaman içinde hareket eden bir voltajdır. Bu voltajın adım sayısına dönüştürülmesi, sinyalin bilgisayar algoritmalarıyla işlenmesini kapsar. Bu algoritmalar büyük ölçüde bu monitörleri pazarlayan şirketlerin özel mülkiyetindedir. Monitör bu protokolleri kullanarak adım sayısını, kaç kalori yakıldığını ve nabzınızı hesaplar; gerçi bu sonuncusu ışık yayan diyotların kullanıldığı ayrı bir ölçüm gerektirir.

Bilek monitörünüz nabzınızı kaydetmek için LED'den gelen ışığı bileğinize yansıtır ve bir fotodetektör (direnci aydınlanmaya karşı duyarlı olan bir yarıiletken) ile ne kadar ışık yansıdığını belirler.¹ Deri altına farklı derinliklerde nüfuz edebilen farklı dalgaboylarında ışık kullanılır. Detektöre geri gönderilen ışık, damarlarınızdaki periyodik akışta olduğu gibi deri altındaki kütle değişiklikleri ile birlikte değişiklik gösterecektir. Optik detektörden gelen voltajları ivmeölçerlerden gelenlerle ilişkilendirmek bu ölçümdeki paraziti kısmen (ama tamamen değil) düzeltmeye yardımcı olur. Kan damarı dışında her şey (kemik, tendonlar ve bilekteki dövme gibi) ışık saçacak ve istenen bilgiyi gizleyecektir. Parmak ucunuz ya da kulak memeniz bu tip nabız monitörleri için daha uygundur; buralarda cilt incedir ve çok az engel vardır, bu nedenle doktor muayenesinde nabzınız bilek monitöründe kiyle aynı fiziksel ilkelerle çalışan bir parmak kısıkaçı ile ölçüldü. Mekanik hareketleri dijital elektrik sinyallerine dönüştürmek için birçok teknoloji birleştirilir. Bu, sizin için küçük bir adım olabilir, bilim için dev bir sıçramadır.

1 Örneğin bkz., John G. Webster, ed., *Design of Pulse Oximeters*. CRC Press, 1997.

Katınıza varıyorsunuz, asansör kabininin aniden hız kesmesiyle biraz sallanıyorsunuz. Duvardaki işarete baka baka odanıza giden uzun koridorda ilerliyorsunuz. Tavan ışıkları sönük olduğu için koridor başlangıçta karanlık ve oda ışıklarını görmek zor. Ama siz yürüdükçe bir hareket sensörü varlığını algılıyor ve ışıklar yanıyor.

Çoğu hareket sensörü kızılötesi gece görüş gözlüğünün çeşitleridir. Bunlar vücudunuzun yaydığı ışığı algılar ve bu elektromanyetik ışımayı bir elektrik sinyaline dönüştürürler. Bu sabah simidinizi hazırlarken ekmek kızartma makinenizin kablusunun korlaşmasıyla aynı nedenden ötürü siz de ışıma yayıyorsunuz: Değişen elektrik akımlarının değişen manyetik alanlar yaratması ve değişen manyetik alanların elektrik akımlarına sebep olması. Hareket sensörü bu kızılötesi ışıyı yarıiletken detektör kullanarak algılar.¹ Detektör ultrason taramasındaki görüntüleme çubuğunun işleyişi ile bağlantılı fizik olayını kullanır.

Önce kızılötesi ışımanın parlayan kaynağını ele alalım: Siz. Sürekli hareket hâlinde olan atomlardan oluşuyorsunuz. Kanın akışından ya da büyük ölçekli ulaşımdan değil, sadece atomların hücrelerinizin içindeki moleküllerdeki pozisyonları etrafında salınmasından bahsediyorum.

Hidrojen, nitrojen, oksijen atomlarıyla karbon atomları halkaları ihtiva eden bir organik molekül düşünün. Evrenin geri kalanından yalıtılmış hâlde dış uzayda yüzen bu molekül, sonunda kendisini en düşük enerji konfigürasyonunun içinde bulacak ve kuantum mekaniği etkilerine bağlı hafif bir titreme² haricinde hareketsiz olacaktır.

1 Jacob Fraden, *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs and Applications*, 4. baskı. Springer, 2010, s. 95-100, 487-91.

2 Mutlak sıfır sıcaklıkta bile, Heisenberg'in belirsizlik ilkesinin sonucu olarak, atomlar bir miktar titreşim hâlinindedirler ve buna "sıfır noktası hareketi" denir. Bu ilginç bir olaydır fakat hareket sensörlerinin işleyişi ile hiç ilgisi yok, o yüzden unutulması gitsin.

Aynı molekül sıcak su dolu bir tencerenin içine koyulsaydı yüksek kinetik enerjiye sahip su molekülleri bu organik molekülü sürekli bombardımana tutup o kinetik enerjinin bir kısmını ona transfer edeceklerdi. Nihayetinde organik molekül kendisini çevreleyen su molekülleri ile aynı ortalama enerjiye sahip olacak ve daha fazla net enerji transferi olmayacaktı. Fakat bu durumda organik molekül daha yüksek bir enerji durumundadır ve bu enerji kendisini oluşturan bütün atomlara dağılmıştır. Her atomun kendine ait bir kinetik enerji payı vardır ama molekülü terketmesi kendisini yerinde tutan kimyasal bağlar tarafından engellenir. Bu kinetik enerji, atomlar molekülün içindeki konumları etrafında titreşirken kendisini gösterir ve onlar sallandıkça elektronları da sallanır.

Bu senaryodaki organik molekül vücudunuzdaki bütün molekülleri temsil ediyor, sıcak su dolu tencere de vücudunuzu. Yediğiniz yiyecekler depolanmış kimyasal potansiyel enerji dolu moleküller içerir. Bu enerji, bir dizi kimyasal reaksiyondan geçerek diğer moleküllerin fazladan kinetik enerjisine dönüştürülerek vücudunuzdaki bütün kimyasal ve biyolojik süreçleri harekete geçirir. Normal bir günde aldığınız enerjinin kabaca yarısı büyük ölçekli aktivitelere (yürümek, koşmak, kahvaltı hazırlamak, havaalanında güvenlikten geçmek, vb) giderken, diğer yarısı yatakta hareketsiz kaldığınız zaman bile sizi hayatta tutar (kalbinizin atmasını, ciğerlerinizin nefes almasını ve vücut ısınızın korunmasını sağlar).¹ Sıcaklık, bir cismin atom başına ortalama enerjisini yansıtır ve siz bu satırları okurken, vücudunuzdaki atomların hepsi de 37°C ile tarif edilen ortalama kinetik enerji ile titremekte ve titreyen elektronları elektromanyetik spektrumun kızılötesi bölgesinde ışık

1. VACLAV SMIL, *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. MIT Press, 2008, s. 124-27.

1 Vaclav Smil, *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. MIT Press, 2008, s. 124-27.

yaymaktadır. Doğal vücut ısımızdan ötürü hepimiz 100 Watt'lık kızılötesi ışın ampulleriyiz.

Koridordaki hareket sensörü gönderdiğiniz kızılötesi ışını “piroelektrik detektör” denilen bir yarıiletken aygıt kullanarak algılar.¹ Bu cihaz ıssıyı (*piro*) voltaja (*elektrik*) çevirir. Bu etki bilgisayar çiplerinin zamanlamasında ve ultrason tarayıcılarda önemli bir rol oynayan piezoelektriğe benzer. Piezoelektrik aygıtta, kristalin üzerindeki gerilimin değışimi kafes yapısının elektrik polarizasyona yol açtı ve bu da malzemenin bütününde net bir elektrik alanı (voltaja denk) oluşturdu. Bir piroelektrik cisimde, ıssının emilimi detektörün kristal yapısındaki atomların daha hızlı titremesine neden olur ve katı cisimdeki atomların özgün dizilimi ve kimyasal bağların anharmonik etkileri nedeniyle kafeste bir bozulma oluşarak net bir elektrik polarizasyonu ve dolayısıyla bir voltaj yaratır.

Bunun çalışması için kristalin yakınında açık alev olması gerekmez. Eğer yakında bir ısı kaynağından (mesela sizden) yayılan kızılötesi ışın varsa yine voltaj üretecektir. Hemen hemen bütün koridorlar ve odaların sıcaklığı 21°C'de tutulduğundan, cilt sıcaklığınız çevrenizden kabaca yirmi derece daha sıcaktır ve kızılötesi ışın enerjiniz de çevreleyen ortamdan daha fazladır.² İyi ama ya yazın klima durur da koridorun ıssısı artarsa? Çoğu sensörde ters yönlerde bağlanmış iki detektör kullanılır. Yani bir detektörden gelen ıssının emilmesi ile yaratılan, tek bir yöndeki akımı üretecek pozitif voltaj farkı, ters yönde akımı yaratacak ikinci detektörün negatif voltaj farkına bağlıdır. Böylece koridorun sıcaklığı artarken

1 Örneğin bkz., A. K. Batra ve M. D. Aggarwal, *Pyroelectric Materials: Infrared Detectors, Particle Accelerators and Energy Harvesters*. SPIE Press, 2013.

2 Gece görüş gözlükleri de aynı prensiple çalışırlar; çevrenize göre siz parlak bir kızılötesi ışın kaynağısınız, özellikle de güneş ışığı olmadığından ortalama sıcaklığın düştüğü geceler ve fotoiletim yapan yarıiletkenler bu kızılötesi ışını voltaja dönüştürürler.

ilave ısı tekdüze olduğu sürece sensörden hiçbir net sinyal gönderilmeyecektir. Öte yandan, insan çok lokalize bir ısı kaynağıdır ve çoğu sensör, siz koridorda yürüdüğünüzde olduğu gibi, yalnızca ısı işaretinin profilinde bir değişiklik algılandığı zaman ışıkları açacak bir voltaj gönderen bir devrenin parçasıdır.

Bu tarz hareket sensörlerine “pasif” denir, zira sadece dış bir kaynaktan, mesela vücudunuzdan gelen kızılötesi ışını algılarlar. Böylelikle daha az enerji kullanırlar. Mikrodalgalar yayan ve dekteöre geri dönen yansıma sinyalindeki değişiklikleri arayan “aktif” hareket sensörü türleri de vardır.¹ Bazı konut güvenlik sistemlerindeki daha karmaşık hareket sensörlerinde, aktif mikrodalga yayını ile birlikte pasif kızılötesi ışın algılaması da kullanılır. Bu tip sistemlerde evcil hayvanların hareketiyle yanlış alarm vermesini önlemek için belirli bir kütlenin altındaki cisimlerin hareketiyle tetiklenmeyen basit bilgisayar çipleri kullanılabilir.

