gerçekten bilmeniz gereken

50 fizik fikri

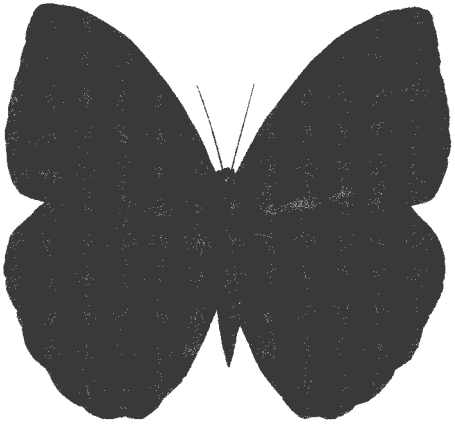


Joanne Baker

domingo

gerçekten bilmeniz gereken

50 fizik fikri



Joanne Baker

Çeviri: Çağlar Sunay

domingo

İçindekiler

Giriş *3*

HAREKET HALİNDEKİ MADDE

01 Mach İlkesi *4*
02 Newton'ın Hareket Yasaları *8*
03 Kepler Yasaları *12*
04 Newton'ın Kütleçekim Yasası *16*
05 Enerjinin Korunumu *20*
06 Basit Harmonik Hareket *24*
07 Hooke Yasası *28*
08 İdeal Gaz Yasası *32*
09 Termodinamiğin İkinci Yasası *36*
10 Mutlak Sıfır *40*
11 Brown Hareketi *44*
12 Kaos Kuramı *48*
13 Bernoulli Denklemi *52*

DALGALARIN ALTINDA

14 Newton'ın Renk Kuramı *56*
15 Huygens İlkesi *60*
16 Snell Yasası *64*
17 Bragg Yasası *68*
18 Fraunhofer Kırınımı *72*
19 Doppler Etkisi *76*
20 Ohm Yasası *80*
21 Fleming'in Sağ El Kuralı *84*
22 Maxwell Denklemleri *88*

KUANTUM MUAMMALARI

23 Planck Yasası *92*
24 Fotoelektrik Etki *96*
25 Schrödinger Dalga Denklemi *100*
26 Heisenberg Belirsizlik İlkesi *104*
27 Kopenhag Yorumu *108*
28 Schrödinger'in Kedisi *112*
29 EPR Paradoksu *116*
30 Pauli Dışlama İlkesi *120*
31 Süper İletkenlik *124*

ATOMU PARÇALAMAK

32 Rutherford Atomu *128*
33 Antimadde *132*
34 Nükleer Fisyon *136*
35 Nükleer Füzyon *140*
36 Standart Model *144*
37 Feynman Diyagramları *148*
38 Tanrı Parçacığı *152*
39 Sicim Kuramı *156*

UZAY VE ZAMAN

40 Özel Görelilik *160*
41 Genel Görelilik *164*
42 Kara Delikler *168*
43 Olbers Paradoksu *172*
44 Hubble Yasası *176*
45 Büyük Patlama *180*
46 Kozmik Şişme *184*
47 Karanlık Madde *188*
48 Kozmolojik Sabit *192*
49 Fermi Paradoksu *196*
50 Antropi İlkesi *200*

Terimler Sözlüğü *204*

Dizin *206*

Giriş

Arkadaşlarıma bu kitaptan söz ettiğimde "Fizik hakkında gerçekten bilmen gereken ilk şey zor olduğudur" diyerek dalga geçtiler. Buna rağmen fiziği hepimiz her gün kullanırız. Aynaya baktığımızda ya da gözlüğümüzü taktığımızda ışığın fiziğinden yararlanırız. Çalar saatimizi kurduğumuzda zamanı ölçeriz. Bir haritaya bakarken geometrik uzayda dolaşırız. Cep telefonlarımız bizi başımızın üzerinde yörüngede dönen uydulara görünmez elektromanyetik dalgalarla bağlar. Sırf teknolojiyle de ilgili değildir fizik. Damarlarımızda akan kan bile fiziksel dünyanın bilimine, fizik yasalarına uyar.

Modern fizik sürprizlerle doludur. Kuantum fiziği nesnelerin var olup olmadığını sorgulayarak dünyamızı tepetaklak etmiştir. Kozmoloji evrenin ne olduğunu araştırır. Evren nasıl oluşmuştur? Neden buradayız? Evrenimiz özel midir, yoksa kaçınılmaz bir sonuç mudur? Atomun içini dikkatle inceleyen fizikçiler orada gizli bir temel parçacıklar dünyasının varlığını ortaya çıkarmıştır. En sert maun masanın bile aslında çok büyük bölümü boşluktan ibarettir. Atomlarını nükleer kuvvetler ayakta tutar. Fizik felsefeden çıkmıştır ve günlük deneyimlerimizi aşan, hiç beklenmedik yeni dünya görüşleri sağlayarak bir bakıma ona geri dönmektedir.

Ne var ki fizik hayal ürünü birtakım fikirlerin toplamı da değildir. Gerçekler ve deneyler üzerine inşa edilmiştir. Ve tıpkı bilgisayar yazılımlarında hataların düzeltilip yeni modüllerin eklenmesi gibi, fizik de bilimsel yöntem sayesinde yasalarını sürekli iyileştirip geliştirir. Kanıtların gerektirmesi durumunda düşünce şekillerinde önemli kaymalar yaşanabilir ama bunların benimsenmesi zaman alır. Kopernik'in Dünya'nın Güneş'in çevresinde döndüğü fikrinin genel kabul görmesi için bir kuşaktan uzun zaman geçmesi gerekmiştir. Ama bu süreç de zamanla hızlanmış, kuantum fiziği ve göreliliğin fiziğe eklenmesi için on yıl yeterli olmuştur. Kuantum fiziği ve göreliliğin kabulleri, en başarılı fizik yasalarının bile sürekli sınamalardan geçtiğini gösterir.

Bu kitap fizik dünyasında, kütleçekim, ışık ve enerji gibi temel kavramlardan kuantum kuramı, kaos ve karanlık enerji gibi modern fikirlere kadar kısacık bir tur sunuyor. Umarım her iyi turistik gezi kılavuzu gibi aklınızı çelip sizi daha da çok öğrenmeye yönlendirir. Fizik, gerekli ve önemli olduğu kadar eğlencelidir de...

01 Mach İlkesi

Atlıkarıncada dönen bir çocuk uzaktaki yıldızlar tarafından yukarı doğru çekilir. Bu Mach ilkesidir: Oradaki kütle buradaki eylemsizliği etkiler. Kütleçekim etkisiyle, uzaktaki nesneler yakındaki nesnelerin hareketlerini ve dönüşlerini etkiler. Peki bunun sebebi nedir ve bir şeyin hareket edip etmediğini nasıl anlayabiliriz?

Tren istasyonunda bir trene bindiğinizde şöyle bir şey muhtemelen sizin de başınıza gelmiştir: Yan perondaki tren hareket ettiğinde bir an için kendi treninizin mi yoksa yandaki trenin mi hareket ettiğini bilemeyip karıştırmışsınızdır. Hangisinin hareket ettiğini kesin olarak bilmenin bir yolu var mıdır?

