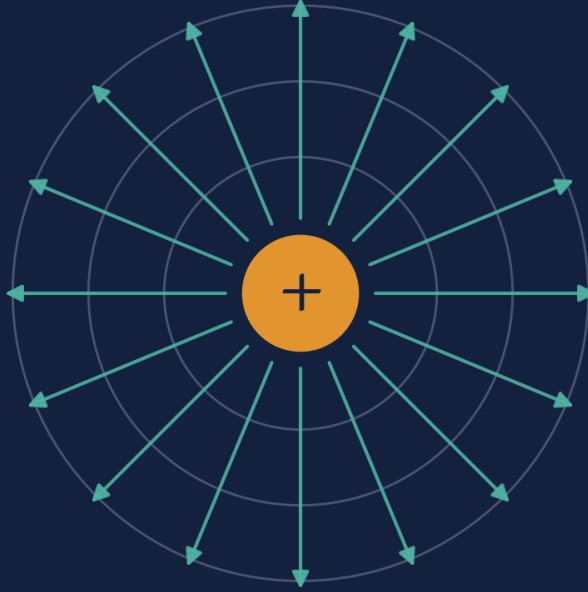


GÜN FİZİK · BİRİNCİ DERS



ELEKTRİK KUVVETİ

Maddenin Görünmez Mimarı

SÜLEYMAN BAYRAMOĞLU

GAIA ÜNİVERSİTESİ · GÜN

ELEKTRİK KUVVETİ

Maddenin Görünmez Mimarı

SÜLEYMAN BAYRAMOĞLU

GAIA ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI · GUN

GUN Fizik Dizisi — Birinci Ders

İstanbul, 2026

Bilişim ortağı (ITP): Claude

Harici hipokampüs olarak teori–mühendislik köprüsü

Süleyman Bayramoğlu Açık Lisansı (SBAL 1.0)

Creative Commons BY-NC 4.0 temel alınarak yayımlanmıştır.

Bilgi özgürdür, serbestçe paylaşılır, kopyalanır ve türetilir.

Ticari kullanım yazarın açık iznine tabidir.

creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Bu Kitabı Okuyana

Ben fiziği bir denklem yığını olarak değil, evrenin anayasası olarak okudum. Bütün öteki bilimlerin onun izin verdiği sınırlar içinde doğar. Bu yüzden GUN'da ilk ders fizik olacak, çünkü bir genç önce hangi yasaların altında yaşadığını bilmeli.

Bu kitap elektrik kuvvetini anlatıyor. Onu seçtim, çünkü şu anda seni sandalyende tutan, elinin masayı delip geçmesini engelleyen, aslında bütün katı dünyayı ayakta tutan kuvvet odur. Onu hiç görmedin. Yine de hayatın boyunca her an onunla temas ettin.

Yöntemimiz şu olacak. Önce bir benzetmeyle, bir resimle başlayacağız, çünkü zihin görmediğini ancak gördüğüne benzeterek kavrar. Sonra o resmi bırakıp gerçeğin kendisine, yani sayıya ve yasaya geçeceğiz. İlk bölüm tam da bunu, neden benzetme yaptığımızı anlatıyor.

— Süleyman Bayramoğlu

İçindekiler

Bölüm 0 Neden Analoji Yaparız?

Bölüm 1 Görünmez Mimar

Bölüm 2 İki Yük

Bölüm 3 Coulomb Yasası

Bölüm 4 Akıl Almaz Şiddet

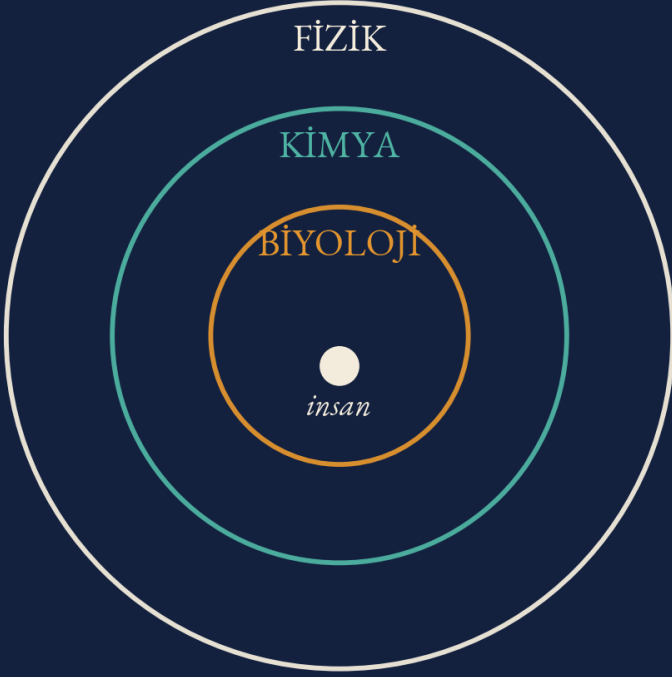
Bölüm 5 Denge ve Nötrlük

Bölüm 6 Alan

Bölüm 7 Süperpozisyon

Bölüm 8 Katılığın Kaynağı

BÖLÜM SIFIR



Neden Analoji Yaparız?

*Zihin, bilmediğine ancak
bildiğinin köprüsünden geçerek varır.*

Neden Analoji Yaparız?

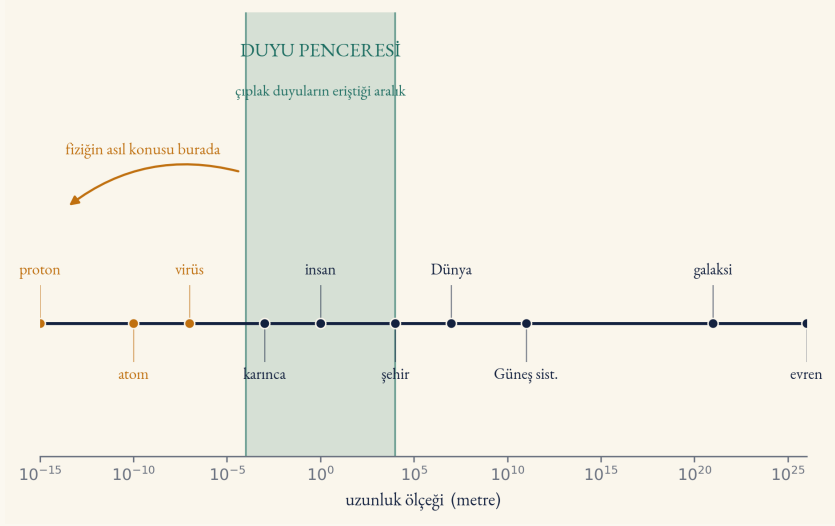
*Zihin, bilmediğine ancak
bildiğinin köprüsünden geçerek varır.*

0.1 Dar Bir Pencereden Bakıyoruz

Duyularımız evrenin tamamını görmek için yapılmadı. Gözümüz ışığın yalnızca incecik bir dilimini görür, kulağımız sesin dar bir bandını duyar, elimiz aşağı yukarı kendi boyumuzdaki nesneleri yoklar. Doğanın bütün ölçek yelpazesi içinde bizim doğrudan eriştiğimiz aralık şaşırtıcı derecede dardır. Bir karıncadan bir şehre kadar olan bu küçük bant, çıplak duyularımızın penceresidir.

Oysa fiziğin asıl konusu bu pencerenin dışında durur. Atom, çekirdek, elektrik alanı, yıldızlar arası uzaklık — hiçbirisi bu bandın içinde değildir. Bir elektrik alanını koklayamayız. Bir atomu göremeyiz. Bir kuvvetin

uzayda nasıl yayıldığını elimizle tutamayız. İşte fiziği öğretmenin merkezindeki sorun budur. Çocuk, duyamadığı bir şeyi nasıl kavrayacak?



Şekil 0.1 — Doğanın ölçek yelpazesi. Teal bantla işaretli dar aralık, çıplak duyularımızın eriştiği yerdir. Fiziğin asıl konusu olan atom ve çekirdek, bu pencerenin çok dışında kalır.

0.2 Zihnin En Eski Aleti

Bir şeyi göremediğimizde zihin hep aynı eski alete uzanır. Bildiğini alır ve bilmediğinin üstüne giydirir. Elektrik akımının suyun akışı gibi aktığını söyleriz. Atomun

küçük bir güneş sistemi olduğunu düşünürüz. Kuvvetin bir ip gibi çektiğini hayal ederiz. Bunların hepsi birer analogidir, yani tanıdık olandan yabancı olana atılmış birer köprü.