*Kapıda duruyorsunuz ama odanızın otomatik kartını sokacağınız bir yuva yok, çünkü resepsiyon görevlisi size bir **temassız kart** verdi. Kartı kapı kolunun altındaki yuvarlak kart okuyucuya tutuyorsunuz ama küçük LED kırmızı yanıyor, odaya giremezsiniz işareti. Tekrar deniyorsunuz ama yine kırmızı sinyali alıyorsunuz. İçinizde tekrar o kadar yolu gidip lobiye geri dönmenin ve kartınızı yeniden programlatacak olmanın verdiği hüsrana dalgası, oda numarasını tekrar kontrol etmenizle kayboluyor. Yanlış kapının önünde durduğunuzu farkediyorsunuz. Sizinki koridorda iki oda ilerde ve bu işlemi orada yaptığınızda yeşil LED yanıyor. Kapı kilidinizin sürgüsünün attığını duyuyorsunuz, artık odanıza girebilirsiniz.*

1 Fraden, *Handbook of Modern Sensors*, s. 249-54.

Otel odası anahtarları ve toplu taşıma sistemlerinde kullanılan doldurulabilir ödeme kartları esasen bir kredi kartı boyutlarına indirilmiş E-ZPass sistemleridir.

Pasif kart giriş sistemlerinin temel prensipleri¹ ile elektrikli dış fırçanızın şarj edilmesinden itibaren gün boyunca defalarca karşılaştık; bobinin içindeki alternatif akımın salınan bir manyetik alan yaratıyor ve bu da ikinci bir kablo devresinin içinden geçerek ikinci bobinin içinde alternatif bir akım yaratıyordu. Otelin temassız kartında, bobinlerden biri güç kaynağına bağlı olan kapı tokmağı tertibatının içindeki anahtar kartı okuyucudur. Kapıların ya da tren istasyonu turnikelerinin üzerindeki bu okuyucuların kabartma daire ya da büyük kareler olduğu dikkatinizi çekmiş miydi? Radyo anteni rolü oynayan büyük bir bobini yerleştirmek için en iyi yöntem bu. İkinci bobin ise anahtar kartının içindedir. Bu bobin, anahtar kartın içindeki bir kapasitör ile birlikte tek bir istasyona (kapının içindeki kart okuyucudan yayın yapılan frekansa) ayarlı bir radyo alıcı anteni gibi hareket eder. Kapının içindeki yayıncı dışarıya düşük frekanslı bir radyo sinyali gönderir ve o da anahtar kartının kapalı devresinde akıma yol açar. Bu akım ise kendisi de karta gömülü mikrobilgisayar çipine geçer. Çip kartın içindeki bobine bir dijital kod yollar, o da kapının içindeki bobine bir mesaj gönderir. Bu gerçekten de E-Zpass sistemi gibidir,² tek fark, alıcı ve detektörün bir bilet gişesindeki onlarca metre gibi nispeten uzak bir mesafede değil birbirine birkaç santimetre yakın olması gerekir.

1 Örneğin bkz., Robert N. Reid, *Facility Manager's Guide to Security: Protecting Your Assets*. Fairmont Press, 2005; Thomas Norman, *Electronic Access Control*. Butterworth-Heinemann, 2011.

2 Bazı sistemler otomobilinizde kullanılan uzaktan kumanda sistemi ile ortak bir yöne sahiptir: Kart tarafından gönderilen dijital kod kart kullanıldığı zaman kodu güncelleyen bir algoritma tarafından oluşturulur. Böylece, odada daha önce kalan kişinin anahtar kartı rezervasyon bittikten sonra çalışmaz.

Bu dijital kodu alınca kapıdaki anahtar kart okuyucunun içindeki çip bir “solenoid”e (temel olarak bir elektromıknatıs) elektrik sinyali gönderir. Bu elektromıknatısın ürettiği kuvvet kapının mandalını çekip açarak otel odanıza girmenizi sağlar.

Anahtar karttan farklı olarak kapıdaki kart okuyucu birden fazla kodu tanıyabilir ki bu da oteldeki bütün odalara girmesi gereken ama tek tek yüzlerce anahtar kart taşımak istemeyecek olan kat hizmetleri için pratiktir. Anahtar kartın dijital kodu için bir zamanlayıcı ayarlanmıştır. Rezervasyonunuz bittiğinde (ya da metro geçiş sistemlerinde kullanılan temassız kartlarda olduğu gibi kontürünüz kalmadığında¹), okuyucunun üzerindeki kod değiştirilir ve anahtar kartınız artık giriş yapmanıza izin vermez.

Bu pasif temassız kartların radyo dalga sinyalini kartın bobin antenine ileten kart okuyucuya çok yakın tutulması gerekir. Aktif temassız kartlar kendi seri numaralarını ve dijital kodlarını çok uzak mesafelere yayabilirler ve otomatik geçiş ücreti ödemek ya da güvenlik kapılarını açmak için kullanılırlar.² Bu aktif kartların büyük enerji ihtiyacı sıklıkla içlerine gömülü ince lityum pillerden karşılanır. Bu yüzden de bu kartlar kartvizitten daha kalındır.

*Çantanızı açmanız uzun sürmüyor. Çabucak duş alıyorsunuz, otelin verdiği pofuduk bornozlar da iyiymiş. Tabletinizi kullanarak otelin kablosuz ağına giriyorsunuz. E-postalarınızı kontrol ediyor ve yatağınızın yanındaki komodinin üzerinden **uzaktan kumandayı** alıp duvara monte edilmiş televizyonu açıyorsunuz.*

1 Pek çok kentte toplu ulaşım kartlarının üzerindeki bilgi hâlâ manyetik bir şerit ile kodlanmaktadır. Şeridin okunması için kredi kartı okuyucuda uygulanan fizik prensibini kullanarak geçirilmesi gerekir.

2 a.g.e.

Bir uzaktan kumanda cihazı imal etmek için kızılötesi ışın demeti veren kontrol biriminde bir ışık yayıcı diyoda ve televizyonun içinde bir detektöre ihtiyaç vardır.¹ Bir kızılötesi LED'in üretimi, spektrumun görünür kısmını yayandan çok daha kolay ve daha ucuzdur. Bir diğer yararlı yönü, en fazla kullanılan yarıiletkenlerin kızılötesi ışını güçlü bir şekilde emmeleridir. LED belirli bir dalgaboyunda kızılötesi ışın yayacak şekilde kuruludur ve televizyondaki bir filtre yalnızca o dalgaboyunun detektöre geçmesine izin verecektir. (Bu da demek oluyor ki vücudunuzun yaydığı kızılötesi ışının kanalı değiştirmesinden endişelenmenize gerek yok.)

Uzaktan kumandada bir düğmeye bastığınızda düğme setinin alt tarafındaki baskılı devrede bir şalteri kapatırsınız. Baskılı bir devrede ince yalıtım levhasının bir tarafında muhtelif metalik çizgiler vardır. Kontrol biriminin üzerindeki kauçuk düğmenin alt tarafında metal bir disk vardır ve siz düğmeye basınca metal disk basılı devre kartına dokunup bir bağlantıyı kapatır ve kızılötesi LED'e akım gönderilir. İçinde televizyona ilişkin bilginin kodlandığı bir dizi açık/kapalı kızılötesi ışın flaşları yayılır.

Bu sinyal televizyondaki bir yarıiletken tarafından algılanır. Bu yarıiletkenin direnci karanlıkta çok yüksek, ışığı emdiği zaman ise çok düşüktür. Karanlıkta direnç o kadar yüksektir ki yarıiletken-den hemen hemen hiç akım geçemez; bir şalter açık bırakılmış gibi olur. Kızılötesi ışın televizyon alıcısının içindeki detektörün üzerinde parladığında, elektronlar düşük enerji doldurulmuş banttan yüksek enerjili boş banda yükselirler. Şimdi bir akım akabilir; bu, şalteri kapatılınca devrenin tamamlanmasına benzer. Açık/kapalı flaşları televizyonun içindeki şalteri etkin bir şekilde açıp kapatır

1 Örneğin bkz., Julia Layton, "How Remote Controls Work", 10 Kasım 2005, <http://electronics.howstuffworks.com/remote-control.htm>.

ve açık ve kapalı akımlar televizyonun içindeki bilgisayar çipi için bilgidir. Çip akımının içinde kodlanmış mesajı yorumlar, istenen sinyali televizyon devresinin diğer taraflarına göndererek yanıt verir ve böylece kanalı değiştirir veya sesi açıp kısabilir.

Kuantum mekaniğinin çarpıcı bir sonucu da katı cisimlerin bant yapısıdır¹; düşük enerjili doldurulmuş orkestra ve yüksek enerjili boş balkon benzetmesindeki gibi. Farklı elementlerin ya da moleküllerin farklı enerji aralıkları olacaktır. Kuantum mekaniği, bir atomun elektronlarının yalnızca çok özel enerji değerlerine sahip olabileceğine, elektronların olduğu izin verilmiş son enerji durumu ile işgal edilmemiş ilk olası enerji değeri arasında bir enerji aralığı bulunacağına işaret eder. Pek çok atom bir araya getirildiğinde, bu enerji durumları bantlara doğru genişler. Yarıiletkenlerde ve yalıtkanlarda düşük enerji bandı dolu ve birinci yüksek enerji bandı boştur, buna karşılık metallerde düşük enerji bandı ancak kısmen doludur (işte bu yüzden metallerdeki elektronlar balkon durumlarının içine doğru hareket etmeden akımı taşıyabilirler). Orkestra ile balkon arasındaki aralığı kapatacak enerjisi olmayan hiçbir ışık ne kadar parlak olursa olsun emilemez ve cismin içinden o orada yokmuş gibi geçer. Bu ayırım, maddenin kuantum niteliğinin açık bir belirtisidir.

Kızılötesi ışın ısıyla bağlantılıdır, çünkü çoğu molekül tarafından kolaylıkla emilir ve kinetik enerjiye dönüştürülebilir. Aslına bakılırsa, moleküller hakkında bildiklerimizin çoğunu onların kızılötesi ışını emme biçimlerinin kuantum mekaniği özelliği sayesinde biliyoruz.² İzin verilen enerji durumlarının katı cisimlerdeki işgal

1 Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, 7. baskı. John Wiley & Sons, 1996, s. 173-94.