Avusturyalı fizikçi ve düşünür Ernst Mach 19. yüzyılda kafasını bu soruya takmıştı. Mach büyük Isaac Newton'ın izinden gidiyordu ama Mach'ın tersine Newton uzayın mutlak bir arkaplan oluşturduğuna inanıyordu. Newton'ın uzayı, tıpkı grafik kağıdı gibi ızgara şeklinde bir koordinat sistemi içeriyordu. O da bütün hareketleri bu sabit ızgara sistemine göre ifade ediyordu. Ancak Mach buna katılmıyor, hareketin bir ızgara sistemine göre değil, ancak bir başka nesneye göre ölçülmesinin anlamlı olduğunu ileri sürüyordu. Bir başka nesneye göre olmayan hareketin ne anlamı olabilirdi? Newton'ın rakibi Gottfried Leibniz'in eski fikirlerinden etkilenen Mach, yalnızca göreli hareketin bir anlamı olduğunu düşünme konusunda Albert Einstein'ın öncüsüydü. Mach'a göre bir top Fransa'da da olsa, Avustralya'da da olsa hep aynı şekilde yuvarlanacağına göre, uzayın ızgara sisteminin konuyla ilgisi yoktu. Topun yuvarlanmasına etki edebilecek tek şey kütleçekimdi. Top Ay'dayken farklı yuvarlanabilir, çünkü orada topun kütlesini çeken kütleçekim kuvveti daha zayıftır. Evren'deki her nesne diğer tüm nesnelere kütleçekim kuvveti uyguladığından, tüm nesneler diğerlerinin varlığını bu karşılıklı etkileşim aracılığıyla hisseder. Bu nedenle hareket

dönem

İÖ ~385

Aristoteles nesnelerin kuvvetin etkisi yüzünden hareket ettiğini ifade eder.

1640

Galileo eylemsizlik ilkesini formüle eder.

"Mutlak uzay, doğası gereği kendi dışında hiçbir şeye referansı olmadığından, her zaman homojendir ve kıpırdamaz."

Isaac Newton, 1687

en nihayetinde uzayın kendi özelliklerine değil, maddenin, yani kütlenin dağılımına bağlı olmalıdır.

Kütle Kütle tam olarak nedir? Bir nesnenin içerdiği madde miktarının ölçüsüdür. Bir parça metalin kütlesi, o metal parçasını oluşturan tüm atomların kütlelerinin toplamına eşittir. Kütle, ağırlıkla aynı şey değildir. Ağırlık, bir kütleyi aşağı çeken kütleçekim kuvvetinin bir ölçüsüdür. Bir astronotun Ay'daki ağırlığı Dünya'dakinden azdır, çünkü daha küçük olan Ay'ın astronota uyguladığı kütleçekim kuvveti daha düşüktür. Ama astronotun kütlesi Ay'da da, Dünya'da da aynıdır, çünkü içerdiği atomların sayısı değişmemiştir. Madde ile enerjinin birbirinin yerine konabileceğini gösteren Albert Einstein'a göre kütle saf enerjiye dönüştürülebilir. Yani kütle de sonuçta enerjidir.

Eylemsizlik Eylemsizlik (inertia) sözcüğü "tembellik" anlamındaki Latince bir sözcükten gelir. Kütleye çok benzer ama aynı şey değildir; kuvvet uygulanan bir nesnenin hareket etmesindeki güçlüğü anlatır. Eylemsizliği büyük olan bir nesne hareketini değiştirmeye direnir. Uzayda bile, durmakta olan büyük kütleli bir nesneyi, hareket ettirmek için büyük bir kuvvet gerekir. Dünya'ya doğru ilerleyen dev bir asteroidin çarpmasını engellemek için devasa miktarlarda ittirmek gerekir. Böyle bir ittiriş nükleer bir patlamayla sağlanabileceği gibi, küçük ama çok daha uzun süre uygulanan bir kuvvetle de sağlanabilir. Eylemsizliği asteroitten çok daha az olan bir uzay aracına minicik jet motorlarıyla kolayca manevra yaptırılabilir.

Eylemsizlik ilkesini İtalyan gökbilimci Galileo Galilei 17. yüzyılda bulmuştur. Buna göre bir nesne kendi başına bırakılır ve ona hiçbir kuvvet

1687
Newton kova argümanını yayımlar.

1893
Mach *The Science of Mechanics*'i [*Mekanik Bilimi*] yayımlar.

1905
Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

uygulanmazsa, hareketinde bir değişiklik olmaz. Yani hareket halindeyse aynı yönde ve aynı hızla ilerlemesini sürdürür, hareketsizse durmaya devam eder. Newton bu fikri geliştirmiş ve kendi hareket yasalarının ilkini oluşturmuştur.

Newton'ın kovası Newton kütleçekimi de formüle dökmüştür. Kütlelerin birbirini çektiğini görmüştü. Elma ağaçtan yere düşer çünkü Dünya'nın kütlesi tarafından çekilir. Aynı şekilde Dünya da elmanın kütlesi tarafından çekilir ama Dünya'nın elmaya doğru mikroskobik kaymasını ölçmemiz o kadar kolay değildir.

Newton kütleçekim etkisinin uzaklıkla birlikte hızla azaldığını kanıtlamıştır. Örneğin Dünya'dan uzaklaştıkça kütleçekim kuvvetinin etkisi büyük bir hızla azalır. Ama hiçbir zaman tam olarak sıfırlanmaz. Dolayısıyla hareketimizin üzerinde hep bir etkisi olur. Aslında Evren'deki her nesnenin hareketlerimiz üzerinde –fark edilemeyecek denli az da olsa– bir kütleçekim etkisi vardır.

Newton topaç gibi dönmekte olan bir kova su düşünerek nesnelerle hareket arasındaki ilişkiyi anlamaya çalıştı. Kova döndürülmeye başlandığında su sabit kalır. Sonra su da dönmeye başlar. Sıvı kenara sürünerek kaçmaya çalıştıkça yüzeyi çukurlaşır ama kovanın sınırlayıcı kuvvetiyle yerinde kalır. Newton suyun dönüşünün yalnızca mutlak uzayın sabit referans sistemi içinde –onun ızgara sistemine göre– ele alındığında anlaşılabileceğini ileri sürer. Bu sistemde, kovanın dönüp dönmediğini yalnızca kovaya bakarak söyleyebiliriz ve suyun yüzeyini içbükey yapan kuvvetleri iş başındayken görebiliriz.

Yüzyıllar sonra Mach bu argümanı baştan ele aldı. Peki ya Evren'deki tek şey su dolu kova olsaydı ne olurdu? Dönenin kova olduğun nasıl bilebilirdik? Dönenin kova değil de su olduğunu da iddia edemez miydik? Ayrımı görmenin tek yolu kovanın evrenine bir başka nesne daha yerleştirmektir. Örneğin bir oda duvarı veya uzakta bir yıldız. O zaman kovanın ona göre dönüyor olduğu açıkça anlaşılacaktır. Ama duran odanın ya da sabit yıldızların referans çerçevesi olmaksızın, dönenin kova mı yoksa su mu olduğunu kim söyleyebilir? Gökyüzünde ilerleyen Güneş'e ve yıldızlara baktığımızda da aynı şeyi yaşarız. Dönen yıldızlar mı, yoksa Dünya mıdır? Nasıl bilebiliriz?

Ernst Mach 1838–1916

Avusturyalı fizikçi Ernst Mach, Mach ilkesinin yanında optik, akustik, duyusal algı fizyolojisi, bilim felsefesi ve özellikle ses-üstü hızlara yönelik çalışmalarıyla bilinir. 1877'de sesten hızlı ilerleyen bir cismin nasıl girdaba benzer bir şok dalgası oluşturacağını anlattığı etkili bir makale yayımlamıştır. Sesten hızlı giden uçakların sonik patlamasına neden olan şey de havadaki bu şok dalgasıdır. Bir merminin ya da jet uçağının hızının ses hızına oranına günümüzde Mach sayısı denir. Örneğin Mach 2, ses hızının iki katı hızda demektir.