Analoji çocukça bir şey değildir. Tam tersine, keşfin iskelesidir. Michael Faraday elektrik ve mıknatısın çevresinde görünmez **kuvvet çizgileri** hayal etti. Bu bir resimdi, bir benzetmeydi. Ama o resimden modern alan kuramının tamamı doğdu. Büyük fizikçiler benzetmeyi attıkları için değil, doğru kullandıkları için büyüktür.

0.3 Bilimin Soy Ağacı

Benim en sevdiğim analogi, bu kitabın da kapısını açan benzetmedir. Bilimleri bir aile gibi okurum. **Fizik anne**annedir, çünkü yasayı o koyar. **Kimya** annedir, çünkü o yasalarla maddeyi biçimlendirir. **Biyoloji** en **genç kız**dır, çünkü hayat bu zincirin en son meyvesidir. Bizler de o kızın çocuklarıyız.

Bunu bir resme dökersem, biyoloji kimyanın içinde, kimya da fiziğin içinde duran iç içe halkalar gibidir. Ama

burada bir disiplin var, onu atlamamak gerekir. Bu bir **doğum sırası değil, bir bağımlılık sırasındır**. Fizik bir salı günü kimyayı doğurmadı. Halkaların anlamı şudur, içteki halka dıştaki halkanın yasasını çiğneyemez. Biyoloji kimyaya, kimya fiziğe boyun eğer. Hiçbir canlı süreç fizik yasalarının dışına çıkamaz.

İşte bu yüzden fizik evrenin Codex'idir, yani anayasasıdır. Ve işte bu yüzden GUN'un ilk dersi fiziktir. Bir genç, içinde yaşadığı dünyayı anlamadan önce o dünyanın değişmez yasalarını tanımalı.



0.4 Köprü ile Ev: Analojinin Sınırı

Şimdi bu kitabın en önemli dersine geldik. Bir analogi bir köprüdür, bir ev değildir. Köprüden anlamaya ulaşmak için geçersin, ama üstünde oturmazsın. Benzetme ile denklem çeliştiğinde kazanan daima denklemdir.

Atomu güneş sistemine benzetmek bir çocuğun onu zihninde canlandırmasına yardım eder. Ama elektronlar

küçük gezegenler değildir ve bu resim bir noktadan sonra seni yanıltmaya başlar. Öyleyse benzetmeyi şeyi *hissetmek* için kullanırız, sonra onu yere bırakır ve gerçeğin kendisi olan matematiği eline alırız. Çünkü doğru olan sayıdır, resim değil.

*Analoji bir köprüdür, ev değil.
Üstünden geçilir, üstünde yaşanmaz.*

Yalnızca bunu öğrenen bir genç — köprüyü kullanmayı *ve* nerede bittiğini bilmeyi — aslında bütün bilimin yöntemini öğrenmiş olur.

0.5 Bu Kitabın Yöntemi

Bu kitap baştan sona böyle işleyecek. Her bölüm bir resimle, bir benzetmeyle açılacak. Görünmez mimar, iki yük, akıl almaz şiddet. Önce o şeyi sana hissettireceğim. Sonra onu bir yasayla, bir sayıyla ve bir grafikte keskinleştireceğim. Bu kitapta her grafik bir süs değil, bir **veri kanıtıdır**.

Gececeğimiz ilk köprü hemen yanı başında duruyor.
Şu anda seni sandalyende tutan görünmez mimar.
Sayfayı çevir.

BÖLÜM BİR



boşluk

Görünmez Mimar

*Hiçbir şeye hiç dokunmadın.
Hissettiğin, geri iten kuvvettir.*

Görünmez Mimar

*Hiçbir şeye hiç dokunmadın.
Hissettiğin, geri iten kuvvettir.*

1.1 Şu Anda Bir Kuvvet Seni Tutuyor

Şu anda oturuyorsun. Sandalye seni taşıyor. Ağırlığın seni aşağı çekiyor, bu yerçekimidir, Dünya'nın seni kendine çekmesidir. Ama sandalyenin içine batmıyorsun. Bir şey aşağıdan seni geri itiyor. Ayakların yere basıyor, yer onları yutmuyor. Masaya bir bardak koyduğunda bardak yüzeyde duruyor, içinden geçmiyor.

Biz buna **katılık** deriz, **sertlik** deriz ve hiç sormayız. Oysa bu gerçek bir sorudur. Bir şey neden katıdır? Cevabı tek bir kuvvettir, ve o kuvvetin adı elektriktir.

1.2 Oysa Atom Neredeyse Tümüyle Boşluk

Şimdi işin tuhaf kısmı geliyor. Sandalye de, elin de, masa da atomlardan yapılmıştır. Ve bir atom neredeyse tümüyle boştur. Merkezindeki çekirdek atomun bütün ağırlığını taşır, ama inanılmaz derecede küçüktür.

Bunu bir ölçekle düşün. Eğer çekirdek bir santimetrelik bir misket olsaydı, atomun tamamı bir kilometre çapında bir boşluk küresi olurdu ve elektronlar bu boşluğun çok uzağında ince bir sis gibi gezinirdi. Madde, yüzde 99,999...'u boşluk olan bir şeydir.



Şekil 1.1 — Atomun ölçeği. Çekirdek bir misket olsaydı, atom bir kilometre çapında neredeyse bütünüyle boş bir küre olurdu. Atom çapı, çekirdek çapının yaklaşık yüz bin katıdır.

Öyleyse şu soru kaçınılmaz. Madem her şey çoğunlukla boşluktur, katı cisimler birbirinin içinden neden öylece geçmiyor? Elin masanın içinden, bir hayaletin duvardan geçtiği gibi neden süzülüp gitmiyor?

1.3 Öyleyse Elin Masayı Neden Delip Geçmiyor?

Cevap, atomların bilardo topları gibi birbirine *çarpması* değildir. Çarpacak neredeyse hiçbir şey yok ki. Cevap kuvvettir. Her atomun dış bölgesi elektron bulutlarıyla sarılıdır ve bu elektronların hepsi aynı tür elektrik yükünü, yani negatif yükü taşır.

Aynı yükler birbirini iter. Hem de yaklaştıkça artan, müthiş bir şiddetle iter. Elinin elektronları masanın elektronlarına yaklaştığında bu itme devreye girer, mesafe küçüldükçe sertleşir. Daha hiçbir *kati* parça birbirine değmeden, bu itme elini durdurur. Duvar gibi hissettiğin şey, bir **itme alanıdır**.

1.4 Hiçbir Şeye Hiç Dokunmadın

Bu bizi şaşırtıcı bir gerçeğe götürür, ve bu bir şiir değil, harfi harfine doğrudur. Hayatın boyunca hiçbir şeye dokunmadın. Bu kitaba değil, bir başkasının eline değil, bastığın yere değil.

Dokunuş diye hissettiğin şey, senin tenindeki elektronlarla karşı yüzeydeki elektronlar arasındaki elektrik itmesidir. Alanlar alanlarla buluşur, maddenin kendisi hiçbir zaman birbirine değmez. Tuttuğun bir elin sıcaklığı, yerin sağlamlığı, hepsi elektrik kuvvetidir. Üstelik bu kuvveti sana haber veren sinirlerin de elektrik sinyalleriyle çalışır.

Dokunmak, alanların buluşmasıdır.

1.5 Maddenin Mimarı

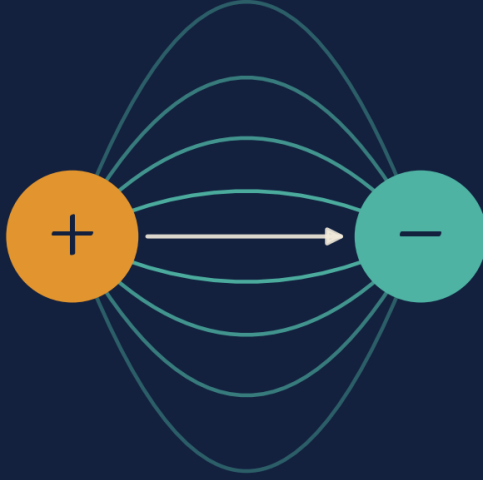
Demek ki gündelik hayatına iki kuvvet hükmeder. Yerçekimi seni Dünya'ya bağlar, sana ağırlığını veren odur. Elektrik ise seni Dünya'nın içine batmaktan alıkoyar, dünyaya katılığını, biçimini ve bütün mimarisini veren odur.