2 Robert Eisberg ve Robert Resnick, *Quantum Physics of Atoms, Molecules, Solids, Nuclei and Particles*, 2. baskı. John Wiley & Sons, 1985, s. 422-32.

edilmiş ve edilmemiş bantlara kuantum bölümlemesi moleküllerde de söz konusudur. İki hidrojen atomunun birleşip bir hidrojen molekülü (H_2) oluşturduğu çok basit bir molekül düşünün. H_2 molekülü bir yerden bir yere hareket edebilir ve kuantum mekaniği onun enerjisine hiçbir engel koymaz çünkü serbest alandadır. Fakat başka türlü hareket edebilme imkânı da vardır. İki hidrojen atomunu birleştiren çizgi boyunca ileri geri titreşebilir ve bu titreşimin enerjisi yalnızca belirli değerler alabilir. Üstelik, hidrojen atomlarının arasındaki orta noktadan geçen bir eksenin etrafında dönebilir ve burada da yalnızca bazı dönme enerjileri mümkündür. Dönmeler ve titreşimler için bu enerji aralıkları genellikle spektrumun kızılötesi (ya da düşük enerji) kısmındadır ve molekül kızılötesi ışını sadece bu geçişlerin birine sebep olacak doğru enerjisi varsa emecektir. Farklı moleküllerin farklı dönme-titreşim enerji aralıkları olacaktır ve aslında her molekülün ayrı bir “kızılötesi spektrum parmak izi” vardır. Fizik-kimyacılarla adli tıp uzmanlarının bilinmeyen bir cismin kimyasal kompozisyonunu belirlemede kullandıkları en güçlü araçlarından biri, kızılötesi spektrumunu ölçüp bunu bilinen moleküllerinki ile karşılaştırmaktır.

Pencere camındaki silikon dioksit molekülleri katı cismin içindeki konumlarının etrafında titreşebilir ve bu titreşimler de kızılötesinin emilmesine neden olur. Ultraviyole ışık, görünür ışık spektrumunun mor ucundan daha fazla olan enerjisi ile orkestra bandı ile balkon bandı arasındaki geçişleri uyacaktır; cam da onu emecektir. Dolayısıyla, camın içinden bakabiliriz çünkü görünür ışığı iletir ve aslında görünür ışık camın geçireceği tek ışıktır.¹

1 Karbonun Periyodik Cetvel’de silikonun hemen üstünde durduğunu hatırlarsınız. Karbondioksit kimyasal olarak silikon diokside benzer ve aynı zamanda görünür ışığı rahatça geçirip kızılötesi ışını emer. Karbondioksitde işte bu yüzden sera gazı denir. Vaclav Smil, *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*. MIT Press, 2008, s. 33-34. Gün içinde görünür ışık Dünya yüzeyine çarparak

*Televizyon açılıyor, kanalları gezip yerel haberleri arıyorsunuz; parlak, yüksek zıtlıklı görüntüye hayran kalıyorsunuz. **Düz panel televizyon** alıcısına yakından bakınca ne kadar ince olduğu dikkatinizi çekiyor. Evinizdeki LCD televizyon alıcısı birkaç cm kalınlığında, bu televizyon ise önünden arkasına 2,5 cm'den fazla görünmüyor. Gövdesinin ön tarafındaki kabartmalı etikette bu televizyonun bir OLED olduğu yazılı.*

İri katot ışınlı tüp televizyon alıcılarından düz panel televizyonlara geçiş kısmen vakum tüplerinin yerini katı hâl transistörlerinin almasıyla oldu. Yeni düz panel televizyon tipleri için de teknolojiye benzer, radikal bir değişiklik söz konusudur; burada transistör, ışık kaynağı ve sıvı kristal ekran (LCD) yerini organik moleküllerden oluşan ultra ince ışık yayan diyoda bırakmıştır. Bu “organik ışık yayan diyotlar” (OLED – *organic light-emitting diodes*) yüzeylere serigrafi teknikleri kullanarak çizilebilir¹; LCD bazlı televizyonlardan çok daha az elektrik harcar ve çok daha hızlı görüntülerler.

Bir LCD televizyonu üretmek için, daha önce tanımlanan LCD projekte olduğu gibi bir ışık kaynağına (bir soğuk katod floresan lamba ya da yarıiletken bazlı diyot yayan ışık), geniş bir dizi sıvı kristal piksele ve kablo ya da antenden gelen sinyali işlemek ve bir elektrik alanının cam slaytlardan uygulanması gerekip gerekmediğini belirlemek için her pikselin arkasında bir ince film transistöre ihtiyaç vardır. Bütün bu düzenlemenin toplam kalınlığı iki ya da üç milimetre olacaktır. Fakat OLED ekran bunların

onu ısıtır. Gece ise gezegen kızılötesi ısıyı yayarak soğur. Fakat ışık atmosferdeki karbondioksit (ve diğer gazlar) tarafından emilirse, enerjinin bir kısmı Dünya'nın yüzeyine yeniden ışıyabilir ve bu da Güneş yokken bile onu sıcak tutar.

- 1 Eliav I. Haskal, Michael Buchel, Paul C. Duineveld, Aad Sempel ve Peter van de Weijer, “Passive-Matrix Polymer Light-Emitting Displays”, *MRS Bulletin*, Kasım 2002; Jiun-Haw Lee, David N. Liu ve Shin-Tson Wu, *Introduction to Flat Panel Displays*. John Wiley & Sons, 2009.

hepsini LCD sistemden on kat daha ince olabilen tek bir ışık yayan diyot ile gerçekleştirir.

Önceden anlatıldığı gibi, normal bir ışık yayan diyotta yarıiletkenlere farklı kimyasal katışkılar eklenir. Yarıiletkenler de ya balkona fazladan elektron ekler ya da doldurulmuş orkestradan elektronlar alır ve aslında özünde alt banda delikler eklerler. Sonra bu iki cisim birbirinin üzerinde birleştirilir. İki yarıiletken katmanın içinden bir elektrik akımı geçirilir. Bu katmanlarda elektronlar bir tarafta, delikler öbür taraftadır ve iki katman arasındaki arayüzde karşılaştıklarında balkondaki elektronlar orkestradaki deliklerin içine düşünce bir ışık fotonu yayarlar. Bir OLED de aynı şekilde çalışır, bir farkla ki bir organik molekül elektronları taşıyan taraf için ve farklı bir molekül de delikleri taşıyan için kullanılır. Bu iki farklı molekül, elektronların ve deliklerin yeniden birleşip ışık yaydığı bölge olarak hizmet eden üçüncü bir organik molekül katmanı ile ayrılır. Bu üçüncü molekülün kimyasal bileşimini değiştirerek yayılan ışığın rengi değiştirilebilir ve OLED'inki kırmızı, yeşil ya da mavi parlayabilir; hatta birleştiğinde beyaz ışık yayar.

Bir LCD televizyon görüntüsünde, cam levhalardan geçen elektiriksel alana bağlı olarak, sıvı kristal her zaman açık olan ışık kaynağından gelen aydınlanmayı ya bloke edecek ya da geçirecektir. Bu durumda, bir renk filtresi ışığı kırmızı, yeşil ya da maviye kaydırır ve birleştiklerinde renkli görüntü görüntülenebilir. Bir OLED bazlı televizyonda bu unsurların (ince film amorf silikon transistörünün¹ yanı sıra) yerini organik molekül ışık yayan diyot alır. Işık kaynağı olarak kristalimsi yarıiletken LED gerekmez, çünkü OLED kendi ışığını kendisi yayar. Renk filtresine ihtiyaç yoktur, zira üç temel

1 Amorf yarıiletkenlerin kullanılma nedeni, transistör dizisinin büyük ekran düz panel televizyonlarda büyük bir alanı kaplamasının gerekmesidir.

renk için farklı OLED'ler kullanılabilir.¹ Işığı bloke etmek için iri cam slayt ya da sıvı kristale ihtiyaç yoktur; bir piksel karanlık olması gerektiğinde akım OLED'den geçerek kapatılır. Bu şekilde OLED ekran üzerindeki siyah pikseller gerçekten siyah olur ve ortaya çıkan görüntüde zıtlık çok daha keskindir.

OLED'den ne kadar fazla akım geçerse o kadar fazla foton yayılır ve görüntü o kadar parlak olur. OLED'lerin çalışması için ışık yayan diyot ve sıvı kristal ekran kombinasyonundan çok daha az enerjiye ihtiyaç vardır ki bu da bu tip ekranları pille çalışan akıllı telefonların, tabletlerin ve akıllı fitness bilekliklerinin monitörleri için çok çekici kılar. OLED'i açıp kapatmak sıvı kristal pikseli döndürüp tekrar geri döndürmekten yüzlerce kat daha hızlıdır, bu yüzden de OLED ekranlarında LCD'lere zaman zaman musallat olan hareket bulanıklığı vakaları yaşanmaz. OLED piksel, tek bir alyuvar hücresinin çapından daha incedir, buna karşılık LCD piksel ise aynı fonksiyonu birkaç milimetre kalınlıkta yerine getirir.

O hâlde neden bütün düz panel televizyonlarda alıcılarda OLED ekranlar kullanılmıyor? Üretim maliyetleri LCD'lerden hâlâ çok daha pahalı da ondan. Dahası mavi ışık OLED'de kullanılan moleküllerin zaman içinde çözünmesi daha iyi moleküller bulunana dek geçici çözümlere başvurulmasını zorunlu kılıyor.² Son olarak, OLED'lerdeki organik moleküller su ile iyi etkileşime girmezler; bu da kuşkusuz duvara monte edilmiş televizyonlar

1 Teknik ve mali sebeplerle bazı OLED ekranlar kırmızı, yeşil ve mavi OLED'leri birleştirip beyaz ışık elde eder, daha sonra bu da bir filtreden geçirilip kırmızı, yeşil, mavi ya da beyaz piksel oluşturulur. Üretim sürecinde bu şekilde yapılması kârlıdır fakat kırmızı, yeşil ve mavi OLED'ler de kolaylıkla doğrudan kullanılabilir.

2 Hungshin Fu, Yi-Ming Cheng, Pi-Tai Chou ve Yun Chi, "Feeling Blue? Blue Phosphors for OLEDs", *Materials Today* 14, 472, 2011; Jeong-A Seo, Sang Kyu Jeon, Myoung Seon Gong, Jun Yeob Lee, Chang Ho Noh ve Sung Han Kim, "Long Lifetime Blue Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes with an Exciton Blocking Layer", *Journal of Materials Chemistry C* 3, 4640, 2015.

için değil akıllı telefon görüntüleri için bir sorundur. Yine de organik moleküller kullanmanın büyük bir avantajı vardır: Bunları mürekkep püskürtme baskı tekniklerini ya da serigrafi tekniğini kullanarak mesela bir tişört gibi geniş alanlar üzerine yayabilmenizdir. Bir sıvı kristal katmanını sınırlandırmak için ağır ve esnek olmayan cam tabakalara gerek olmadığından, OLED ekranlar rulo yapıp arka cebinizde taşınabilecek plastik tabakalara basılabilir. Veya ekran doğrudan kumaş üzerine ya da geleneksel olmayan başka yüzeylere basılabilir. Bu ve başka alanlardaki araştırmalar ilerledikçe, bir zamanlar bilim kurgu olarak görülen şeyler olağan hâle gelecek.