Mach ve Leibniz'e göre hareketi anlayabilmemiz için referans alabileceğimiz başka nesnelerin bulunması gerekir. Bu nedenle eylemsizlik kavramı, içinde tek bir nesne bulunan bir evrende anlamsızdır. Yani Evren'de hiç yıldız olmasaydı, Dünya'nın döndüğünü anlayamazdık. Yıldızlar bize kendilerine göre dönüyor olduğumuzu söyler.

Mach ilkesinde ifade edilen mutlak hareket ve göreli hareket fikirleri başta Einstein olmak üzere –ki "Mach ilkesi" adını o koymuştur– birçok fizikçiye esin kaynağı olmuştur. Einstein tüm hareketlerin göreli olduğu fikrini alarak özel ve genel görelilik kuramlarını oluşturmuştur. Ayrıca Mach'ın fikirlerinden yararlanarak o güne dek yanıtlanmamış sorulardan birini de çözmüştür: Dönmenin ve ivmelenmenin ek kuvvetler yaratması gerekir. Peki bunlar nerededir? Einstein'ın gösterdiği üzere, Evren'deki her şey Dünya'nın çevresinde dönüyor olsaydı, gezegenimizin belli bir şekilde yalpalamasına neden olan küçük bir kuvvetin hissedilebiliyor olması gerekirdi.

Uzayın doğası biliminsanlarını binlerce yıldır şaşırtmayı sürdürmektedir. Modern parçacık fizikçileri bu doğayı atomaltı parçacıkların sürekli yaratılıp yok edildiği, kaynayan bir kazana benzetir. Kütle, eylemsizlik, kuvvetler ve hareket, hepsi en nihayetinde fokurdayan bu kuantum çorbasının dışavurumları olabilir.

» fikrin özü
Hareket için kütle önemlidir

02 Newton'ın Hareket Yasaları

Isaac Newton tüm zamanların en önemli, en etkili ve en kavgacı biliminsanlarından biridir. Kalkülüsün icat edilmesini sağlamış, kütleçekimi açıklamış ve beyaz ışığın içerdiği renkleri tanımlamıştır. Golf topunun izlediği eğik rota, viraj alan bir otomobilde kapıya doğru savruluşumuz ve beyzbol sopası topa çarptığında hissettiğimiz kuvvet onun ortaya koyduğu üç hareket yasasıyla açıklanır.

Her ne kadar Newton'ın zamanında motosiklet daha icat edilmemiş olsa da, motosiklet kullanan dublörlerin düşey ölüm duvarına nasıl çıktığını ve olimpiyatlarda bisikletçilerin eğimli bir parkurda nasıl yarıştığını onun hareket yasalarıyla açıklarız.

17. yüzyılda yaşayan Newton, bilimin en önde gelen dehalarından biri kabul edilir. Fırlatılan bir topun havada nasıl bir eğik rota izlediği, nesnelerin neden yukarı değil de aşağı düştüğü ve gezegenlerin Güneş'in çevresinde nasıl döndüğü gibi çok basit görünen ama aslında çok temel ve derin olan bazı gerçekleri anlamamız, onun aşırı meraklı kişiliği sayesinde olmuştur.

1660'lı yıllarda Cambridge Üniversitesi'nde sıradan bir öğrenci olan Newton, matematiğin büyük eserlerini okumaya başladı. Ve okudukça hukuk yasalarından fizik yasalarına doğru sürüklendi. Veba salgını nedeniyle üniversitenin kapalı olması yüzünden çalışmalarını evinde sürdürdüğü bir dönemde, hareketin üç yasasını geliştirmeye yönelik ilk adımları attı.

Kuvvetler Newton ilk hareket yasasını Galileo'nun eylemsizlik ilkesine dayanarak formüle etti. Bu yasaya göre cisimler kendilerine kuvvet

dönem

İÖ ~350

Aristoteles *Fizik* adlı eserinde hareketin süregiden değişimlerden dolayı olduğunu ileri sürer.

1640

Galileo eylemsizlik ilkesini formüle eder.

Newton'ın hareket yasaları

Birinci yasa Cisimler, hareketlerinin hızını ya da yönünü değiştirecek bir kuvvet uygulanmadıkça, sabit bir hızla dümdüz gider ya da oldukları yerde durmaya devam ederler.

İkinci yasa Her kuvvet, uygulandığı cismin kütlesiyle orantılı bir ivme yaratır ($F = ma$).

Üçüncü yasa Her etki kuvveti, aynı büyüklükte ama ters yönde bir tepki kuvveti yaratır.

uygulanmadıkça hareket etmeye başlamazlar veya hızlarını değiştirmezler. Hareketsiz duran nesneler, bir kuvvet uygulanmadıkça hareketsizliklerini sürdürürler. Sabit hızla ilerleyen nesneler ise bir kuvvet uygulanmadıkça aynı hızla ilerlemeyi sürdürürler. Bir kuvvet (örneğin itme) nesneye ivme verir ve nesnenin hızı değişir. Hızın zamanla değişimine ivme denir.

Bunu kendi hayatımızdaki örneklerden takdir etmemiz zordur. Bir hokey topuna vurulduğunda, top buzda kayarak ilerler ama buza sürtünmesinden dolayı en sonunda durur. Sürtünme, topun ters yönde ivmelenmesine, yani yavaşlamasına yol açan bir kuvvet uygular. Newton'ın ilk yasası, ortamda hiçbir sürtünmenin olmadığı özel bir durum olarak görülebilir. Buna en çok yaklaşabileceğimiz ortam uzaydır ama orada bile kütleçekim gibi kuvvetler işbaşındadır. Sonuç olarak bu ilk yasa kuvvet ve hareketi anlamak için temel bir mihenk taşı oluşturur.

İvme Newton'ın ikinci hareket yasası, uygulanan kuvvetin büyüklüğü ile yarattığı ivmelenme arasındaki ilişkiyi kurar. Bir nesneye belli bir ivme vermek için gereken kuvvet, nesnenin kütlesiyle orantılıdır. Ağır nesneleri –daha doğrusu eylemsizliği büyük olanları– ivmelendirmek için gereken

1687
Newton ünlü eseri *Principia*'yı yayımlar.

1905
Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

kuvvet, hafif nesnelerinkinden daha büyük olur. Yasaya göre, örneğin duran bir arabayı bir dakikada 100 km/saat hıza çıkarmak için gereken kuvvet, arabanın kütlesiyle ivmesinin çarpımına eşittir.

Newton'ın ikinci yasası cebirsel olarak $F = ma$ şeklinde ifade edilir. Yani kuvvet (F) eşittir kütle (m) çarpı ivme (a). Kütle (m) eşitliğin karşı tarafına atıldığında ikinci yasa, ivmenin birim kütleye düşen kuvvete eşit olduğunu söyler. İvme sabitse, kütle başına uygulanan kuvvet de sabittir. Dolayısıyla bir kilogramlık bir kütleyi hareket ettirmek için, küçük bir cismin parçası da olsa, büyük bir cismin parçası da olsa, aynı miktarda kuvvet gerekir. Bu da Galileo'nun "Aynı yükseklikten bırakılan tüy mü, yoksa gülle mi yere önce ulaşır?" sorusunu yanıtlar. Gözümüzde canlandırdığımızda güllenin tüyden önce ulaşacağını düşünebiliriz. Ama bunun nedeni tüyün hızını azaltan hava direncinden başka bir şey değildir. Ortamda hiç hava olmasaydı, ikisi de aynı hızla düşecek ve yere aynı anda ulaşacaklardı. İkisine etki eden ivme aynı ivme olduğundan (yerçekimi ivmesi), tam aynı anda düşeceklerdi. 1971'de *Apollo 15* astronotları, tüyün hızını kesecek bir atmosferin bulunmadığı Ay'da, tüy ile ağır bir çekicin aynı hızla düştüğünü göstermişlerdir.