Yerçekimi ünlü olandır, elmasıyla ve efsanesiyle herkesin bildiğidir. Ama dokunduğun, üstünde durduğun, elinde tuttuğun ve aslında kendisinden

yapıldığın her şeyin sessiz mimarı elektrik kuvvetidir. Bu kitabın geri kalanı onun portresidir.

Sırada onun neden tam olarak iki türde geldiğini soracağız. Sonra ne kadar güçlü olduğunu, bu gücü neden hiç hissetmediğimizi, ve sonunda kimyayı, hayatı ve seni nasıl inşa ettiğini göreceğiz.

BÖLÜM İKİ



İki Yük

*Bir işaret yalnızca yığar.
İki işaret evreni inşa eder.*

İki Yük

*Bir işaret yalnızca yığar.
İki işaret evreni inşa eder.*

2.1 Çekimin Tek Yönü

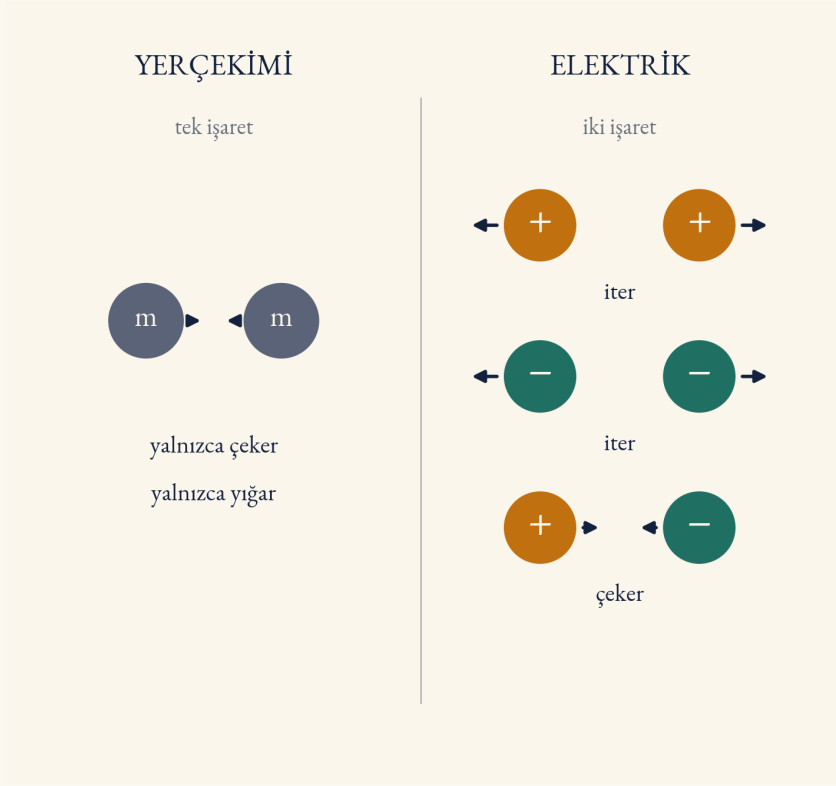
Önce tanıdığımız kuvvetten, yerçekiminden başlayalım, çünkü elektriği asıl ondan ayıran şeyi görmemiz gerekiyor. Yerçekimi yalnızca çeker. Her kütle her kütleyi kendine doğru çeker ve bu çekme her zaman aynı yöndedir. İten bir kütle yoktur. Negatif bir kütle, bir karşı-kütle diye bir şey yoktur.

Bu yüzden yerçekiminin yapabileceği tek bir hareket vardır. Toplamak, yığmak, bir araya getirmek. Gezegenleri ve yıldızları bu yorulmak bilmez toplama işiyle kurdu. Ama tek bir hamlesi vardır, o yüzden de tekdüzedir.

2.2 Elektriğin İki Yüzü

Elektrik bambaşka bir mimaridir. **İki türde** gelir. Bunlara pozitif ve negatif deriz. Ve kuralı hem basit hem tuhaftır. Aynı türler birbirini **iter**, zıt türler birbirini **çeker**. İki pozitif birbirini iter. İki negatif birbirini iter. Bir pozitif ile bir negatif birbirini çeker.

Bunu gündelik hayatında görmüşsündür. Bir balonu saçına sürttüğünde saçların balona doğru kalkar, balon duvara yapışır. İki balonu birden sürtüp yan yana getirirsen birbirlerini iterek uzaklaşırlar. Bir tarak kâğıt parçalarını yukarı kaldırır. Bütün bunlarda iş başında olan, elektriğin bu iki yüzüdür.



Şekil 2.1 — Yerçekimi tek işaretlidir ve yalnızca çeker. Elektrik iki işaretlidir. Aynı işaretler iter, zıt işaretler çeker.

2.3 İsimler Bir Rastlantıdır

Pozitif ile negatif adları aslında birer rastlantıdır. Benjamin Franklin, daha kimse elektronun varlığını bilmezken, türlerden birine keyfî olarak pozitif, ötekine negatif dedi. Yükün hangi yönde aktığını tahmin etti ve

yanlış tahmin etti, ama isimler yerleşip kaldı. Bu yüzden bugün bir telde gerçekten hareket eden parçacık olan elektron negatif işareti taşır, ki bu yalnızca tarihsel bir etikettir.

Gerçek olan isim değildir. Gerçek olan, iki zıt türün var olmasıdır. Doğa etiketleri değiştirmemize izin verseydi ve negatife pozitif deseydik, fiziksel hiçbir şey değişmezdi. nemli olan işaretin adı değil, karşıtlılığın kendisidir.

2.4 Yükü Taşıyanlar

Peki yükü kim taşır? Sıradan maddede iki parçacık. Çekirdeğin derinliğindeki **proton** bir birim pozitif taşır. Bulutun uzağındaki **elektron** bir birim negatif taşır. Ve burada şaşırtıcı bir şey var. Bu iki miktar birbirine tam olarak eşit ve zıttır. Hem de başka hiçbir yerde lçemediğimiz bir kesinlikte eşittir. Bir protonun pozitivi, bir elektronun negatifini tastamam siler.

Bu kusursuz denge ne apaaktır ne de isimlerin gereğidir. Doğanın derin bir olgusudur. Beşinci

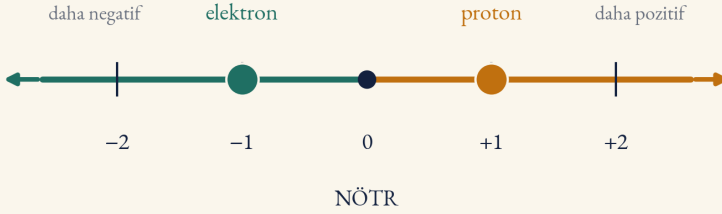
bölümde göreceğiz ki dünyanın bütün sükûneti, bu eşitliğe bağlıdır.



2.5 Neden İki, Neden Üç Değil?

Neden iki, neden üç ya da beş değil? Derin bir soru. Elektrik yükü **tek bir niceliktir**. Pozitif, negatif ya da sıfır olabilen bir sayı. Tıpkı bir doğru üstündeki nokta gibi, ortasında nötr durur. Bu sayının üçüncü bir yönü yoktur.

Doğanın başka kuvvetleri daha zengindir. Çekirdeği bağlayan kuvvetin üç çeşitte gelen bir tür yükü vardır. Ama senin gündelik dünyanın mimarı olan elektrik tam da bu temiz ikiliğe sahiptir. İşaretli tek bir sayı.



Şekil 2.2 — Elektrik yükü işaretli tek bir sayıdır. Elektron bir birim negatif, proton bir birim pozitif taşır ve tam ortada nötr nokta durur.

2.6 İki Olmak, İnşa Edebilmektir

Şimdi asıl ödüle geldik. Bu ikilik neden bu kadar önemli? Çünkü iki zıt işaret birbirini silebilir ve silebilmek inşa edebilmenin önkoşuludur. Negatif bir elektron pozitif bir çekirdeğe çekilir ve onun çevresine kilitlenir. İşte o bağlı çift, **atomun** ta kendisidir. Zıt işaret olmasaydı atom da olmazdı, çünkü elektronu yerinde tutacak ve karşısında nötrleşeceği bir şey bulunmazdı.

İki işaret, yüklerin eşleşmesine, kararlı ve nötr yapılara yerleşmesine izin verir. O yapılardan da her şey doğar. Moleküller, malzemeler, kimya, hayat ve sen.