Haberleri biraz seyrettikten sonra yatağınıza geçip kanal değiştiriyor ve kafa dağıtıcı eski bir film buluyorsunuz. En sevdiklerinizden biri, 1985 tarihli Geleceğe Dönüş (Back to the Future). Filmin sonunu yakalıyorsunuz, tam da Marty ve kız arkadaşı Jennifer'ın zamanda yolculuk yapan DeLorean'ın önlerinde parlayan bir ışık hâlinde belirmesine şaşırdığı sahne. Doktor Brown araçtan "gelecek kıyafetleri"ni giymiş olarak çıkıyor. Marty ile Jennifer'ın kendisiyle birlikte 2015'e gelmeleri için ısrar ederken, arabasının kaportasına kayışla bağlanmış "Bay Füzyon" reaktörünün içine yerleştirdiği organik ve inorganik maddeleri (yani çöpleri) kullanarak arabasına yakıt ikmali yapıyor. Marty ve Jennifer arabanın içinde ve Doktor direksiyondayken Marty geri gitmeleri gerektiğini, çünkü önlerinde saatte 142 km hıza çıkacak kadar yol olmadığını belirtiyor (arabanın zamanda yolculuk mekanizmasının aktive olması için gereken hız bu). "Gelecek güneş gözlükleri"ni (ki 2015'te kimsede yoktu) takan Doktor yanıt verirken, DeLorean da bir uçan arabaya dönüşüyor: "Yol mu? Gittiğimiz yerde yola ihtiyacımız olmayacak."

Yirmibirinci yüzyıla geldiğimizde hâlâ uçan arabalarımızın olmasının sadece iki sebebi var: Fizik ve kimya.¹

Fiziksel engel, enerjinin korunumu prensibinden geliyor. Araba ağır bir cisim ve onu yerden birkaç cm kaldırmak bile potansiyel enerjisini 15.000 Jul yükseltmek anlamına geliyor. Karşılaştırma amacıyla söylersek, saatte 161 km giden bir beyzbol topunun kinetik enerjisi 140 Jul'dür. Aracı hâlihazırda var olan yol ya da ot-yollardan gerçekten bağımsız vaziyette kaldırmak için yüz kattan daha fazla enerji gerekir. Üstelik bu sadece arabayı kaldırmak ve bir uçuşuma kondurmak için gereken miktardır.

Aracı sürerken havada kalmasını sağlamak için aşağıya doğru sürekli bir kuvvet uygulamalısınız ki Newton'ın hareketin üçüncü yasası (etkiye tepki) sayesinde araba yukarıya doğru bir kuvvetle kütleçekimi kuvvetinin aşağıya doğru çekmesinin etkisini gidersin. Bir DeLorean için bu, yaklaşık 1,2 tonluk sabit bir kuvvetin aşağı doğru durmaksızın uygulanmasını gerektirir. Bu aşağı doğru kuvveti sağlamayı durdurduğunuz anda kütleçekimi sizi geriye, Dünya'ya doğru ivmelendirecektir. Bu kadar kuvvetin nasıl üretilbileceğini konuşmuştuk: İçten yanmalı jet motoru ile. Tek bir jet motoru bir otomobili kaldırmaya yetecek itme kuvvetini kolaylıkla sağlayabilir ve hayal edilen çoğu uçan arabada da normalde lastiklerin olacağı yerde böyle dört motor vardır. Bu havaya kalkan araçlar modern hava araçlarında kullanılan büyük kuzenlerinden muhtemelen daha küçük motorlara sahiptirler fakat bu tarz her bir motorun azalan itme kuvvetine karşılık bizim uçan arabamızda onlardan dört tane bulunduğunu varsayalım. Hollywood filmlerinde bu tip

1 Burada dikey havalanma ve iniş kapasitesine sahip uçan arabaları esas alıyorum, temelde küçük uçaklar olan, kanatları içeri çekilebilir araçları değil. "Uçan araba"nın bu ikinci türünün versiyonları aslında mevcut ama bilimkurgu filmlerinde ve çizgi romanlarda bahsedilen araçlar bunlar değil.

uçan arabalar hep geleneksel içten yanmalı motorlu otomobillerden daha sessiz araçlar gibi betimlenirler; gerçekte ise aracınızın dört köşesinde jet motorları olsaydı gürültüsü uçuş sırasında çok dikkat dağıtıcı olurdu ve en iyi gürültü önleyici kulaklıkların becerilerini bile zorlardı. Bu jet motorlarının egzosuna boğulan yayalar için de durum hiç hoş olmazdı.

Fakat kimyadan kaynaklanan ve uçan arabaların olmasını pratikte imkânsız kılan bir başka kısıtlama daha var. Az önce belirtildiği üzere, bir arabayı havada tutmak hatırı sayılır miktarda enerji gerektirir ve aracın bu enerji kaynağını kendisi ile birlikte taşıması gerekir.¹ Burada geleneksel otomobiller için önemli olan *enerji yoğunluğudur*.² Bir litre yakıtta ne kadar depolanmış kimyasal potansiyel enerji taşıyabilirsiniz?³

1 *Geleceğe Dönüş* filmlerinde bu enerji kısıtlaması kabul edilir ve hatta hikâyenin konusu da büyük oranda zaman makinesini çalıştıracak enerjinin (plutonyum ya da yıldırım şeklinde) elde edilmesi etrafında döner.

2 Vaclav Smil, *Energy: A Beginner's Guide*. Oneworld Publications, 2006, s. 15-16. Geleneksel yakıt kullanan uçan arabaların pratikte var olmasının imkânsızlığı hakkında bkz. James Kakalios, *The Physics of Superheroes: Spectacular Second Edition*. Gotham Books, 2009, s. 151-52.

3 Bir pound (453,59 gr) odun yaklaşık olarak 6,8 milyon Jul enerji ihtiva eder. (Enerjinin Jul olarak ölçülebildiğini hatırlayın. Buna göre rahat bir gezinti yapan ortalama bir insanın kabaca elli Jul kinetik enerjisi olacaktır.) Bu fazla görünebilir fakat kömür ve doğal gazın pound başına enerjisi bunun iki katıdır, benzinin ise pound başına enerjisi 20,5 milyon Jul'dür. Çok daha yüksek enerji yoğunluklarına sahip yakıtlar da vardır, hidrojen gazı (bağlanmış iki hidrojen atomundan oluşur) buna bir örnektir. Hidrojen, pound başına 52 milyon Jul ile benzinden daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir, bunun sebebi, kimyasal bağlarında depolanmış büyük miktardaki potansiyel enerji ile molekülün en düşük ağırlığının eşsiz bileşimidir. Ancak benzinin depolanması ve taşınması hidrojen gazına göre daha kolaydır (dolayısıyla daha ucuzdur) ve yaklaşık yüz yıl önce ilk içten yanmalı motorlarda özel bir yakıt kullanılmasına karar verildikten sonra, hidrojen "paranın karşılığı olarak" iki kat enerji vaad etmesine rağmen bunu değiştirmek basit bir iş değildir. (Benzinden yangın çıkması o kadar tehlikeli olmasına rağmen, para için gerçek bir patlama olması korkusu hidrojenle çalışan bütün arabalar için gerçek bir başka sorundur.) Smil, *Energy: A Beginner's Guide*, s. 16.

Geleceğe Dönüş'te uçan araba organik atığı "Bay Füzyon"un cihazı vasıtasıyla enerjiye dönüştürür. Muz kabukları ve bira gibi organik maddeler büyük oranda sudan oluşur ve su moleküllerinde bulunan hidrojen atomlarının belli bir kısmının da çekirdeğinde Baskın Kuvvet aracılığıyla bağlanmış fazladan bir nötron bulunur ve buna "döteryum" denir. Hidrojenin yerine döteryumun geçtiği H_2O moleküllerine "ağır su" adı verilir. İki döteryum çekirdeği iki proton ve iki nötrondan oluşan daha büyük tek bir çekirdekte birleştiğinde, bir helyum çekirdeğimiz olur.¹ Helyum çekirdeğinin kütlesi iki döteryum çekirdeğinden biraz daha azdır ve kütledeki değişim bu füzyon sürecinde büyük miktarda enerjiye dönüştürülür ($E = mc^2$ yoluyla). Bu nükleer füzyon güneşin merkezinde meydana gelir ve bütün enerjisinin kaynağı da budur (bu enerji Dünya'da Hidrojen Bombası ile yeniden üretilmiştir). Bir mutfak tezgâhına uyacak küçük bir cihazla aynı etkiyi elde edebilseydik gerçekten de Geleceğin Dünyası'nda olurduk ve uçan arabalar hayatımızdaki değişikliklerin en basiti olurdu.

Mesele uçan arabanızın yakıt temini için ne kadar enerji taşıyabildiği değildir sadece, aynı zamanda enerjinin ne kadar hızlı koyulabileceğidir de. Kuvvet enerji ile aynı şey değildir, daha ziyade enerji dönüşümü ya da kullanımın hızı ya da temposudur.