Etki tepkiye eşittir Newton'ın üçüncü yasasına göre bir cisme uygulanan kuvvet, kuvveti uygulayan cisimde eşit büyüklükte ve ters yönde bir tepki kuvveti yaratır. Bir başka deyişle, her etki bir tepki doğurur. Tepki kuvveti geri tepme şeklinde hissedilir. Bir patenci bir diğerini iterse, kendi de ters yöne gider. Tüfekle atış yapan biri ateş ettiği anda tüfeğin geri tepmesini omzunda hisseder. Tepme kuvveti mermiyi ileri iten kuvvetle eşit büyüklüktedir. Polisiye filmlerde vurulan kişiler merminin uyguladığı kuvvetle geriye savrulur. Bu aslında abartıdır. Kuvvet gerçekten bu denli büyükse, ateş eden kişinin de silahın geri tepmesiyle aynı şekilde geri savrulması gerekirdi. Yerde zıpladığımızda Dünya'ya aşağı doğru küçük bir kuvvet uygularız. Ama Dünya o kadar büyüktür ki bunun etkisi fark edilmez bile.

Bu üç yasa artı kütleçekimle Newton, ağaçlardan düşen palamutlardan top mermilerine kadar her nesnenin hareketini açıklayabiliyordu. Newton bu üç denklemin çıkarımlarının verdiği güvenle bir motosiklete atlayıp düz ölüm duvarını motosikletiyle döne döne çıkabilirdi, tabii o devirde böyle bir şey olsaydı. Newton'ın yasalarına ne kadar güvenebiliriz? Birinci yasa motosikletin ve sürücünün sabit bir hızda dümdüz gitmek istediğini söyler. İkinci yasaya göre motosikletin çember çizmesini sağlamak için yönünü sürekli değiştirecek sınırlayıcı bir kuvvetin uygulanması gerekir. Bu kuvveti

Isaac Newton 1643–1727

Isaac Newton, Britanya'da şövalye ünvanı verilen ilk biliminsanıdır. Okulda "dalgın" ve "avare" bir çocuk, Cambridge Üniversitesi'nde pek dikkat çekmeyen bir öğrenci olmasına karşın Newton, üniversitenin veba yüzünden kapandığı 1665 yazında birden parlayıverdi. Lincolnshire'daki evine dönünce Newton kendini matematiğe, fiziğe ve gökbilime verdi. Orada hareket yasalarının ilk biçimlerini oluşturdu, kütleçekimin ters kare yasasını buldu ve kalkülüsün temellerini attı. Bu olağanüstü buluşlarının sonucunda 1669'da, daha 27 yaşındayken Lucas Matematik Kürsüsü'ne seçildi. Daha sonra ilgisini optiğe çeviren Newton, bir prizma kullanarak beyaz ışığın gökkuşağının renklerindeki ışıklardan oluştuğunu keşfetti. Işık konusunda Robert Hooke ve Christiaan Huygens ile ünlü bir tartışmaya girdi. İki büyük yapıt ortaya koydu: *Philosophiae naturalis Principia mathematica* ya da kısaca *Principia* ve *Opticks*. Akademik kariyerinin sonlarına doğru politikayla ilgilendi. Kral II. James'in üniversite atamalarına müdahale etmesi üzerine akademik bağımsızlığı savundu ve 1689'da parlamentoya girdi. Bir yandan ilgi meraklısı, bir yandan içine kapanık ve eleştiriye tahammül edemeyen biri olan Newton, bulunduğu konumun gücünü bilimsel rakiplerine karşı hiç çekinmeden kullandı ve ölene kadar kavgacı biri olarak kaldı.

uygulayan şey, motosikletin tekerlerinin değmekte olduğu duvardır. Gereken kuvvetin büyüklüğü ise motosiklet ve sürücünün toplam kütlesi ile ivmelerinin çarpımı kadardır. Üçüncü yasaya göre, duvar motosikletin kıvrılmasına yol açan bir kuvvet uyguladığına göre, motosiklet de duvara eşit bir kuvvet uygulayacaktır. Sürücüyü ve motosikleti dönmekte olan duvara tutturan şey işte bu basınçtır. Motosiklet yeterince hızlıysa düşey bir duvarda bile gidebilir.

Bugün bile arabayla hızla bir dönemeci dönerken ya da aman diyelim, bir yere çarptığınızda, işin içinde hangi kuvvetlerin olduğunu açıklamak için ihtiyacınız olan neredeyse tek şey Newton'ın yasalarıdır. Newton'ın yasalarının geçerli olmadığı durumlar, çok küçük kütleli nesnelerin bulunduğu ya da ışık hızına yakın hızlarla gidilen durumlardır. Bu uç durumlarda kuantum mekaniği ve Einstein'ın görelilik kuramı devreye girer.

» fikrin özü
Hareketi yakalamak

03 Kepler Yasaları

Johannes Kepler her şeyde kalıplar bulmaya çalışırdı. Mars'ın gökyüzünde yaptığı ilmekli hareketi sayılara döken astronomi tablolarını incelerken, gezegenlerin yörüngelerini açıklayan üç yasayı keşfetti. Kepler gezegenlerin yörüngelerinin elips olduğunu ve uzaktaki gezegenlerin Güneş'in çevresinde daha yavaş döndüğünü açıkladı. Kepler'in yasaları hem gökbilimi dönüştürmüş hem de Newton'ın kütleçekim yasasının temellerini atmıştır.

Gezegenler Güneş'in çevresinde dönerken, yakın olanlar uzak olanlara göre daha hızlı ilerler. Merkür, Güneş'in çevresini yalnızca 80 Dünya gününde döner. Eğer Jüpiter aynı hızla dönseydi, yörüngesini tamamlaması yalnızca 3,5 Dünya yılı sürerdi. Halbuki 12 Dünya yılı sürmektedir. Gezegenlerin hızları aynı olmadığı için arada birbirlerinin yanından geçip giderler. Dünya'dan bakıldığında yanından geçilen gezegen bir süreliğine gökyüzünde geri gidiyormuş gibi görünür. Kepler'in zamanında bu "gerileme" hareketleri büyük bir muammaydı. Kepler bu muammayı çözerken kazandığı içgörü sayesinde kendi adıyla anılan üç yasayı geliştirdi.

"O küçük, sevimli, mavi bezelyenin Dünya oluşu beni aniden çok sarstı. Başparmağımı kaldırıp bir gözümü kapadım. Başparmağım Dünya'yı örttü. Kendimi bir dev gibi hissetmedim. Çok, çok küçük hissettim."