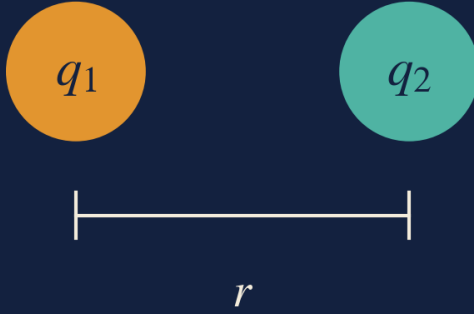
Karşılaştır. Tek işaretiyle yerçekimi cisimleri ancak bir yığına ezebilir. İki işaretiyle elektrik hem ezebilir hem dengeleyebilir. İnşa eden şey de dengelemedir.

Bir işaret yığar.

İki işaret kurar.

Buraya kadar sözcükleri söyledik. Çeker, iter, güçlü, uzaklıkla zayıflar. Ama fizik sözcüklerle yetinmez. Bu itme ve çekme tam olarak ne kadar güçlüdür? Ve iki yük birbirinden uzaklaştıkça nasıl söner? Bunun için sözcükleri bir sayıya çeviren yasaya ihtiyacımız var. O yasanın bir adı var. Coulomb. Sayfayı çevir.

BÖLÜM ÜÇ



$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Coulomb Yasası

*İki kat uzaklaş,
kuvvet dörtte bire iner.*

Coulomb Yasası

Sözcükler «çeker» der.

Yasa «ne kadar» der.

3.1 Sözden Sayıya

Sıfırınıc bölümdde köprüden geçmeyi öğrendik. Benzetmeyle şeyi hissettik, sonra onu yere bırakıp matematiğı elimize aldık. Şimdi tam da o anı yaşıyoruz. İkinci bölümde çeker dedik, iter dedik, uzaklıkla zayıflar dedik. Ama *güçlü* bir sayı değildir. Fizik bir sayı ister.

1785 yılında Charles-Augustin de Coulomb bu sayıyı çok ince bir terazi ile ölçtü. Burulma terazisi denen bu araçta ince bir teli yüklü küçük kürelerle bükü ve telin ne kadar döndüğünü okuyarak kuvveti tarttı. O ölçümlerden, bütün sözcüklerimizi tek bir denkleme çeviren bir yasa çıktı.

3.2 Yasanın Kendisi

Yasa şunu söyler. İki yük arasındaki kuvvet, her bir yük ile doğru orantılıdır ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bütün bölüm bu tek cümlemin içinde saklıdır.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Buradaki harfleri tanıyalım. F kuvvettir. q_1 ile q_2 iki yüküdür. r aralarındaki uzaklıktır. k ise bir sabittir, yani kuvvetin şiddetini ayarlayan bir sayı. Sıradan birimlerde bu sabit yaklaşık dokuz milyar gibi devasa bir değerdir, ki bu daha şimdiden bir sonraki bölümün konusunu fısıldıyor.

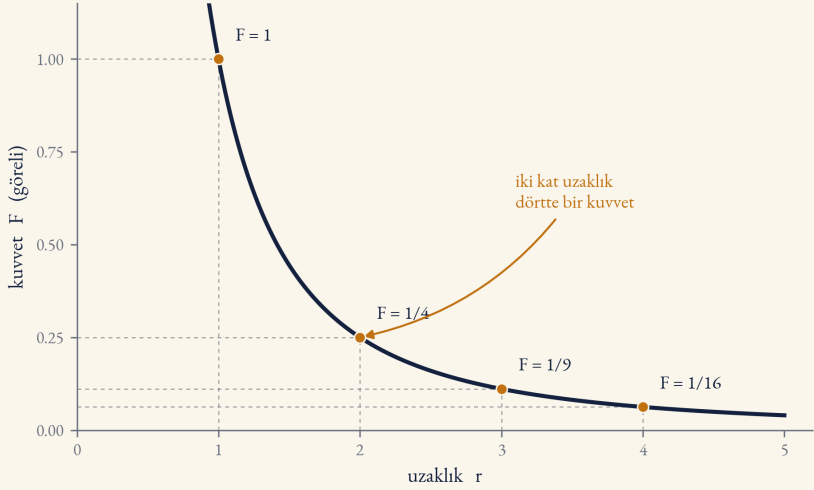
3.3 İki Yükün Çarpımı

Yasanın iki yarısı var. Önce kolay olanı. Kuvvet, iki yükün **çarpımıyla** orantılıdır. Bir yükü iki katına

ıkarırsan kuvvet de iki katına çıkar. İki yükü birden iki katına çıkarırsan kuvvet dört katına çıkar. Ne kadar çok yük, o kadar çok kuvvet, üstelik tam bir orantıyla. Bu yarısı sezgiye uygundur.

3.4 Uzaklığın Karesi — Ters Kare Yasası

Şimdi yasanın asıl kalbi. Kuvvet, uzaklığın **karesiyle** ters orantılıdır. Dikkat et, uzaklığın kendisiyle değıl, karesiyle. İki yükü iki kat uzaklaştırırsan kuvvet yarıya inmez, dörtte bire iner. Üç kat uzaklaştırırsan dokuzda bire. On kat uzaklaştırırsan yüzde bire. Çok hızlı söner.



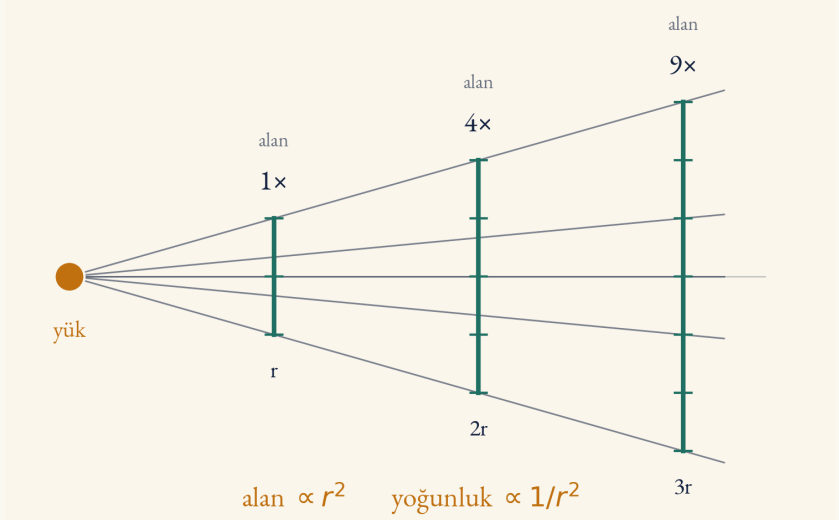
Şekil 3.1 — Ters kare yasası. Uzaklık iki katına çıkınca kuvvet dörtte bir, üç katına çıkınca dokuzda bir düşer. Kuvvet uzaklıkla hızla söner.

Bu hızlı sönüş yüzünden bir yükün tutuşu yakında acımasız, uzakta naziktir.

3.5 Neden Kare? Bir Kürenin Geometrisi

Peki neden kare, neden küp ya da düz orantı değil? Sebebi saf geometridir ve çok güzeldir. Yükün etkisinin her yöne eşit yayıldığını düşün, tıpkı bir noktadan püskürtülen boya gibi. r uzaklığında bu etki, yarıçapı r olan bir kürenin yüzeyine yayılmış olur. O kürenin yüzey alanı ise r 'nin karesiyle büyür. Aynı miktarda etki,

artık uzaklığın karesi kadar büyüyen bir alana yayıldığı için her bir noktadaki yoğunluğu r 'nin karesiyle ters orantılı olarak seyrelir.



Şekil 3.2 — Neden kare? Aynı etki bir noktadan yayılır ve uzaklaştıkça alanı r 'nin karesiyle büyüyen bir yüzeye yayılır. Bu yüzden yoğunluk r 'nin karesiyle seyrelir.

Bu yalnızca elektriğe özgü değildir. Bir lambadan yayılan ışık, bir çandan yayılan ses, bir kütleden yayılan çekim, üç boyutlu uzayımıza bir noktadan yayılan her şey aynı geometrik sebeple r 'nin karesiyle söner. Ters kare yasası, aslında üç boyutlu uzayın kendi imzasıdır. Altıncı bölümde alanı konuşurken buraya döneceğiz.