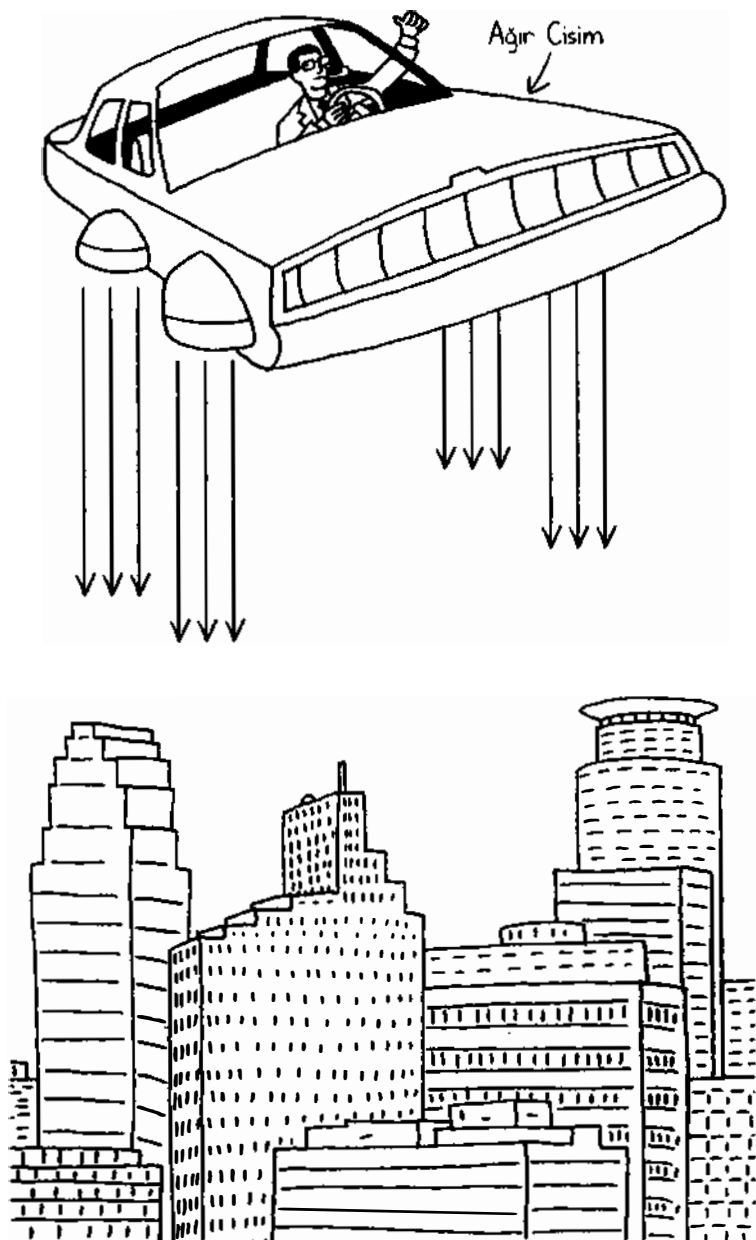
Eğer uçan arabanız olacaksa hızla enerji sağlayabilmek önemlidir. Hava direncinin ince havayla azaldığı 9 km'nin üzerindeki yükseklikte uçan uçaklardan farklı olarak bir uçan arabanın önündeki havayı itmek, dahası kütleçekiminin aşağıya doğru karşı etkisini dengeleyecek dikey bir kuvvet yaratmak için hatırı sayılır bir enerji harcaması gerekecek ve aracı varacağı yere götürmek için daha da fazlasına ihtiyacı olacaktır. Bir uçan araba

1 Charles Seife, *Sun in a Bottle*. Viking, 2008, s. 139-41.

için ideal güç kaynağı, hafif lityum pilin depolama kolaylığı ile birlikte kilogram başına yüksek enerjiye sahip olacaktır. Gün boyunca (ve bu kitapta) defalarca görünen bir cihaza ilişkin son araştırmalar sayesinde enerji depolama ve enerji dağıtımında çığır açan bir buluş gerçekleştirilebilir. Bu, günlük olarak karşılaştığınız teknolojinin büyük bölümüne temel teşkil eden basit bir yapıdır: Kapasitör.

Bir lityum pilinde elektrik enerjisini sağlayan iyonlar atomların hareketiyle bağlantılı kimyasal reaksiyonlar yoluyla üretilir. Bir lityum iyonu, tek bir elektrondan 12.000 kat daha ağır çeker. Depolanan elektrik yüklerinin iyonlarla bağlantılanmasını sağlamak yerine ağır çekirdekten kurtulup elektrik enerjisini depolamak için hafif elektronları kullanmak daha verimlidir. İşte kapasitör de tam olarak bunu yapar. Ek bir faydası da bir kapasitörün üzerinde depolanmış yüklerden bir akım çektiğinizde elektrik sinyalinin neredeyse ışık hızında, lityum pil elektrotlarını şarj eden kimyasal reaksiyonlardan çok daha hızlı hareket etmesidir. Dolayısıyla bir kapasitör tarafından sağlanan güç (yani sağlanan enerjinin oranı) çok yüksektir. Ancak kapasitörler depolayabildikleri toplam enerji miktarı açısından yetersiz kalırlar. Daha yakın zamana kadar bir kapasitörde erişilebilen en iyi enerji yoğunlukları (kilogram başına Jul), en iyi lityum-iyon pillerindekinden 1.000 kat daha azdı.¹ Bir başka ifadeyle, bir pilden daha hızlı deşarj olabilseler ya da şarj edilebilseler bile uçan arabalar (ya da hatta sıradan olanlar) için güç kaynağı olarak pratik değillerdi.

1 Örneğin bkz., B. E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*. Springer, 1999; Hector D. Abruna, Yasuyuki Kiya ve Jay C. Henderson, "Batteries and Electrochemical Capacitors", *Physics Today* 61, 43, 2008.



ŞEKİL 7

Geliştirilmekte olan yeni kapasitörler, tutabildikleri elektrik enerjisi miktarını önemli ölçüde artırarak bunu tümünden değiştirebilir. Bu kapasitörlerde, levhalar çok ince (yaklaşık bir milimetrenin onda biri) incelikte karbon tabakası ile kaplıdır. Kimyasal yöntemlerle bu karbon kabartılınca düz, pürüzsüz bir yüzey yerine bir İngiliz çöreğinin içinin girintili çıkıntılı iç kısmına benzetilebilir. Bu karbona “aktive edilmiş” denir.¹ Yük depolama gibi, malzemenin yüzeyinde devam etmekte olan her süreç, yüzeyde reaksiyon vereceği daha fazla yerin olması ile büyük ölçüde geliştirilecektir. Kapasitörün aktive edilmiş yüzeylerle dolu etkin yüzey alanı artık düz metal levhanınkinden yaklaşık 10.000 ila 100.000 kat daha büyüktür ve depolanan yük yoğunluğu da buna mukabil artmıştır. Buna ek olarak aktive edilmiş karbon kaplı metal levhalar arasındaki mesafe, hem pozitif hem de negatif yüklü iyonlar ihtiva eden, elektrolit adı verilen bir sıvı ile doldurulmuştur. Elektrolit, iyonik yükleri hemen levhaların yanına yığarak yüklü levhaların etkin aralığını kabaca bir atom uzunluğuna indirir ve bunun sonucunda iyon katmanla elektron katmanı arasındaki elektrik alanını büyük oranda artırır. Bu tip cihazlar, teorik olarak, karşılaştırılabilir büyüklükteki normal kapasitöre göre on milyon kat daha fazla elektrik enerjisi depolayabilirler ve bunlara “ultra kapasitörler” ya da “süper kapasitörler” denir.²

Süper kapasitörlerin temel fizik kuralları, 1960’lı ve 1970’li yıllardan bu yana bilinmesine rağmen, malzeme biliminde 1990’lardan bu yana sağlanan ilerlemeler onların güç yoğunluklarını arabada (karada giden türleri) kullanım için gereken seviyelere yaklaştırmış-

1 Elzbieta Frackowiak ve François Beguin, “Carbon Materials for Electrochemical Storage of Energy in Capacitors”, *Carbon* 39, 937, 2001.

2 Joel Schindall, “The Charge of the Ultra-Capacitors”, *IEEE Spectrum* 44, 42, 2007; Phillip Ball, “A Capacity for Change”, *MRS Bulletin* 37, 1000, 2012.

tır. Mevcut süper kapasitörlerin enerji yoğunluğu bir lityum iyon pilininkinin kabaca yüzde beşidir ve bu enerjiyi bir saniyeden kısa sürede, lityum iyon pile kıyasla kütle başına yaklaşık on kat büyük bir kuvvet yoğunluğunda ya da enerji temposunda verir. Bir süper kapasitör saniyeler içinde (çok kısa mesafelerde iyon difüzyonuyla sınırlıdır) şarj olur, geleneksel lityum pilin şarj olması ise bir saat sürer. Kapasitörün içinde hiçbir kimyasal reaksiyon meydana gelmediğinden, terminaller bozunuma uğramaz ve bu tip yük depolama cihazlarının ömrü enerji sağladığı araba ya da kamyonunkini aşacaktır. Ulaşım için temel güç kaynağı olarak hizmet vermeye hazır olmasalar da daha süper kapasitörler şimdiden büyük bir enerji patlaması gerektiren özel durumlarda kullanılıyorlar; bazı otobüs ve kamyonların bir tepeye çıkarken ivme artırmaları ya da jet uçaklarının acil durum kapılarının hızla açılması gerekir. Ve pek ihtimal verilme de belki bir gün bu cihazlarda yeterince enerji depolanabilecek ve böylelikle biz de yolların tiranlığından kurtulacağız.

Gün boyunca fizik yasalarına güvündünüz, en eskisinden en yenisine. Enerjinin korunumu ilkesi yaşamımızın bütün yönlerini yönetir. Elektrik akımlarının manyetik alanlar yarattığı ve manyetik alanlardaki değişimlerin elektrik akımlarına sebep olduğu elektromanyetizmanın temel prensipleri kadar önemlidir neredeyse. Maddenin ve ışığın özelliklerinin atomik ölçekte incelenmesi kuantum mekaniğinin gelişmesini sağladı, o da kimya ve katı hâl fiziği alanında güçlü uygulamaları mümkün kıldı. Aynı temel kavramlar gün boyunca tekrar tekrar kullanıldı ama bu onu hiçbir şekilde sıradanlaştırmadı.

Uzaktan kumandanın düğmesine basıp OLED düz panel televizyonun yaydığı organik ışığı kapatıyorsunuz. Akıllı telefonunuzun LCD'si

zerindeki dokunmatik ekrana hafifçe dokunarak yarın sabah dönüş uçağına yetiecek şekilde uyanmak için alarmı kurup kurmadığınızı kontrol ediyorsunuz. Alarm için telefonun bilgisayar belleğinde kayıtlı bir melodi seçiyorsunuz; bu, Bulut'tan indirdiğiniz bir arkından bir parça. Aklınızda hâlâ filmin sonu, bir gün uçan arabanız olup olmayacağını merak ederek ve bilimin mucizelerine mteekkiri uykuya dalıyorsunuz.

Teşekkürler

Gündelik hayatımızda kullandığımız teknolojinin kullandığı temel fizik ilkelerini açıklayan bir kitap fikri Crown'daki ilk editörüm Roger Scholl'un bir önerisiyle başladı. Yetenekli Domenica Alioto ortaya çıkan beceriksizce yazılmış taslağı haklı bir şekilde ciddi bir budamadan geçirerek yönlendirdi. Kitapta bir kişiyi farazi bir gün boyu izlemek Domenica'nın fikriydi; kitabın yapısını tarif etmek için "hikâye tarzında fizik" terimini uydurdu. Domenica uygun olmadığında editörlük dizginlerini Claire Potter eline aldı ve kitabın tamamlanmasına yardım etti. Bu üç editöre ve düşünceli katkıları için redaktör Lawrence Krauser'e çok müteşekkirim. Tabii yazımın bu kadar yetenekli ve kendini adanmış çalışanların dikkatini gerektirmesi de beni endişelendirdi. Ayrıca tüm bu macerayı başlatan ve bu uzun süreçte müthiş destekleyen ajanım Jay Mandel'e de teşekkür ediyorum.