Neil Armstrong, 1930–2012

Çokgenlerdeki kalıplar Alman matematikçi Johannes Kepler doğada kalıplar bulma peşindeydi. 16. yüzyılın sonlarıyla 17. yüzyılın başları arasında, astrolojinin çok ciddiye alındığı ve gökbilimin bir doğa bilimi olarak henüz emekleme döneminde olduğu bir çağda yaşadı. O zamanlar doğanın yasalarını ortaya çıkarma uğraşısında gözlem kadar dini ve batıl inançlar da önemliydi. Evren'in temelindeki yapının kusursuz geometrik şekillerden oluştuğuna inanan Kepler, yaşamını doğada gizli olan bu kusursuz, hayali çokgenleri ortaya çıkarmaya adamıştı.

dönem

İÖ ~580

Pisagor gezegenlerin mükemmel kristal kürelerin içinde turladığını belirtir.

~150

Batlamyus gezegenlerin gerileme hareketlerini kaydeder ve ilmek hareketi yaptıklarını ileri sürer.

1543

Kopernik gezegenlerin Güneş'in çevresinde döndüğünü ileri sürer.

Johannes Kepler 1571–1630

Johannes Kepler gökbilime küçük yaşlarda sevdalanmış, on yaşına gelmeden günlüğüne gördüğü bir Ay tutulmasına ve bir kuyrukluyıldıza ilişkin notlar almıştı. Graz'da ders verirken bir kozmoloji kuramı geliştirdi. Bu kuram *Mysterium Cosmographicum*'da (*Kozmosun Kutsal Gizemi*) yayımlandı. Daha sonra gökbilimci Tycho Brahe'nin Prag dışındaki gözlemevinde asistanlık yaptı. 1601'de İmparatorluk Matematikçisi konumunu ondan devraldı. Burada Kepler bir yandan imparator için burç haritaları hazırlıyor, bir yandan da Brahe'nin gökbilim tablolarını inceliyordu. *Astronomia Nova*'da (*Yeni Astronomi*) dairesel olmayan yörüngeler kuramı ve gezegen hareketlerinin birinci ve ikinci yasalarını yayımladı. Otacılık yapan annesi 1620'de cadılıkla suçlanıp hapsedilince ancak Kepler'in yasal çabalarıyla kurtulabildi. Çalışmalarını sürdüren Kepler, gezegen hareketlerinin üçüncü yasasını da *Harmonices Mundi*'de (*Dünyaların Ahengi*) yayımladı.

Kepler'in çalışmaları, Polonyalı gökbilimci Nikolas Kopernik'in sıra dışı iddialarından yüz yıl sonra gelmişti. Kopernik'e göre Evren'in merkezinde Dünya değil, Güneş yer alıyor ve Güneş Dünya'nın çevresinde değil, Dünya Güneş'in çevresinde dönüyordu. O güne dek, Yunan düşünür Batlamyus'tan beri, Güneş'in ve yıldızların Dünya'nın çevresindeki kristal küreler üzerinde taşındığı düşünülüyordu. Kopernik yaşamı boyunca bu radikal düşüncelerini yayımlamayı göze alamadı. Kilise'nin doktrinine ters düşmekten çekiniyordu. Bu işi o ölüm döşeğindeyken arkadaşları gerçekleştirdi. Kopernik'in görüşleri yine de çalkantıya yol açtı. Çünkü Dünya'nın Evren'in merkezinde olmadığı görüşü, insanı en yüce varlık olarak yaratıp Evren'in merkezine koyan bir Tanrı fikriyle bağdaşmıyordu.

Kepler, Kopernik'in Güneş merkezli fikrini benimsedi. Ama hâlâ gezegenlerin Güneş çevresindeki yörüngelerinin dairesel olduğuna inanıyordu. Aklında gezegen yörüngelerinin iç içe geçmiş bir dizi kürenin üzerinde olduğu bir sistem kurdu. Kürelerin aralarındaki uzaklıklar da düzgün çokyüzlülerin oranlarıyla belirleniyordu. Örneğin bir küre düzgün bir küpün içine tam sığacak büyüklükteyse, bir sonraki küre küpün köşelerine değerek onu tam kapsayacak büyüklükteydi. Doğa yasalarının temel geometrik oranlara uyduğu fikri ise Eski Yunanlardan kaynaklanıyordu.

1576
Tycho Brahe gezegenlerin konumlarının haritasını çıkarır.

1609
Kepler gezegenlerin eliptik yörüngelerde hareket ettiğini keşfeder.

1687
Newton kendi kütleçekim yasasıyla Kepler yasalarını açıklar.

"Bizler oldukça sıradan bir yıldızın ufak bir gezegenindeki gelişmiş bir maymun türüyüz. Ama Evren'i anlayabiliyoruz. Bu da bizi çok özel yapıyor."

Stephen Hawking, 1989

Gezegen, Yunanca "gezgin" sözcüğünden gelir. Güneş Sistemi'mizdeki gezegenler uzak yıldızlara oranla Dünya'ya çok daha yakın olduğundan, gökyüzünde geziniyormuş gibi görünürler. Her gece yıldızların arasında belli bir yol izlerler. Ama arada bir izledikleri yol tersine döner ve geriye doğru küçük bir ilmek yapar. Bir zamanlar bu geri gitme hareketlerinin kötü işaretler olduğu düşünülürdü. Batlamyus'un gezegen modelinde bu durumu anlamlandırmak imkânsızdı. Bu nedenle gökbilimciler bu şekilde hareket eden gezegenlerin yörüngesine dış çemberler, yani "ilmekler" ekledi. Ama bu ilmekler çok iyi işlemiyordu. Kopernik'in Güneş merkezli evreni, Dünya merkezli eski evrene göre daha az ilmeğe gerek duyuyordu ama hâlâ ince ayrıntıları açıklayamıyordu.

Kepler geometrik düşüncelerini destekleyecek şekilde gezegenlerin yörüngelerini modellemeye çalışırken, Tycho Brahe tarafından titizlikle hazırlanmış olan tabloları kullandı. Bunlar gezegenlerin gökyüzündeki hareketlerine dair o günkü en doğru verilerdi. Kepler sayıları incelerken çeşitli kalıplar fark ederek, adıyla anılan üç yasayı buldu.

Kepler yasaları

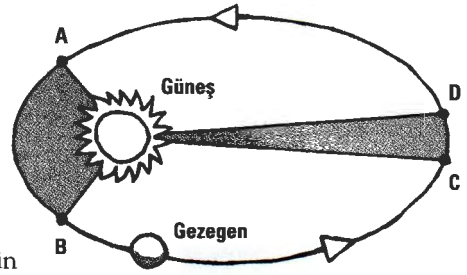
Birinci yasa Gezegenlerin yörüngeleri elips şeklindedir ve Güneş elipsin odaklarından birinde yer alır.

İkinci yasa Bir gezegen Güneş'in çevresindeki yörüngesinde ilerlerken eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar.

Üçüncü yasa Yörünge periyodu elipsin büyüklüğüyle orantılıdır. Öyle ki periyodun karesi, yarı büyük eksen uzunluğunun küpüyle orantılıdır.

Kepler ilk büyük buluşunu Mars'ın gerilemelerini çözerek yaptı. Gezegenlerin Güneş'in çevresindeki yörüngeleri, daha önce düşünüldüğü gibi dairesel değil de elips şeklinde olursa, hareketlerini açıklamak için bu ilmeklere gerek kalmayacağını fark etti. İşin ironik yanı, bu durum doğanın kusursuz şekiller izlemediği anlamına geliyordu. Kepler bu başarısına fazlasıyla sevinmiş olmalı. Ama saf geometriye dayanan bütün felsefesinin yanlış olduğu anlamına geldiği için aynı zamanda sarsılmıştır herhalde.