3.6 Aynı İskelet: Coulomb ile Newton

Şimdi şaşırtıcı bir birlik. Newton'ın çekim yasası, Coulomb'dan yüzyıl önce yazılmıştı ve tam olarak aynı biçime sahiptir.

$$\begin{array}{l} \text{ELEKTRİK} \\ F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ \text{ÇEKİM} \\ F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \\ F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \end{array}} \right\} \begin{array}{l} \text{aynı geometri} \\ 1/r^2 \end{array}$$

Şekil 3.3 — Coulomb ile Newton aynı iskeleti paylaşır. İki «yükün» çarpımı bölü uzaklığın karesi. Yalnızca sabit ve işaret sayısı farklıdır.

Karşılaştır. İki yükün çarpımı bölü uzaklığın karesi, çarpı bir sabit. Çekimde yük yerine kütle koyarsın, sabiti değiştirirsin, gerisi aynıdır. Birbirinden bambaşka iki kuvvet, aynı geometrik elbiseyi giymiş.

Aralarındaki fark yalnızca ikidir. Birincisi sabittir, yani ne kadar güçlü oldukları. Burada elektrik akıl almaz bir farkla kazanır, ki bu da bir sonraki bölümün konusudur. İkincisi işaret sayısıdır. Kütlenin tek işareti vardır, o yüzden çekim yalnızca çeker. Yükün iki işareti vardır, o yüzden elektrik hem çeker hem iter.

İki yabancı kuvvet, tek bir geometri.

Bu kadar farklı iki kuvvetin tek bir denklemi paylaşması, doğanın derin düzenine dair bir ipucudur. İşte fiziği Codex yapan da bu gizli birliklerdir.

3.7 Şimdi Gücü Ölçelim

Artık yasaya sahibiz. Onunla, sözcüklerin asla yapamadığı şeyi yapabiliriz. Hesaplamak. Yükleri ve uzaklığı yerine koy, kuvveti tam olarak bul. Ve gerçek sayıları koyduğumuzda, bir elektronun yükünü, bir atomun çapı kadar uzaklığı, ortaya akıl almaz bir şey çıkar. Sayı o kadar büyüktür ki hayal gücünü aşar.

Bu kadar güçlü bir kuvvet, nasıl olur da gözümüzün önünde, hiç hissedilmeden, her yanımızda saklanabilir? İşte bir sonraki bölüm. Sayfayı çevir.

BÖLÜM DÖRT

ELEKTRİK / ÇEKİM



10^{40}

Akıl Almaz Şiddet

Çekimden on üzeri kırk kat güçlü.

Yine de onu hiç duymadın.

Akıl Almaz Şiddet

*Elektrik, çekimden on üzeri kırk kat güçlüdür.
Yine de onu hiç duymadın.*

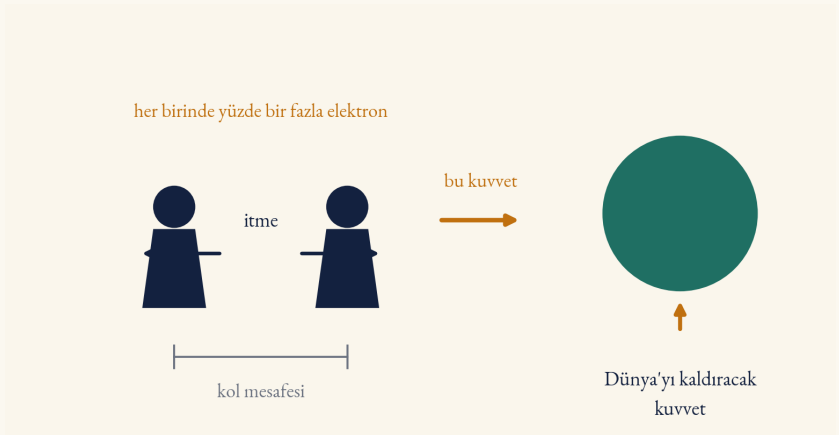
4.1 Şimdi Sayıları Koyalım

Üçüncü bölümde Coulomb yasasını kurduk. Ama bir yasa, içine sayı koyana kadar hiçbir şey söylemez. Öyleyse en küçük şeyleri koyalım. İki elektron al, ya da bir atomun içindeki bir elektron ile bir protonu. Yüklerini, o küçücük kütlelerini, aralarındaki atom çapı kadar uzaklığı yerine koy.

Coulomb yasası sana elektrik kuvvetini verir. Aynı biçime sahip Newton yasası da aynı iki parçacık arasındaki çekim kuvvetini verir. Şimdi birini ötekine böl. Çıkan sayının ardında yaklaşık kırk tane sıfır vardır.

4.2 İki İnsan, Yüzde Bir Dengesizlik

Kırk sıfırı hissetmek için Feynman'ın sevdiği bir düşünceyi izleyelim. İki insanın kol mesafesinde durduğunu hayal et. Diyelim ki her birinde protonlarından yalnızca yüzde bir daha fazla elektron var, yani küçücük bir yüzde bir yük dengesizliği. Aralarındaki itme ne kadar güçlü olurdu? Onları yere devirecek kadar değil. Odanın öbür ucuna fırlatacak kadar da değil. Hesap şunu söylüyor. Koca Dünya'nın ağırlığına eşit bir yükü kaldıracak kadar.



Şekil 4.1 — Feynman'ın düşünce deneyi. Kol mesafesindeki iki insanın her birinde yüzde bir yük fazlası olsaydı, aralarındaki itme Dünya'yı kaldıracak kadar büyük olurdu.

Çünkü yüzde bir dengesizlikle her beden milyonlarca coulomb'luk bir net yük taşır ve Coulomb yasası bir metre uzaklıkta bunu on üzeri yirmi dört newton mertebesinde bir kuvvete çevirir. Dünya'nın kendi ağırlığı kadar. Hem de yalnızca yüzde bir dengesizlikten. İşte elektriğin saklı vahşeti budur.

4.3 Peki Neden Hiç Hissetmiyoruz?

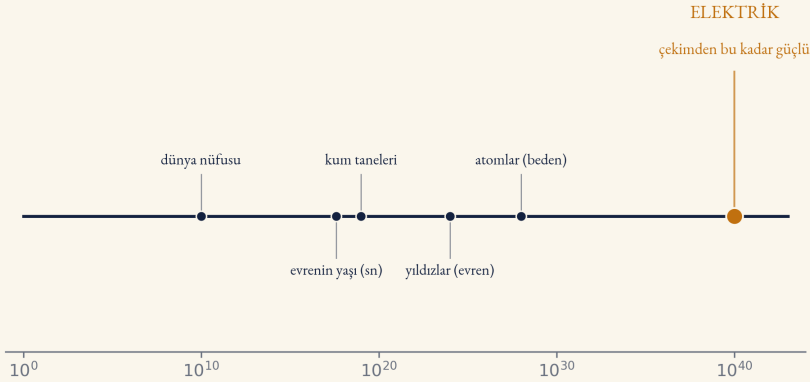
Kuvvet bu kadar vahşiyse, neden bugüne kadar kimse onu hissetmedi? Çünkü o yüzde bir dengesizlik saçmadır. Gerçek madde nötrdür. Her pozitif proton, bir negatif elektronla karşılaşır, hem de doğadaki her şeyden daha büyük bir kesinlikle. O devasa çekme ile o devasa itme neredeyse kusursuzca birbirini siler ve geriye kalan, dokunuş, sürtünme ve kimya dediğimiz o nazik kalıntıdır.

Canavar gerçektir ama bağlanmış, dengelenmiştir, susturulmuştur. Doğanın bu sessizliği nasıl başardığı, bir sonraki bölümün tamamıdır.



4.4 On Üzeri Kırk: İki Kuvvetin Oranı

Orana geri dönelim. İki elektron arasında elektrik kuvveti çekimi yaklaşık on üzeri kırk iki kat yener. İki proton arasında yaklaşık on üzeri otuz altı kat. Kabaca, on üzeri kırk diyoruz. Bu sayı o kadar büyüktür ki elektriğin yanında çekim adeta bir hiçtir.



Şekil 4.2 — Elektrik kuvvetinin çekime oranı, tanınmış bütün büyük sayıları geride bırakır. İki elektron için yaklaşık on üzeri kırk iki, iki proton için on üzeri otuz altı.

Burada derin bir soru var. Madem çekim bu kadar zayıf, evreni neden o yönetiyor, gezegenleri, yıldızları, galaksileri? Cevap ikinci bölümdeki iki işarettir. Elektrik, artısı ve eksisiyle, büyük madde yığınlarında kendi kendini siler. Çekimin tek işareti vardır, hiç silinmez, yalnızca toplamayı sürdürür.