Bu kitabı yazmanın verdiği zevklerden biri de kitapta "siz" olarak geçen kendimi çeşitli işleri yaparken gözlemlemek ve öylece gözümün önünde olmasına rağmen nadiren fark ettiğim teknolojiyi gör-

mek oldu. Böylece bu cihazların nasıl çalıştıklarını inceleme fırsatım oldu ve derinden takdir ettim. Burada ele alınan cihazların birçoğunu araştırırken çoğu zaman ilk adımım kitaplığımdan Professor Louis Bloomfield'ın mükemmel kitabı *How Everything Works*'ü almak, hemen ardından www.howstuffworks.com ve www.explainthatstuff.com web sitelerini ziyaret etmek oldu. Meslektaşlarımla, özellikle de John Broadhurst, Paul Crowell, Michel Janssen ve Chris Kim ile sohbetlerimizden de çokça yararlandım. Brian Skinner ve C. C. Huang cihazların bir kısmı hakkında yazılan metinde yol gösterdiler ve E. Dan Dahlberg, Aaron Wynveen, Doug Kohrs ve Carolyn Kohrs, taslağın çeşitli aşamalarında çok zarif bir şekilde baştan sona okudular. Sağladıkları katkı nihai metni büyük ölçüde iyileştirdi ve hata ya da kafa karıştırıcı noktalar kalmışsa bunlar benim sorumluluğumdur.

Ayrıca eşime ve aileme borcumu asla ödeyemem. Eşim Therese cesaret verdi, destekledi ve çok sabırlıydı. O olmasaydı bu kitap yazılamazdı. Tüm yazma süreci boyunca verdiği ilham ve geri bildirimin yeri doldurulamaz ve sevgisi için her gün şükrediyorum. Tatlım, hadi yürüyüşe çıkalım.

Şekil Altyazıları

Şekil1:

Pozitif yüklü çekülün ileri geri sallandığı bir sarkaç eskizi. (a) Çekül solda en tepede olduğunda hiç kinetik enerji yok ama potansiyel enerji maksimum seviyede ve akım yok (yük hareket etmiyor). (b) Çekül en alt noktadayken büyük bir kinetik enerjisi var ama hiç potansiyel enerji yok. Sağa doğru büyük bir elektrik akımı var. (c) Çekül sağda, en üst noktada, yine hiç kinetik enerji yok ama potansiyel enerji yine maksimumda ve hiç akım yok. (d) Çekül salınımının orta noktasında sola doğru hareket ederken biraz kinetik ve biraz potansiyel enerji var, sola doğru bir elektrik akımı var ve bu da yük hız kazanırken ve yön değiştirirken değişime uğruyor.

Şekil2:

Bir radyo vericisinin ve alıcının eskizi. Bir elektron akımı vericiden yukarı aşağı sallanır (*üstte*) ve akımın sallanması ile aynı frekansta bir elektromanyetik dalga yaratır. Bu dalga metal antenle kesiştiği zaman (*altta*) metalin içindeki elektronların dalga ile aynı frekansta olmasına neden olur. Bu fizik prensibi E-ZPass sisteminde, garaj kapısı açıcısında ve anahtarsız uzaktan giriş sisteminde kullanılır.

Şekil 3

Bir X ışını tarama eskizi. Üstteki çizim bir X ışını tüpünü gösterir. Burada bir elektron akımı soldaki bobinden sağdaki levhaya doğru çekilir. Elektron akımının ani yavaşlaması “X ışınları” denilen yüksek frekanslı elektromanyetik dalgaların oluşmasına yol açar. Bu X ışınları ayak bileğinize geldiğinde vücudunuzdaki atomlarla etkileşime girerler. Atomun ne kadar fazla elektronu varsa X ışınlarını kendi yollarından o kadar güçlü bir şekilde yayar. X ışınları kemik tarafından saptırılır fakat dokunun içinden geçer. Böylece detektör levha kemiklerin bulunduğu yerler haricinde yüksek bir X ışını akışı kaydeder.

Şekil 4

Dokunmatik ekranda kullanılan paralel levhali kapasitör eskizi. Şeffaf iletkenin iki levhası ince bir yalıtkan ile ayrılmıştır. Parmak ucunuzdaki fazla elektrik yükleri, dokunduğunu noktada kapasitör levhaların üzerindeki yük yoğunluğunu değiştirir.

Şekil 5

Uçak kanadının, havanın kanadın yanından geçişini gösteren enine kesit eskizi. Kanada alttaki yüzeye çarpan havanın aşağıya doğru sapmasını sağlayacak şekilde aç verilmiştir ve Newton’ın üçüncü yasası (kuvvetler çiftler hâlinde gelir) sayesinde, hava kanadın alt kısmının üzerine eşit ve ters yönde yukarı doğru (“kaldırma” denir) bir kuvvet uygular.

Şekil 6.1

Sıvı kristal ekran (LCD) pikseli eskizi. Üstteki çizimde, polarize olmamış beyaz ışık dikey bir polarizörün içinden geçer; bu polarizör de ışığı dikey düzlemde salınan elektrik alanıyla geçirir. Işığın polarizasyonu sıvı kristal molekülleriyle döner, böylece ışık yatay düzlemdeki ikinci polarizörün içinden geçebilir. Altteki çizimde elektrik alanı levhalar

için şeffaf kondansatörleri bulunan bir kapasitör kullanılarak hücreye uygulanır. Sıvı kristal bu defa yatay düzlemin içine dönmediği bir faza geçer, böylelikle polarize olan ışık ikinci polarizörün içinden geçemez ve piksel artık kararır.

Şekil 6.2

P-n kesişimi yarıiletken (diyot) eskizi. Üstteki çizimde, soldaki elektron fazlası bulunan (n tipi) yarıiletken ile sağdaki delik fazlası (p tipi) bulunan yarıiletken arasında gömme bir elektrik alanı vardır. Kesim yerine bu gömme elektrik alanının karşıt yönünden bir akım geçmeye zorlandığı takdirde, kesişim yerinde elektronlar deliklerin içinden düşerek enerjilerini düşürür ve ışık fotonları salarlar; bu ışık yayan bir diyottur. Aşağıdaki çizimde, bu sürecin tersi gösterilmektedir. Cihazın üzerine ışık gelir ve elektronlar alttaki dolu banttan üstteki enerji olmayan banta yükseltilince alttaki hâl bantlarında delikler bırakırlar. Diyodun gömme elektrik alanı bu defa elektronları sola ve delikleri de sağa doğru iter; ışık emildiğinde bir akım oluşur. Bu bir fotodiyot ya da güneş pilidir.

Şekil 7

Tekerleklerin yerinde dört küçük jet motorunun bulunduğu bir uçan araba. Böyle bir araç yapmanın zorluğu, yeterince yüksek yoğunluğa sahip olan ve yolculuğun birkaç dakikadan fazla sürmesini sağlayacak kadar yakıtı taşımaktır.

Dizin

A

ağırlıklar, yaylar, 15-16
akıllı fitness bilekliği, 157, 160
akıllı tabletler, 62-64, 108, 118, 122, 130, 137, 150
akıllı telefonlar, 19ⁿ, 62, 77, 94, 105, 108-09, 113-18, 125, 145, 149, 172
müzik üretimi, 19-21
zamanı saptama, 15-19
akış, trafik, 46-49
akış, X ışını, 72
alan etkili transistör (field effect transistor veya FET), 128-29, 130-31
alfa parçacıkları, 154
alternatif akım (A.C.), 12-14, 17, 22, 23-24
altın, 70
amorf silikon transistörler, 171
amorf yarıiletkenler, 135-36, 171ⁿ
Amper Yasası, 12
amplifikatörler, 115-16
ana bilgisayar / sunucu bilgisayar, 63, 65
anahtarsız uzaktan kontrol giriş sistemi, 42-43, 52-55, 87, 165-66

analog format, 63-64
anharmonik, 66, 163
antenler, 43, 44, 45, 50, 165
armonik salıngaçlar, 158
bkz. sarkaçlar/çeküller; yaylar
asansörler, yüksek hızlı, 57-61, 157, 161
ATM'ler, 88-91, 96, 137
atomlar,
çekirdeği, 152-53, 154ⁿ
insan vücut hücrelerinde, 161-62
katışkılarda, 140, 142
titreşimi, 16-17, 27, 67, 118

B

bakteri, 154-55
barkod okuyucular, 140, 145
baskılı devreler, 167
Baskın Kuvvet, 152, 176
baz istasyonları, 150
bellek çipleri, 15, 19, 115
kredi kartlarında, 83-84, 87-88
benzin, 36-38
beta parçacıkları, 154, 155ⁿ
beyaz ışık, 137-38, 171

bilet gişeleri, 42-46, 165
bilgisayar belleği, 114, 117, 128, 130, 133, 181
bellek bankasında muhafaza edilen sunucular, 118-19
USB bellekler, 127-31
bilgisayar çipleri, 14-15, 18, 113-14, 118, 130, 163-64, 165
bilgisayar destekli tomografi (CAT veya CT taraması), 72-73
bilgisayar işlemi, 18- 19, 64-65
bilgisayar teknolojisi, 63-64
ısı yönetimi, 118-19
Blu-Ray oynatıcılar, 140, 145
Brady, Mathew, 116
buhar makineleri, 29
buhar, 14n, 29
buharla soğutma, 29-30
Bulut veri depolama (Bulut), 117-19, 125, 181
buzdolapları, soğutma, 28-31

C-Ç

cam, 99-100, 169
iletkenliği, 89
LCD ekranlarda, 137
yalıtımı, 128, 129
CD okuyucular, 145
cep telefonları, 52, 97, 135, 148, 152, 180-81
cıva, 66-67
çözünürlük, fotoğrafla ilgili, 116

D

değişken zamanlı tapa, 50-52
delikler (eksik elektronlar), 99, 100, 114, 140-43, 171
denge, 17
detektörler, detektör plakalar, X ışınları için, 71, 72, 96, 98-101
dijital format, 63-64

dijital fotoğrafçılık, 113-17, 133, 143
dijital zamanlayıcılar, 9-15, 22
dirençli algılayıcı, 89-90, 91
dirsek, 159
diyapozon, 53
dizüstü bilgisayarlar, 19n, 62, 74, 101, 130, 135
doğru akım (DC), 22, 24
doğrusal ivme, 61
dokunmatik ekranlar, 64-65, 88- 93, 92, 114, 137, 139, 180-81
dönme hızı, 61
dönme-titreşim enerjisi, 169
dönüştürücüler (transformatörler), 24
dövmeler, MRI, 77, 78
duvar tipi elektrik prizleri, 12-14, 16, 22, 23, 24, 94, 129
düz panel ekranlar, 136, 137, 170-73
düzensiz katı cisimler, 134-35
DVD oynatıcılar, 140, 145