Yörüngeler Kepler ilk yasasında gezegenlerin eliptik, yani elips şeklindeki yörüngelerde ilerlediğini ve Güneş'in bu elipsin iki odağından birinde yer aldığını söyler. Kepler'in ikinci yasası, bir



gezegenin yörüngesinde ne kadar hızlı döndüğünü söyler. Gezegen yörüngesinde ilerlerken eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar. Birer pasta dilimini andıran bu alanlar, Güneş ile gezegenin iki konumu kullanılarak (AB ya da CD) çizilen açıyla ölçülür. Yörünge elips şeklinde olduğundan, gezegenin Güneş'e yakın olduğu dönemde uzak olduğu dönemdeki kadar alanı taraması için daha uzun mesafe katetmesi gerekir. Bu yüzden gezegen Güneş'e yakınken daha hızlı ilerler. Kepler'in ikinci yasası, gezegenin hızıyla Güneş'e olan uzaklığını ilişkilendirir. Kepler o zamanlar farkına varamamış olsa da, bu davranış, kütleçekimin gezegeni Güneş'e daha yakın olduğunda daha hızlı ivmelendirmesinden kaynaklanır.

Kepler'in üçüncü yasası bir adım daha ileri gider ve Güneş'ten çeşitli uzaklıklarda ve farklı büyüklüklerdeki elips yörüngelerin periyotlarının nasıl değiştiğini söyler. Bu yasa, yörünge periyodunun karesinin, eliptik yörüngenin uzun ekseninin küpüyle ters orantılı olduğunu belirtir. Eliptik yörünge büyüdükçe periyot, yani bir turun tamamlanması için geçen süre uzar. Güneş'ten uzaklığı Dünya'nın iki katı olan bir gezegenin bir tur atma süresi, Dünya'dan sekiz kat daha uzundur. Dolayısıyla daha uzak olan gezegenler daha yavaş turlar. Mars'ın Güneş'in çevresinde bir tam turu, yaklaşık 2 Dünya yılı sürer. Bu süre Satürn için 29 Dünya yılı, Neptün içinse 165 Dünya yılıdır.

"Gökyüzünü ölçerdim, şimdi gölgeleri ölçüyorum, Aklım gökyüzüne aitti, Dünya'ya ait bedenim dinleniyor."

Kepler'in mezar taşı yazısı, 1630

Bu üç yasayla Kepler, Güneş Sistemi'mizdeki tüm gezegenlerin yörüngelerini tarif etmeyi başarmıştır. Bu yasalar Güneş Sistemi'mizdeki kuyrukluyıldızlara, asteroitlere ve uydulara uygulanabildiği gibi, başka bir gökcisminin yörüngesinde dönen herhangi bir cisme, örneğin yıldızların çevresinde dönen gezegenlere ve hatta Dünya'nın etrafında vızır vızır dolaşan uydulara da aynı şekilde uygulanabilir. Kepler, ilkelerini geometrik yasalarla ifade etmede başarılı olmuştu ama bu yasaların neden geçerli olduğunu bilmiyordu. O bunların, doğanın temelinde yatan geometrik örüntülerden kaynaklandığına inanıyordu. Bu yasaları evrensel bir kütleçekim kuramı olarak birleştiren kişi Newton oldu.

» fikrin özü
Dünyaların yasası

04 Newton'ın Kütleçekim Yasası

Isaac Newton top mermilerinin gidişi, ağaçtan düşen meyvelerin düşüşü ve gezegenlerin hareketleri arasındaki ortak bağı keşfederek gökyüzü ile yeryüzünü birbirine bağlamış, böylece dev bir sıçrama yaratmıştır. Onun kütleçekim yasası, dünyamızdaki hareketlerin çoğunu açıklayan, fizikteki en güçlü fikirlerden biridir. Newton tüm nesnelerin kütleçekim kuvvetiyle birbirini çektiğini ve bu kuvvetin, uzaklığın karesiyle azaldığını ortaya atmıştır.

Kütleçekim düşüncesinin Newton'ın aklına ağaçtan düşen bir elma gördüğünde geldiği söylenir. Bunun doğru olup olmadığını bilmiyoruz ama Newton kütleçekim yasasını bulmak için hayal gücünü yeryüzündeki hareketlerden gökyüzündeki hareketlere kadar genişletmiştir.

"Kütleçekim silkinip kurtulması zor bir huydur."

Terry Pratchett, 1992

Newton cisimlerin ivme kazandıran bir kuvvet tarafından yere doğru çekildiğini fark etti (bkz. s. 8). Elmalar ağaçtan düşüyordu. Peki ağaç daha yüksek olsa ne olurdu? Boyu Ay'a kadar ulaşsa ne olurdu? Neden Ay da tıpkı elma gibi Dünya'ya düşmüyordu?

Her şey düşer Newton'ın bulduğu yanıt, öncelikle kuvvet, kütle ve ivmeyi birbirine bağlayan kendi hareket yasalarında yatıyordu. Topun fırlattığı bir gülle yere düşmeden önce belli bir yol alır. Top daha şiddetli ateşlenirse ne olur? O zaman gülle daha ileri gider. Peki top o kadar şiddetli ateşlensin ki gülle yere düşene kadar altındaki Dünya eğilsin; o zaman gülle nereye düşer? Newton güllenin Dünya'ya doğru çekileceğini ama sonra dairesel bir yörünge izlemeye başlayacağını fark etti. Tıpkı sürekli çekilen ama asla yere ulaşmayan bir uydunun hareketi gibi.

dönem

İÖ 350	1609	1640
Aristoteles nesnelerin neden düştüğünü söyler.	Kepler, gezegenlerin yörünge yasalarını ortaya koyar.	Galileo eylemsizlik ilkesini açıklar.



Olimpiyatlardaki çekiç atıcılar topukları üzerinde dönerken, çekici döner konumda tutan şey ipteki çekimdir. Bu çekim olmasa, çekiç düz bir hat boyunca giderdi –tıpkı elden bırakıldığı anda yaptığı gibi. Bu hareket Newton'ın top güllesiyle tıpatıp aynıdır– onu Dünya'ya bağlayan, merkeze doğru kuvvet olmasa gülle de uçup uzaya gider. Bu düşünceyi daha da ilerleten Newton, Ay'ın gökyüzünde asılı durma nedeninin de aslında görünmeyen yerçekimi bağlantısı olduğunu çözdü. Yerçekimi olmasaydı o da uzaya doğru uçup giderdi.

Ters kare yasası Ardından Newton öngörülerini sayılara dökmeye çalıştı. Robert Hooke ile mektuplaştıktan sonra, Newton kütleçekimin bir ters kare yasası izlediğini gösterdi – kütleçekim kuvveti uzaklığın karesiyle azalıyordu. Yani bir cisimden iki kat uzaklaşırsanız, üzerinizdeki kütleçekim etkisi dört kat azalır. Dünya'nın iki katı uzaktaki bir gezegene Güneş'in uyguladığı kütleçekim dört kat azdır. Veya üç katı uzaktaki bir gezegene uyguladığı kütleçekim dokuz kat azdır.

Newton'ın ters kare yasası, gezegenlerin Kepler'in üç yasasında tanımlanan yörüngelerini (bkz. s. 12) tek bir eşitlikle açıklıyordu. Newton'ın yasası, eliptik yörüngeler izleyen gezegenlerin Güneş'in yakınından geçerken hızlanacaklarını öngörüyordu. Gezegenler Güneş'in yakınından geçerken daha güçlü bir kütleçekim kuvveti hisseder, bu da onları hızlandırır. Hızla Güneş'e yaklaşırlar, sonra yeniden uzağa doğru öteye fırlatılırlar ve yeniden giderek yavaşlarlar. Newton böylece daha önceki çalışmaların tamamını tek bir temel kuramda toplamış oldu.