Bu yüzden dünyalar ölçeğinde, zayıf ama silinmeyen kuvvet kazanır, güçlü ama kendini silen kuvvet susar. Güç ile menzıl yer değiştirir. Elektrik atoma hükmeder, çekim galaksiye. Sebebi tek bir şeydir. İşaret sayısı.

4.5 Bir Bölü Yüz Otuz Yedi: Doğanın Gizli Sayısı

Fizikçiler şunu istedi. Elektromanyetizmanın gücünü, kendi içinde, bütün birimlerden arınmış tek bir temiz sayıyla yakalamak. Ve buldular. Bu sayının adı **ince yapı sabitidir**, simgesi α ile gösterilir ve değeri yaklaşık bir bölü yüz otuz yedidir.

İNCE YAPI SABİTİ

$$\alpha = \frac{1}{137}$$

$\approx 0,0073$

boyutsuz — birimsiz — her gözlemci için aynı

Şekil 4.3 — İnce yapı sabiti α . Birimsiz, saf bir sayı. Elektromanyetizmanın gücünü ayarlar ve değeri neden tam bir bölü yüz otuz yedidir, kimse bilmiyor.

Bu saf bir sayıdır. Ne metre, ne kilogram, ne saniye, yalnızca bir sayı, evrenin her yerinde her varlık için aynı. Bütün elektrik ve mıknatıs etkileşimlerinin gücünü o ayarlar.

Feynman bu sayının karşısında hayranlıkla dururdu. Onu fiziğin en derin gizemlerinden biri sayardı, bize nereden geldiği hiç açıklanmadan verilmiş büyülu bir sayı. En büyük zihinler bile neden tam olarak bir bölü yüz otuz yedi olduğunu, neden başka bir şey olmadığını bilmiyor. O sayı evrene yazılmıştır, biz onu yalnızca okuyabiliriz, türetemeyiz.

İşte bu kitaptaki her şey için neden önemli olduğu da burada. α küçük olduğu için, yani yaklaşık bir bölü yüz otuz yedi, bir değil, yüz değil, elektrik kuvveti bütün o on üzeri kırk vahşetine rağmen elektronu çekirdeğe ezmeden bağlayacak kadar naziktir. Atomlar bu yüzden bir arada durur, kimya bu yüzden incedir, hayat bu yüzden mümkündür.

*Evrenin gücü tek bir saf sayıda saklı:
bir bölü yüz otuz yedi.*

Bu sayı çok farklı olsaydı, ne kararlı atom, ne kimya, ne de sen olurdun. Görünmez mimarın eli, bir bölü yüz otuz yedi sayesinde sağlamdır. Bu sayıyı daha önce bir söz olarak bir kenara koymuştum. İşte gerçek evinde. Bir hücre sayımı değil, görünmez mimarın gücünü ayarlayan o tek saf sayı.

Demek ki gücü tanıdık. Çekimden on üzeri kırk kat büyük, yüzde bir dengesizlikle Dünya'yı kaldıracak kadar vahşi, ama bir bölü yüz otuz yedinin nazik ayarıyla yıkmak yerine inşa edecek kadar dizginli. Geriye tek bir

soru kalıyor, hep ertelediğimiz soru. Evren bu canavarı nasıl bu kadar kusursuz susturuyor? Cevap dengedir. Sayfayı çevir.

BÖLÜM BEŞ

$$+ + - = 0$$

Denge ve Nötrlük

*Evren gücünü göstermez,
çünkü kendini tam dengeler.*

Denge ve Nötrlük

*Evren bu canavarı susturur,
çünkü her artıya bir eksi düşer.*

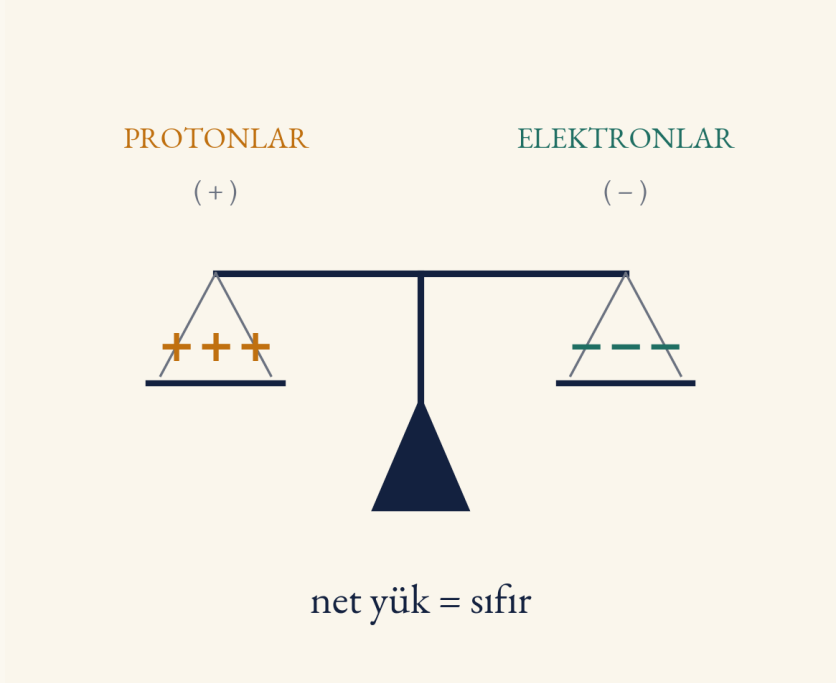
5.1 Susturulmuş Canavar

Dördüncü bölümü bir soruyla kapattık. Elektrik çekimden on üzeri kırk kat güçlüyse, yüzde bir dengesizlikle Dünya'yı kaldıracaksa, neden onu hiç hissetmiyoruz? Cevap tek bir sözcükte saklı. Denge. Bu canavar gerçektir ama susturulmuştur ve onu susturan şey doğanın en sade kuralıdır. Her artıya bir eksi düşer.

5.2 Her Artıya Bir Eksi

Her atomun içinde, çekirdekteki proton sayısı kadar elektron döner. Bir protonun pozitifliği, bir elektronun negatifini tam olarak siler. Bu yüzden bütün atom dışarıdan bakıldığında nötrdür, yani yüksüzdür.

Atomlar bir araya gelip seni, masayı, havayı, yıldızları yaptığında bu nötrlük de toplanır. Sıradan madde, kusursuza yakın bir dengededir.



Şekil 5.1 — Sıradan madde nötrdür. Her protonun pozitifliği bir elektronun negatifliğiyle dengelenir, net yük sıfırdır.

İşte dördüncü bölümün o devasa kuvveti bu yüzden ortada görünmez. O korkunç çekme ile o korkunç itme,

neredeyse mükemmel biçimde birbirini götürür. Geriye yalnızca incecik bir kalıntı kalır.

5.3 Denge Kendini Korur

Peki bu denge neden bu kadar kusursuz? Çünkü kuvvetin kendisi onu zorlar. Diyelim ki bir yerde fazladan biraz pozitif yük birikti. O fazlalık, müthiş bir şiddetle çevredeki negatif yükleri kendine çeker, aynı işaretli komşularını da iter. Saniyenin çok küçük bir kesrinde fazlalık nötrlenir. Dengesizlik kendi kendini siler.



Şekil 5.2 — Dengesizlik kendini siler. Fazladan bir yük, çevresindeki zıt yükleri müthiş bir şiddetle çeker ve anında nötrlenir.

Yani nötrlük bir rastlantı değildir. Kuvvetin kendi kendini denetlemesidir. Evren, en küçük dengesizliği bile anında düzeltecek kadar güçlü bir bekçiye sahiptir ve o bekçi yine elektrik kuvvetidir.



5.4 Dengenin Çatlakları: Statik ve Yıldırım

Bazen denge kısa bir an için çatlar. Bir balonu saçına sürttüğünde, bir avuç elektron bir yüzeyden ötekine geçer. Küçük bir dengesizlik doğar ve sen onu hemen fark edersin. Saçların balona kalkar, kıvılcım çakar, tüylerin diken diken olur. Bunlar statik elektriktir, yani dengenin görünür hale geldiği o ender çatlaklar.

En büyük çatlak yıldırımdır. Bir bulutun altı ile yer arasında yük ayrışır, dengesizlik büyür ve bir an gelir ki doğa bu farkı görkemli bir kıvılcımla kapatır. Yıldırım bir öfke değildir. Evrenin dengeye koşan ayağıdır.