E

e-biletler, 83
E-ZPass cihazı, 42-46, 52, 53, 87, 165
Einstein, Albert, 40-41, 40n, 78
ekmek kızartma makineleri, kızartma, 25-27, 28, 43, 67, 69, 143
ekran kalemi, 90n, 93
el telsizleri, 42-43
elektret mikrofön, 148-49
elektrik akımı, 13, 23, 25-28, 30, 35, 128, 132-33, 167-68, 185
manyetik alanların oluşması, 11, 20-21, 27, 59, 69, 94, 123-24, 130-31, 144, 161, 180
şalterlerde, 85, 118
elektrik alanları, 11, 17-18, 27, 45, 137, 139, 152
elektrik dipolları, 149
elektrik direnci, 27-28, 67-68, 112, 128, 133, 160, 167

elektrik geri itmesi, 34
elektrik santralleri, 12, 24, 129, 130
elektrik şebekesi, 11
elektrik yükü, 11, 34, 89-90, 103,
128, 131-32, 152-54
dijital fotoğrafçılıkta, 113-15
yarıiletkenlerde, 140-43
elektrik, 16n
atomlarda elektrik kuvvetleri, 17-
18
iletimi, 25-26
elektrikli diş fırçası, 21-24, 37, 94, 165
elektrikli motor, 22-24, 30, 38, 58-59
elektro-kimyasal aküler, 33-35
elektrolit, 51, 179
elektromanyetik dalgalar, 11, 12, 25,
27, 43, 45, 50, 52-53, 69, 74, 94,
97, 99, 139, 150, 152, 162, 180
elektromıknatıslar,
asansör teknolojisinde, 59-60
MRI'da, 77
pasif giriş sistemlerinde, 166
yüksek hızlı trenlerde, 122-25
elektronlar, 25-26, 89-90, 123
hareketleri, 99-100, 113-14
titreşimleri, 44, 162
elektron-volt, 150-51
elektrotlar, 23, 35
elmas kristal kafes, 134
empedans uyumlama, 76
enerji yoğunluğu, 175
enerji, 12, 176
enerjinin korunumu, 10, 24n, 37,
174, 180
eşdeğerlik ilkesi, 61
kütleçekim ve ivmenin eşdeğer-
liği, 40-41

F

Faraday Yasası, 12, 86
faz geçişi, 29-31, 137

fiber optik kablo, 93, 93n
film fotoğrafçılığı, 116
fotodetektörler, 43, 46, 160
fotodiyotlar, bkz. güneş pilleri
fotokopi makineleri, 131-36
fotonlar, 78-80, 100, 113, 116-17, 143,
151, 171
eş fazlı, 144-45
frekans modülasyonu (FM), 44
frekans,
elektromanyetik dalgalarda, 12,
22, 44
ışık dalgalarında, 78-79
ses dalgalarında, 20-21, 52-54,
64, 74-76, 120
frenler, frenleme, 60-61

G

gamma ışınları, 43-44, 151, 154, 155n
garaj kapılarını açan sistemler, 42-
43, 53, 87
geçit elektrodu, 130
genlik modülasyonu (AM), 44
geri saçılım, 96-98
görelilik,
genel görelilik kuramı, 40-41, 61
özel görelilik kuramı, 41-42, 78
görünür ışık, 43-44, 51, 52, 69, 76,
91, 97, 99-100, 116, 132-33, 167
GPS uyduları, 38-41
güneş gözlükleri, polarize, 139n
güneş pilleri (fotodiyotlar), 113-14,
128, 136, 141, 143, 187
gürültü önleyici kulaklıklar, 120-22,
149, 175
güvenlik, 164, 165n
dijital kodlama, 54-55, 64, 87-88
havaalanı, 94-101

H

hafif raylı sistem, 122-25

hareket sensörleri, 161-64
hareket,
 hareketin ikinci yasası, 158
 hareketin üçüncü yasası, 110, 112,
 174
hava direnci, 103, 112
havaalanları, 61-62, 93-94, 95-104,
 150
havalanma / uçağın yerden kalkması,
 110, 111, 111-112, 186
helyum, 107, 109, 176
hesap ödeme sistemleri, 44, 52, 164
 bkz. kredi kartları
hızlı yanıt (QR- Quick Response)
 kodu, 93, 105, 145
hibrid otomobiller, 33-38
hidrojen bombası, 176
hidrojen, 79, 107, 161, 169
hoparlörler, 19-21, 44, 63, 87*n*, 120,
 145-46, 150

I-İ-J

ısı,
 bilgisayarlarda ısı yönetimi, 118-19
 fotokopi makinelerinde, 131-32
 hareket algılamada, 161-64
 ısının çekilmesi, 28-31
 ısının üretimi, 25-28, 29, 38, 44,
 60-61, 78
 iletimi, 66-67
 kızılötesi ışınlar ve ısı, 168
ısı iletimi, 25-28, 66-67
ısı kontrolü, bilgisayarlarda, 118-19
ışığın kırılması, 91-93, 93*n*,
ışık dalgaları, 69, 97, 116, 133, 160
 bütün elektromanyetik dalgalar, 43
 ışığın bükülmesi, 91-93
 üretimi, 27
ışık sensörleri, 115-16
ışık yayan diyot (güneş pilleri, foto-
 diyotlar), 113

ışık, 78-79
 fotokopi teknolojisinde, 131-133
 geri sürüklemeye, 91
 ışık hızı, 40-41, 46, 177
 LED, 142-43
ışıklı radar (radarın görünür ışıklı
 versiyonu), 51
ışınlama, 155, 155*n*
İç Savaş fotoğrafçılığı, 116
içten yanmalı motorlar, 29, 33-38,
 112, 174-75, 175*n*
ikili sistemler (iki tabanlı), 64, 85-87
bilgisayar belleği deposunda, 127-
 30
 dijital fotoğrafta, 114-15
iletkenlik, 25-28, 30, 51, 66-68, 89,
 132
indiyum-kalay oksit, 96, 139
indüklenmiş radyoaktivite, 155*n*
insan vücudu, 52
 hareketin algılanması, 161-64
 insan vücudundaki su, 70
 üzerindeki ivme etkisi, 61
 vücuttaki elektrik yükü, 91
ivmelenme, 40, 61, 158, 180
ivmeölçer, 59-60, 158-160
iyon hareketlilik spektrometresi, 102-
 04, 150, 154
iyonik bağlar, 35-36
iyonlar, 35, 106-07, 177, 179
iyonlayıcı radyasyon, 150-51, 154
jet motorları, jet uçakları, 112, 174-
 75, 180
Jul, 27, 174, 175*n*, 177
Jul ısıtma, 27

K

kablosuz yönlendiriciler, 62
kahve makineleri, 9-15, 18
kaldırma kuvveti, 109-10
kanserin tespiti, 80-81

- kapasitörler,
 dijital fotoğraflarda, 114-16
 dokunmatik ekran teknolojisinde,
 89-90, 92, 93, 114
 enerji depolamada, 176-77, 179-
 80
 ivmeölçerlerde, 159
 mikrofonlarda, 146-47, 148
 transistörlerde, 128
- karbon kâğıdı, 84, 131, 135
 karbon tanecikli mikrofon, 146-47
 karbon, 70, 100, 134, 136-37, 169_n, 179
 karbonsuz kopyalar, 84
 karşı ağırlık, 57-58
 katı hâl teknolojisi, 180
 bant yapısı, 99, 141, 168
 transistörler, 170
 katışkı atomları, 140, 142
 kayar nokta kapılı alan etkili transis-
 törü, 130-31
 kılıf, fiber optik kablolar, 93_n
 kırılım imleci, 92-93
 kırmızı ışık, 43, 69, 171
 kırmızı ışıklı yarıiletken lazerler, 145
 kızılötesi ışınlar / kızılötesi ışıma,
 28, 43, 52, 93, 100, 116, 145, 161,
 163-64, 167-69
 kızılötesi spektrum, 169
 kızılötesi yarıiletken lazerler, 145
 kimyasal bağ, 67, 150-51, 162, 163,
 175_n
 kinetik enerji, 10-11, 13, 17, 22, 27-
 28, 29-30, 33, 36, 38, 69, 112,
 137, 151, 154, 168, 174, 175_n, 185
 kol saatleri, dijital, 17
 kondansatör mikrofonlar, 148-49
 kredi kartı okuyucuları, 51, 86-87,
 145, 166_n
 kredi kartları, 78, 83-88
 kristal yapılar, 134-135
 kristal yarıiletkenler, 134-35
- kserografi, 131
 kuantum mekaniği, 25, 37, 78, 123,
 161-62, 168-69, 180
 kulak zarı, 60-61, 121
 kulaklıklar, 21, 119-20, 122
 kurdele mikrofonlar, 148-49
 kurşun,
 akülerde, 107
 X ışını korumalarında, 70
 kutuplaşma, 12, 21, 23, 76, 77, 79
 mıknatıslarda, 84-87, 123-25
 kuvars kristalleri, 17-19, 23, 149
 küresel konumlama sistemi (GPS),
 38-42, 50
 kütleçekim, 40-42, 61, 174, 176
- L**
 lazer tarayıcılar, 145
 lazerler, 93_n, 140-45
 LCD (liquid crystal display; sıvı kris-
 tal ekran),
 projektörler, 136-39, 138, 170,
 180-81, 186-87
 televizyonlar, 170-72
 LED (light-emitting diodes; ışık ya-
 yan diyot), 93, 113, 128, 140, 141,
 142-44, 160, 164, 167, 171-72,
 186-87
 lityum piller, 105-08, 166, 176-77,
 180
- M**
 makaralar, 58, 60
 manyetik alanlar, 11-12, 20-22, 23-
 24, 43, 45, 148-49, 152
 atomların manyetik alanları, 77,
 79-80, 123
 elektrik akımı prensibi ve man-
 yetik alanlar, 11, 20, 27, 59, 69,
 94, 124-25, 131, 143, 161, 180
 manyetik bant, 87_n

manyetik indüksiyon, 24
 manyetik itici güç, 124
 manyetik levitasyon (maglev) trenleri, 124-25
 manyetik rezonans görüntüleme (MRI), 77-81
 manyetik şeritler, 83-87, 145, 166n
 mavi-mor ışıklı yarıiletken lazerler, 145
 megafonlar, 147
 Megapikseller, 64, 116-17
 MEMS (mikro elektrik mekanik sistemler; micro-electrical mechanical systems), 159n
 metal detektörler, 93-96, 98
 metaller,
 iletkenlikleri, 25-27, 30, 67-68, 132, 146
 kimyasal olarak aktif, 106
 MRI ve metaller, 78
 silahlarda, 100
 mıknatıslar, 20-21, 59
 bilgi depolamada, 84-85
 mikrofonlarda, 148-49
 yüksek hızlı trenlerde, 123-25
 mikroçipler, silikon plakada, 135
 mikrodalga fırınlar, 151-52
 mikrodalgalar, 43-44, 69, 96-97, 164
 mikrofonlar, 120, 122, 145-49
 milimetrik dalgalar, 96-98
 moleküller,
 hareketleri, 168-69
 organik moleküller, 161-62
 MP3 oynatıcılar, 20
 mürekkep püskürtmeli yazıcılar, 133, 173
 müzik, 19-21