Evrensel yasa Daha sonra Newton cesur bir genellemeyle kütleçekim kuramının Evren'deki her şey için geçerli olduğunu ileri sürdü. Her cisim kütlesiyle orantılı

"Evrendeki her nesne, diğer tüm nesneleri, merkezlerinden geçen bir doğru boyunca, nesnelerin kütleleriyle doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak çeker."

Isaac Newton, 1687

1687
Newton'ın *Principia*'sı yayımlanır.

1905
Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

1915
Einstein genel görelilik kuramını yayımlar.

bir kütleçekim kuvveti uygular ve bu kuvvet uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak azalır. Dolayısıyla tüm cisimler birbirini çeker. Ama kütleçekim zayıf bir kuvvet olduğu için biz bunu yalnızca Güneş, Dünya ve gezegenler gibi çok büyük kütleli nesnelerde gerçekten gözlemleyebiliriz.

Yine de yakından bakarsak, kütleçekimin Dünya'nın yüzeyindeki bölgesel şiddetinin çok ufak değişimlerini görebiliriz. Devasa dağlar ve farklı yoğunluktaki kayalar, yakınlarındaki kütleçekimin gücünü arttırabilir veya azaltabilir. Bir kütleçekim-ölçer kullanarak bir coğrafi arazi haritası çıkarabilir ve yerkabuğunun yapısı hakkında bilgi edinebiliriz. Arkeologlar da gömülü yerleşimlerin yerini saptamak için bazen çok küçük kütleçekim değişimlerinden yararlanır. Son zamanlarda biliminsanları Dünya'nın kutuplarını kaplayan buzulların azalan miktarlarını kayıt altına almak ve büyük depremlerden sonra Dünya'nın kabuğundaki değişimleri saptamak için kütleçekimi ölçen uydulardan yararlanmaktalar.

Dünya'nın yüzeyinde yerçekiminden kaynaklanan ivme, yani *g*, 9,8 metre bölü saniye bölü saniyedir.

17. yüzyıla dönersek, Newton kütleçekimle ilgili tüm düşüncelerini, kısaca *Principia* olarak bilinen *Philosophiae naturalis principia mathematica* adlı tek bir kitapta topladı. 1687'de basılan *Principia*, hâlâ bilimsel bir dönüm noktası olarak büyük saygı görür. Newton'ın evrensel kütleçekimi yalnızca gezegenlerin ve uyduların değil, atılan cisimlerin, sarkaçların ve elmaların da hareketini açıklar. Newton kuyrukluyıldızların yörüngelerini, gelgitlerin oluşumunu ve Dünya'nın eksenindeki yalpalanmayı da açıkladı. Bu

Neptün'ün keşfi

Neptün, Newton'ın kütleçekim yasası sayesinde keşfedilmiştir. 19. yüzyılın başlarında gökbilimciler Uranüs'ün basit bir yörünge izlemediğini, sanki başka bir gökcismi onun düzenini bozuyormuş gibi ilerlediğini fark ettiler. Newton'ın yasasını temel alan çeşitli tahminler yapıldı ve 1846'da beklenen konuma yakın (deniz tanrısına atfen Neptün olarak adlandırılan) yeni bir gezegen keşfedildi. Hem John Couch Adams hem de Urbain Le Verrier'e ait olduğu düşünülen keşfi kimin önce yaptığı konusunda İngiliz ve Fransız gökbilimciler uzlaşamamıştır. Neptün'ün kütlesi Dünya'nın kütlesinin 17 katıdır ve katı çekirdeğini boğan hidrojen, helyum, amonyak ve metandan oluşan kalın ve yoğun atmosferiyle bir "gaz devi"dir. Neptün'ün bulutlarının mavi renginin nedeni metandır. Saatte 2500 kilometreye ulaşan rüzgârları, Güneş Sistemi'ndeki en güçlü rüzgârlardır.

Gelgitler

Newton, kitabı *Principia*'da okyanuslardaki gelgitlerin oluşumunu da açıklamıştır. Gelgitler, Ay'ın, Dünya'nın kendisine yakın ve uzak kısımlarını farklı kuvvette çekmesinden kaynaklanır. Yüzey suları Dünya'nın bir tarafında Ay'a doğru, karşı tarafında ise ondan uzağa doğru kabararak 12 saatte bir yükselen ve alçalan gelgitlere yol açar. Ay'a oranla kütlesi çok daha büyük olan Güneş, gezegenimize çok daha büyük bir kütleçekim kuvveti uyguluyor olsa da Dünya'ya daha yakın olduğu için Ay'ın gelgit etkisi daha güçlü olur. Ters kare yasası icabı, Dünya'ya yakın olan Ay'ın kütleçekim gradyanı (Dünya'nın yakın ve uzak tarafında hissedilen kütleçekim farkı), uzak olan Güneş'inkine oranla çok daha büyüktür. Dolunay ve Yeniay sırasında Dünya, Güneş ve Ay aynı hizaya gelir ve bunun sonucunda "yüksek" gelgitler oluşur. Bunlar aynı hizada değilken, özelikle de birbirlerine göre 90 derece açılıyken "alçak" gelgitler oluşur.

çalışması Newton'ın tüm zamanların en büyük biliminsanlarından biri olarak kabul görmesini sağlamıştır.

"Küreselleşmeye karşı çıkmanın, kütleçekim yasalarına karşı çıkmaktan farkı olmadığını söyleyenler var."
Kofi Annan, d. 1938

Newton'ın evrensel kütleçekim yasası yüzlerce yıl boyunca ayakta kalmıştır. Günümüzde gökcisimlerinin hareketlerinin temel açıklamaları hâlâ onunla yapılır. Ne var ki bilim olduğu yerde durmaz. 20. yüzyıl biliminsanları –özellikle de genel görelilik kuramıyla Einstein– bu temelin üstüne önemli eklemeler yapmıştır. Newton'ın kütleçekim yasası, gördüğümüz birçok nesne için ve kütleçekimin görece zayıf olduğu Güneş sisteminden büyük uzaklıklardaki gezegenlerin, kuyrukluyıldızların ve asteroitlerin hareketleri için hâlâ iyi sonuç verir. Newton'ın kütleçekim yasası 1846'da keşfedilen Neptün gezegeninin Uranüs'ün ötesindeki konumunu tahmin etmek için yeterli olsa da, Merkür'ün yörüngesini tam olarak belirlemek için Newton fiziğinin ötesinde bir fizik gerekmişti. Bu yüzden örneğin Güneş'in, yıldızların ve kara deliklerin yakınları gibi, kütleçekimin çok güçlü olduğu durumları açıklamak için genel görelilik kuramı kullanılır.

» fikrin özü
Kütlenin çekiciliği

05 Enerjinin Korunumu

Enerji, nesneleri hareket ettiren veya değiştiren canlandırıcı bir kuvvettir. Kılıktan kılığa giren enerji, kendisini yükseklik veya hızdaki bir değişim, ilerleyen elektromanyetik dalgalar veya sıcaklığa neden olan atomların titreşimi olarak gösterebilir. Enerji bu türler arasında şekil değiştirebilse de toplam enerji miktarı daima korunur. Daha fazlası yaratılamaz ve asla yok edilemez.