Şekil 5.3 — Yıldırım, bulut ile yer arasında biriken dengesizliğin görkemli bir kıvılcımla kapanmasıdır.

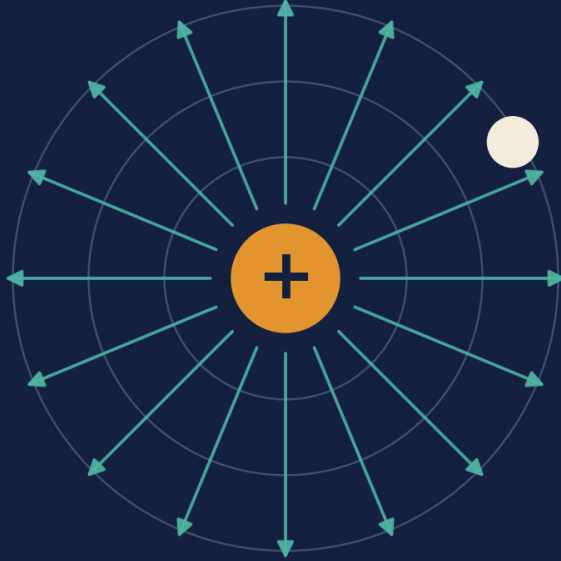
5.5 Sükûnetin Anlamı

Demek ki içinde yaşadığımız dünyanın bütün sükûneti, kusursuza yakın bir iptalin içindedir. Dokunuş, sürtünme, kimya, hissettiğimiz her şey, o devasa kuvvetlerden geriye kalan o nazik kalıntıdır. Evren dengeli bir defterdir, her sayfasında artılar ve eksiler tastamam tutar.

*Hissettiğın her şey,
bir iptalin geriye kalanıdır.*

Ama bir soru daha var. Fazla yük çevresindeki yükleri çekerken, bu çekmeyi onlara nasıl ulaştırıyor? Bir yük, ötekinin orada olduğunu boşluğun ötesinden nasıl biliyor? Bu, uzaktan etki denen eski bir bilmecedir ve cevabı bir sonraki bölümün konusudur. Alan. Sayfayı çevir.

BÖLÜM ALTI



Alan

*Kuvvet atlamaz.
Uzayın kendisi gerilir.*

Alan

Kuvvet boşluğun üstünden atlamaz.

Uzayın kendisi gerilir.

6.1 Uzaktan Etki Hayaleti

Bir yük, başka bir yükü çeker ya da iter. Ama nasıl? İkisinin arasında çoğu zaman boşluktan başka bir şey yoktur. Bir yük, metrelerce ötedeki başka bir yükün orada olduğunu nereden biliyor ve çekmesini o boşluğun üstünden nasıl gönderiyor? Newton bile bu soru karşısında rahatsız olmuştu. Bir şeyin hiçbir şeyin üstünden uzanıp bir başkasına dokunması, ona bir büyü gibi geliyordu.



Şekil 6.1 — Uzaktan etki bir bilmecedir. Faraday'ın çözümü alandır. Yük uzayı bir alanla doldurur ve ikinci yük o alanı yerel olarak hisseder.

6.2 Faraday'ın Çözümü: Alan

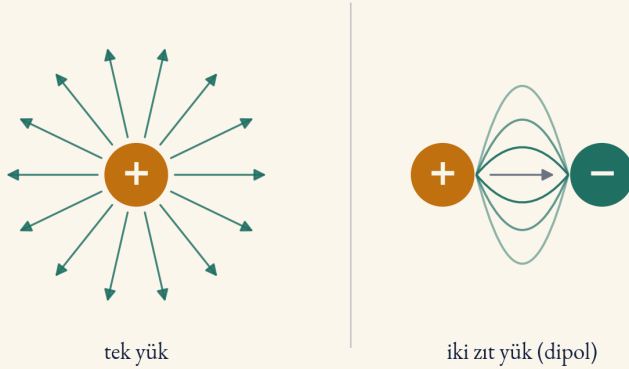
Bu bilmeceyi Michael Faraday çözdü ve çözümü fiziği baştan aşağı değiştirdi. Dedi ki bir yük, çevresindeki bütün uzayı bir **alanla** doldurur. Bu alan her yerde vardır, ikinci bir yük orada olmasa bile. Bir yük boşluğun üstünden uzanmaz. Çevresindeki uzayı büker, gerer, bir alan haline getirir ve başka bir yük o alanı tam durduğu yerde hisseder.

Artık hayalet yoktur. Etki yereldir. Her yük yalnızca kendi bulunduğu noktadaki alana tepki verir. Boşluğun

ötesine uzanan gizemli bir el değil, tam ayağının altındaki zemin.

6.3 Alan Çizgileri

Faraday alanı görmek için güzel bir resim icat etti. Alan çizgileri. Bir yükün çevresine, kuvvetin yönünü gösteren çizgiler çizeriz. Tek bir pozitif yükte çizgiler her yöne dışarı doğru fışkırır. Bir pozitif ile bir negatif yan yana durduğunda, çizgiler artıdan çıkıp eksiye dalar ve aralarında o güzel dipol deseni belirir.



Şekil 6.2 — Alan çizgileri kuvvetin yönünü gösterir. Tek yükte dışarı fışkırır, iki zıt yükte artıdan eksiye akar.

Çizgilerin sıklığı alanın gücünü gösterir. Yüke yakın yerde çizgiler sıkışır, alan güçlüdür. Uzakta seyrelir, alan zayıflar. Üçüncü bölümdeki ters kare yasası, işte bu çizgilerin uzayda seyrelmesidir.

6.4 Alan Gerçektir

Şimdi bu kitabın en derin fikrine geldik. Alan yalnızca bir hesap kolaylığı değildir. **Gerçektir.** Enerji taşır ve dalgalanabilir. Bir yükü alıp aşağı yukarı sallarsan, çevresindeki alan da dalgalanır ve bu dalga ışık hızıyla dışarı yayılır. O dalga ışıktır.



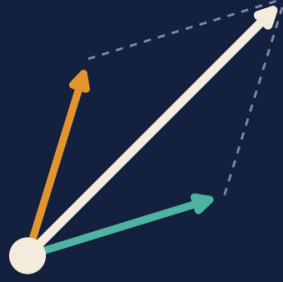
Şekil 6.3 — Salınan bir yük, çevresindeki alanı dalgalandırır. Bu dalga ışık hızıyla yayılır ve ona ışık deriz.

Gözünün gördüğü ışık, bir radyo dalgası, bedenini ısıtan güneş, hepsi elektrik alanındaki dalgalardır. Demek ki ışık, görünmez mimarın uzaya saldığı bir titreşimdir. Gerçeklik, maddenin içinde değil, alanın kendisindedir. Sıfıncı bölümde söylemişim, şimdi anlamı açılıyor. Gerçeklik alandır.

*Işık, alanın titreşimidir.
Gerçeklik alandır.*

Artık alanı tanıyoruz. Ama gerçek dünyada tek bir yük yoktur. Milyarlarca yük aynı anda kendi alanını kurar. Bütün bu alanlar bir noktada nasıl birleşir? Cevap şaşırtıcı derecede basit ve zariftir. Bir sonraki bölümün konusu. Süperpozisyon. Sayfayı çevir.

BÖLÜM YEDİ



Süperpozisyon

*Alanlar yarışmaz,
toplanır.*

Süperpozisyon

Yükler birbiriyle yarışmaz.

Alanları sessizce toplanır.

7.1 Çoğun Sorusu

Şimdiye kadar hep iki yükten konuştuk. Oysa bir bardak suda bile akıl almaz sayıda yük vardır. Her biri kendi alanını kurar. Belli bir noktada bütün bu alanların ortak etkisi ne olur? Doğa bu soruya inanılmaz cömert bir yanıt verir.

7.2 Alanlar Toplanır

Kural şudur. Bir noktadaki toplam alan, her yükün o noktada tek başına kuracağı alanların toplamıdır. Her yük, sanki ötekiler yokmuş gibi kendi katkısını verir ve sen bu katkıları toplarsın. Yükler birbirinin etkisini

bozmaz, birbiriyle yarışmaz. Yan yana, sessizce eklenirler. Buna **süperpozisyon** deriz.

7.3 Vektör Toplamı

Ama bu toplama sıradan bir sayı toplaması değildir. Alanın hem büyüklüğü hem de yönü vardır, yani bir oktur. İki alanı toplarken, iki oku uç uca eklersin. Sonuç, ikisinin birlikte oluşturduğu yeni bir oktur.