N

nabız sayısı görüntüleme, 160
 negatif iyonlar, 35

nematik faz, 137
 Newton, Isaac, 110, 112, 158, 174, 186
 nikrom, 26-27
 nötronlar, 79, 123, 152-54, 155n
 n-tipi yarıiletkenler, 140-45
 nükleer füzyon, 176
 nükleer manyetik alanlar, 77-78

O

oditoryum benzetmesi, katı hâl teknolojisi için, 99-100, 113-14, 132, 140, 141, 142, 144, 168-69, 171
 OLED (organik ışık yayan diyotlar; organic light-emitting diodes), 170-73, 180
 otomatik park eden arabalar, 50-52, 75
 otomobiller, 50-52, 76, 112
 hibrid, 33-38
 içten yanmalı, 33-34, 36-38
 tamamen elektrikli, 123
 uçan, 173-79

P-R

paralel levhalı kapasitörler, 90-91, 186
 pasif kart giriş sistemi, 165-66
 patlayıcı iz detektörü, 101-04, 150, 154
 pervaneler, 110, 112
 piezoelektrik kristalleri, piezoelektrik, 16-18, 22, 53-54, 76, 133-34, 160, 163
 pikseller, 64, 99, 100, 113, 115, 116, 118, 133, 137, 139, 169, 170-72
 piller, 19n, 129, 145, 148
 alkali, 35n, 106
 lityum, 105-08
 şarj edilebilir, 22-24, 36, 38, 94, 165, 180
 piroelektrik detektörler, 163
 pistonlar, 36-37

plastik, elektrik yalıtkanı olarak, 23
p-n bağlantısı yarıiletkenleri, 141,
143-44
polarizörler, ışığın polarizasyonu,
137, 138, 139, 149, 163, 186-87
potansiyel enerji, 10, 13, 162, 174-
75, 185
pil deposunun potansiyel enerjisi,
22, 33-34
protonlar, 79, 123, 152-54
p-tipi yarıiletkenler, 142-44
radar, 50-51
radyasyon/ışınma,
elektromanyetik ışıma, 69
tehlikeleri, 154-55
yayılımı, 150-51, 152-55, 161
bkz. iyonlayıcı radyasyon
radyo dalgaları, 39, 43-44, 45, 52-54,
69, 94, 151, 152, 185
frekans ayarlanması, 78-80
kredi kartı okuyucularda, 87-88
otomatik park eden araçlarda, 50
pasif giriş sistemlerinde, 166
wi-fi'de, 63
radyo dalgası alıcıları, 44, 50-51, 52-
53, 87, 165
radyolar, 42-43, 97, 148
ray frenleri, asansörlerde, 60
renk,
dijital fotoğrafçılıkta, 116
görünür ışıktaki, 97
LCD projektörlerde, 139
LED ve OLED ekranlarda, 171-72
X ışını tarayıcısında, 98, 100-01
rezonans, 52-53
RFID çipleri, 87-88

S-Ş

saatler, 41, 158, 181
bilgisayar saatleri, 115
mekanik saatler, 11, 16

sabit telefonlar, 44n, 63-64, 146-47
sarkaçlar/çeküller, 9-11, 12, 13, 14,
23, 27, 53, 158, 185
ses dalgaları,
dalga boyu, 51, 75-76
ses dalgalarının voltaja dönüşme-
si, 146-47
sıfırlama, 121-22
ultrason teknolojisinde, 74-77
üretimi, 19-21, 44, 121-122
sıcak hava balonları, 109
sıcaklık, 17, 29
sıcaklığın ölçümü, 65-67
insan vücut sıcaklığı, 162-64
termal enerji, 136-37
sıvı kristal ekran (liquid crystal display,
LCD) teknolojisi, 68, 136-39, 138
silikon çipler, 113-14, 119, 159
silikon dioksit, 17, 149, 169
silikon, 128-29, 135-36
sintilatör, 100
slayt projektörleri, 136
soğutucular, 30-31
solenoidler, 166
su, 176
elektrik yalıtımı, 23-24
iletkenliği, 90
insan vücudunda, 70, 79
kinetik enerji, 162-63
lityum, 105
mikrodalga pişirme, 151
OLED'ler, 172-73
sülfürik asit, 35
süper kapasitörler, 179-80
sürtünme ısısı, 60-61
şarj edilebilen piller, 22-24, 35, 38,
94, 165, 180

T

tarayıcılar, 133, 134, 136, 145
televizyon, 97

düz panel, 170-73
uzaktan kumanda, 166-69
temassız kartlar, 164-66
tepki verme süresi, otomobil kullanıcılarında, 48
terminaller, pillerde, 35, 106-08
termodinamik, 25-27, 28-29
termokupl, 67-68
termometreler, 65-68
tetrafloretan, 30
toner, 132-33
toplam iç yansıma, 93
trafik tıkanıklığı, 46-49, 46n
transistörler, 19, 114, 128-31
LED, 170-73
sıcaklık, 118-19
trinitrotoluene (TNT), 102-04
TSA güvenlik, 93, 96-104, 150, 154

U

uçaklar, 60-61, 180-181
ses dalgaları, 121-22
uçuş prensipleri, 109-112, 111, 176, 186
uçaksavar topu, 51
uçan arabalar, 173-80, 178, 180, 187
uçuş prensibi, 109-12, 111, 186
ultra kapasitörler, 179-80
ultrason görüntüleme (sonografi), 74-77, 93, 161, 163
ultrasonik dalgalar, 51
ultraviyole ışık, 43-44, 69, 99, 151, 169
USB bellek, 127-31
uzaktan kumanda, 166-69, 180
uzay-zaman bükülmesi, 41-42

V-W-X

vakum tüpü, 69
vınlama, elektrikli diş fırçaları, 22

voltaj darbeleri, 63-64
voltaj, 12-14, 18, 20-21, 24, 26, 35, 51, 53, 67, 69, 76, 103, 128-29, 133, 139, 159, 163
dijital fotoğrafçılıkta, 114-15
gürültü önleyici, 122
pil üretimi, 107, 145
ses dalgalarının voltaja dönüşmesi, 146-47
vücut tarayıcı, 96-98
Wheeler, John Archibald, 41, 41n
wi-fi (kablolu ağ), 61-65, 150, 166
X ışını taramaları, 96-101
medikal, 68-73, 72, 136, 186
X ışınları, 43-44, 151, 155, 155n
saçılımı, 69-72, 96-98, 100-101
Xerox makinesi, 132n, 136

Y-Z

yaka mikrofonu, 148-49
yakın alan iletişimi, 87-88
yakıtlar, 14n, 29, 36-38, 112, 175n, 176
yalıtkan, elektriksel, 23
yalıtkanlar, 90, 128, 132, 146
yarıiletkenler, 63, 67-68, 89, 99-100, 116, 131-36, 144-45, 159-60, 163, 167
oditoryum karşılaştırması, 99-100, 113-14, 133, 140, 141, 143
yarılanma süresi, 153
yaylar, zaman saptama cihazlarında, 16-17
yazıcılar, 133
yedekli sistem, güvenlik açısından, 59
yok edici müdahale, 120
yük aktarmalı devre prensibi, 114-15
yüksek hızlı trenler, 122-25
yükten bağımlı cihaz (charge-coupled device veya CCD), 115-16, 133

zaman saptama cihazları, 9-19, 22,
28, 41-42
zaman, kütleçekim, 40-42
zeplinler, 109-10

Çok satanlar listesine giren kitapların ve canlı öykülerin yazarı, fizik profesörü James Kakalios, gündelik hayatımızın işlemeye devam etmesini sağlayan cep telefonlarımız, dijital "bulutlar", röntgen cihazları, kahve makineleri ve hibrid arabalar gibi temel nesnelerin arkasındaki akıl almaz bilimi açıklıyor.

Modern dünyamızı bu kadar pratik hâle getiren fizik çoğumuz için gizemli bir dünyadır. Hareket sensörleri, dokunmatik ekranlar, ekmek kızartma makinelerinin arkasındaki basit fizik ilkeleri nelerdir? *Gündelik Hayatta Fizik* ile kullandığımız pek çok şeyin temelini oluşturan atom altı dünyada şaşırtıcı bir yolculuğa çıkacaksınız.

Kakalios, nesneler dünyasını tek bir günü ana hatlarıyla anlatacak şekilde bölümlere ayırarak buzdolaplarımızın gıdaları nasıl soğuk tuttuğu, uçakların havada kalmayı nasıl becerdikleri, dijital saatin alarminin nasıl çaldığı gibi konularda merakımızı gideriyor. Her bir açıklamaya muazzam bir bilimin işbaşında olduğu bir öykü eşlik ediyor ve çevremizi saran görünmez güçlerin etkileşimini ortaya koyuyor.

Gündelik Hayatta Fizik, soyutlamaları anlatmak için karadelikler ve yerçekimi dalgaları gibi ifadelerle başvurmak yerine karmaşık bilimin de oldukça pratik olduğunu kanıtlıyor. Kakalios'un açık ve zeki üslubuyla ortaya koyduğu hayatlarımızı düzenleyen ilkeler bizi büyülüyor ve hayal gücümüzü harekete geçiriyor.

"Okurlar gündelik olmakla birlikte göz kamaştıran teknolojiye ilişkin, net açıklamalardan hoşlanacak ve lisedeki fizik derslerinden bir şeyler hatırlayanlar çok daha fazlasını bulacaktır."

Publishers Weekly

"Sindirilebilir bilim derslerinin kısa ama ayrıntılı ve canlı bir özeti... Yazarın ortaya koyduğu bağlantılarla her sayfada hoşunuza giden bir 'İşte bu!' anı yaşayacaksınız."

Wall Street Journal



www.palomayayinevi.com