Şekil 7.1 — Süperpozisyon. P noktasındaki toplam alan, her yükün katkısının vektörel toplamıdır.

Bir noktada bir alan sağa, bir başkası yukarı çekiyorsa, toplam ikisinin arasında bir yöne işaret eder. İşte fizik tam da böyle, basit okları toplayarak en karmaşık alanları kurar.

7.4 Basit Kuralın Gücü

Bu kadar basit bir kuralın neden bütün elektromanyetizmanın iskeleti olduğunu görmek kolay. Süperpozisyon sayesinde, en çetrefilli alanı bile basit parçalardan kurabiliriz. Üstelik beşinci bölümdeki nötrlük de bir süperpozisyonudur. Eşit ve zıt iki alan aynı noktada toplanıp sıfır verir. İşte maddenin sükûneti, alanların birbirini sıfıra toplamasıdır.

eşit ve zıt alanlar $\rightarrow$ toplam sıfır



nötrlük de süperpozisyonudur

Şekil 7.2 — Nötrlük de süperpozisyonudur. Eşit ve zıt iki alan aynı noktada toplanıp birbirini siler.

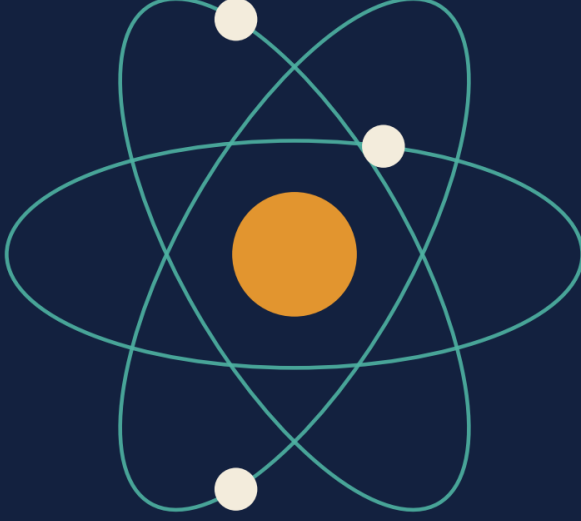
Bir antenin yaydığı sinyal, bir molekülü bir arada tutan kuvvetler, gözünün gördüğü her şey, hepsi süperpozisyonun eseridir.

7.5 Bütün Takım Elimizde

Artık bütün araçlara sahibiz. Yük, kuvvet, yasa, denge, alan ve süperpozisyon. Elimizde görünmez mimarın bütün takımı var. Geriye tek bir soru kalıyor, hem de bu kitabın en başında sorduğumuz soru. Bütün bunlar ne inşa ediyor? Cevap, dokunduğun, üstünde durduğun ve

aslında kendin olan her şey. Son bölüm. Katılığın
Kaynağı. Sayfayı çevir.

BÖLÜM SEKİZ



Katılığın Kaynağı

*Kimya, bağ, hayat —
hepsi tek bir kuvvetin mimarisi.*

Katılığın Kaynağı

*Kimya da, hayat da, sen de —
hepsi tek bir kuvvetin eseri.*

8.1 Başa Dönüş

Bu kitaba bir soruyla başlamıştık. Neden sandalye seni taşıyor, neden elin masayı delip geçmiyor? O zaman cevabı vermiştim ama açıklayamamıştım. Elindeki elektronlar masanın elektronlarını iter. Şimdi, bütün yolu yürüdükten sonra, o cevabın arkasındaki dünyayı görebiliyoruz. Yasayı, şiddeti, dengeyi, alanı ve süperpozisyonu. Artık görünmez mimarın nasıl çalıştığını biliyoruz.

8.2 Atomdan Moleküle: Kimyasal Bağ

Atomlar nadiren yalnız durur. Çoğu zaman bir araya gelip moleküller kurar. Peki onları bir arada ne tutar?

Yine elektrik. İki atom yan yana geldiğinde, dış elektronlarını paylaşır ve bu ortak elektronlar her iki çekirdeğe birden çekilir. İşte bu çekme, **kimyasal bağdır**.



Şekil 8.1 — Kimyasal bağ. İki çekirdek ortak elektronları paylaşır ve elektrik çekimiyle bir arada durur.

Bütün kimya, periyodik tablodaki her element, her tepkime, suyun ıslaklığı, demirin sertliği, hepsi elektrik kuvvetinin elektronları düzenlemesidir. Sıfırıncı bölümde kimya fiziğe yaslanır demiştim. İşte yaslandığı yer burası.

8.3 Molekülden Maddeye

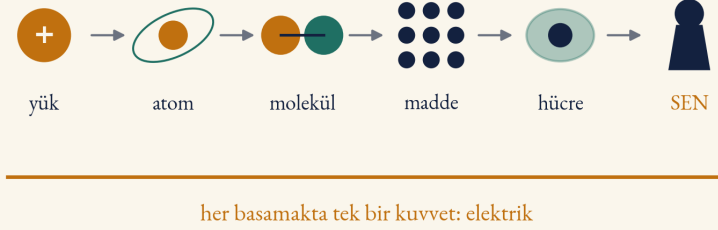
Moleküller de bir araya gelip maddeyi kurar. Bir kayanın sertliği, bir ipin gerginliği, çeliğin dayanıklılığı, tenin yumuşaklığı, suyun akışkanlığı, hepsi atomlar ve moleküller arasındaki elektrik bağlarıdır. Bir cismin katı olması, içindeki sayısız elektrik bağının onu bir arada tutmasıdır. Birinci bölümdeki o katılık duygusu, işte milyarlarca elektrik bağının ortak sesidir.



8.4 Maddeden Hayata

Ve sonra hayat gelir. Hayat da elektriğin üstüne kuruludur. DNA'nın sarmalını tutan, proteinleri katlayan, hücre zarını ayakta tutan, hepsi elektrik kuvvetidir. Sinirlerinde koşan sinyaller elektriktir. Kasını kasan, kalbini atan, şu anda bu satırları okurken beyninde akan her düşünce, elektrik sinyalleridir. Sıfırıncı bölümün i içe halkalarını hatırla. Biyoloji

kimyanın içinde, kimya fiziğın içinde. Hayat, en içteki halkadır ve onu da aynı kuvvet besler.



Şekil 8.2 — Yükten sana kadar. Her basamak, bir öncekinin elektrik kuvvetiyle bağlanmasından doğar.

8.5 Görünmez Mimarın Portresi

Portre tamamlandı. Sandalyeden atoma, atomdan kimyasal bağa, bağdan hücreye, hücreden düşünceye, tek bir kuvvet. Görünmez mimar bunların hepsini inşa etti. Onu hiç görmedin, hiç duymadın, hiç dokunamadın, çünkü o zaten dokunmanın kendisiydi.

*Görünmez mimarı hiç görmedin.
Çünkü onunla yapıldın.*

Fiziği ilk ders yaptık, çünkü bütün öteki bilgiler onun koyduğu sınırların içinde yaşar. Bir genç, elektrik kuvvetini anladığında, yalnızca bir doğa yasasını değil, kendi bedeninin, kendi dünyasının ve kendi düşüncesinin dokusunu anlamış olur. Burası başlangıçtı. Yol buradan açılıyor.

Sonsöz: Bir Kapı

Bu kitap bir kuvveti anlattı. Ama asıl anlatmak istediğim bir bakış açısıydı. Evrenin tek bir gerçeklikten yapıldığını ve o gerçekliğin madde, enerji ve alan diye ayrı görünen tek bir dokuda toplandığını. Elektrik kuvveti bunun en temiz kanıtıdır. Görmediğin bir alan, dokunduğun bir dünya kurar.

GÜN'da bu yalnızca ilk derstir. Ardından kimya gelecek, sonra hayat, sonra düşünce. Her biri bu ilk dersin üstüne basacak. Çünkü bir şeyi gerçekten anlamak, onun hangi yasaların çocuğu olduğunu bilmektir.

Yola çıktın. Devam et.

— Süleyman Bayramoğlu



ELEKTRİK KUVVETİ — Tam Sürüm

GUN Fizik Dizisi, Birinci Ders

Süleyman Bayramoğlu · İstanbul, 2026

Bilişim ortağı (ITP): Claude

Dokuz bölümün tamamı tam metindir.

GUN Fizik Dizisi'nin ilk cildi tamamlanmıştır.