Enerjiyi, harekete geçirici temel bir güç olarak hepimiz iyi biliriz. Eğer yorgunsak enerjimiz yoktur; etrafta neşeyle dolaşıyorsak enerjimiz vardır. Peki ama nedir enerji? Bedenimizi çalıştıran enerji, yakılan kimyasal maddelerden gelir. Moleküllerin bir türden bir başkasına dönüştüğü bu süreçte enerji açığa çıkar. Peki bir kayakçının yokuş aşağı hızlanmasına veya bir ampulün parlamasına neden olan ne tür enerjilerdir? Bunlar gerçekten de aynı şey midir?

Bu kadar farklı biçimi olan enerjiyi tanımlamak zordur. Ne yaptığını ve nasıl ele alınması gerektiğini bilseler de, günümüz fizikçileri bile enerjinin özünde ne olduğunu bilmez. Enerji maddenin ve uzayın bir özelliğidir; yaratma, hareket ettirme ve değiştirme potansiyeli olan bir çeşit yakıt veya paketlenmiş bir kuvvettir. Eski Yunan'a kadar uzanan doğa felsefecilerinin onun bir kuvvet ya da nesnelere yaşam veren bir öz olduğu şeklinde belirsiz bir enerji anlayışları vardı ve bu anlayış çağlar boyu peşimizi bırakmadı.

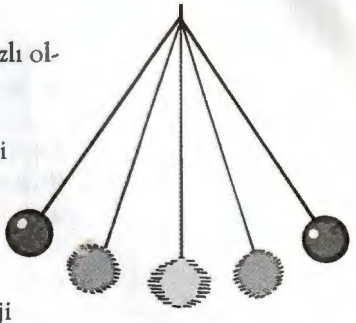
Enerji dönüşümü Enerjinin bir biçimden başka bir biçime dönüşebileceğini fark eden ilk kişi Galileo'dur. İleri geri sallanan bir sarkacı izlerken, çekülün ucundaki topuzun, yükseklik ile hızı değiş tokuş ettiğini fark etmiş,

dönem

İÖ ~600
Miletli Thales maddelerin biçim değiştirdiğini fark eder.

1638
Galileo sarkaçtaki potansiyel ve kinetik enerji dönüşümlerini fark eder.

1676
Leibniz enerji dönüşümlerini matematiksel olarak formüle eder ve onu *vis viva (canlı kuvvet)* olarak adlandırır.



en yüksek noktada hızının sıfır olduğunu, en alçak noktadaysa en hızlı olduğunu gözlemlemiştir.

Galileo, çekül salınırken birbirine dönüşen iki farklı enerji biçimi olduğu sonucuna vardı. İlki yerçekimi potansiyel enerjisiydi; yerçekimine karşı koyarak bir cismi yukarı doğru yükseltebiliyordu. Bir kütleyi yukarı kaldırmak için yerçekimi enerjisi eklenmesi gerekir; nesne düşerken bu enerji bırakılır. Dik bir tepeye hiç bisikletle çıktıysanız, yerçekimiyle mücadele etmenin ne çok enerji gerektirdiğini bilirsiniz. Çekülün ucundaki topuzdaki diğer enerji, kinetik enerjidir, yani hıza eşlik eden hareket enerjisi. Dolayısıyla sarkaç yerçekimi potansiyel enerjisini kinetik enerjiye, kinetik enerjiyi de yerçekimi potansiyel enerjisine dönüştürür. İşini bilen bir bisikletçi de tam olarak aynı mekanizmayı kullanır. Dik bir tepeden inerken hızlanır ve hatta pedal bile çevirmeden en alçak noktaya ulaşır ve bu hızı bir sonraki tepenin bir kısmını tırmanmak için kullanır (bkz. kutucuk).

Potansiyel enerjinin kinetik enerjiye dönüşümü evlerimize elektrik sağlamak için kullanılır. Hidroelektrik ve gelgit barajlarında su belli bir yükseklikten bırakılır, onun hızı kullanılarak türbinler çalıştırılır ve elektrik üretilir.

Enerjinin çok yüzü Enerji, değişik yollarla depolanabilen birçok farklı türüyle kendini gösterir. Sıkıştırılmış bir yay, gerektiğinde serbest bırakabileceği esnek enerjiyi depolayabilir. Isı enerjisi sıcak bir maddedeki atomların ve moleküllerin titreşimini arttırır. Örneğin ocaktaki metal tavanın atomları, enerji verildiği için daha hızlı titreşir. Enerji ışık veya radyo dalgaları halinde elektrik ve manyetik dalgalar olarak da iletilebilir. Ayrıca sindirim sistemimizde olduğu

Enerji formülleri

Yerçekimi potansiyel enerjisi (E_p) cebirsel olarak $E_p = mgh$ şeklinde ifade edilir; yani potansiyel enerji eşittir kütle (m) çarpı yerçekimi ivmesi (g) çarpı yükseklik (h). Newton'ın ikinci yasasında $F = ma$ olduğu düşünülürse, enerji, kuvvet çarpı uzaklık olur. Dolayısıyla kuvvet, enerjinin bir bileşenidir.

Kinetik enerji (E_k) cebirsel olarak $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ şeklinde ifade edilir. Burada enerji miktarı, hızın (v) karesiyle orantılıdır. Bu eşitlik ortalama kuvvet ile gidilen yolun çarpımından da çıkarılabilir.

1807

Young "enerji" terimini kullanır.

1905

Einstein madde ve enerjinin eşdeğer olduğunu gösterir.

gibi, birtakım kimyasal tepkimelerle serbest bırakılan kimyasal enerji olarak da depolanabilir.

Einstein, kütlenin de madde yok edilirken serbest kalan bir enerji olarak ifade edilebileceğini göstermiştir. Yani kütle ve enerji eşdeğerdir. Bu onun ünlü $E = mc^2$ eşitliğidir. Bir m kütlesinin yok edilmesiyle açığa çıkan enerji, kütle (m) ile ışık hızının (c) karesinin çarpımına eşittir. Bu enerji, nükleer patlamalarda ya da Güneş'imize gücünü sağlayan füzyon tepkimelerinde açığa çıkar (bkz. s. 136-143). Çok büyük olan ışık hızıyla çarpıldığı için (ışık boşlukta saniyede 300 milyon metre hızla ilerler), birkaç atomun yok edilmesiyle bile ortaya muazzam bir enerji çıkar.

Evlerimize ve endüstriye güç sağlamak için enerji kullanırız. Enerjinin üretilmesinden söz etsek de aslında enerji bir türden diğerine dönüştürülür. Kömür ve doğal gazdaki kimyasal enerjiyi alıp türbinleri döndürerek elektrik üreten ısıya dönüştürürüz. Aslında kömür ve gazdaki kimyasal enerji bile Güneş'ten gelir, dolayısıyla Dünya'da işleyen hemen hemen her şeyin kaynağı güneş enerjisidir. Dünya'daki enerji kaynaklarının sınırlı olmasından endişelensek de, yararlanabildiğimiz takdirde Güneş'ten doğrudan alabileceğimiz enerji miktarı bile ihtiyacımız olan güç için fazlasıyla yeterlidir.

Enerjinin korunumu Fizikte enerjinin korunumu ilkesi denince evde kullandığımız enerjide tutumlu olmaktan çok daha farklı bir şey anlaşılır. Bu ilkeye göre, farklı enerji türleri birbirine dönüşse de toplam enerji miktarı değişmez. Bu kavram birçok enerji türü üzerinde ayrı ayrı çalışıldıktan sonra görece yakın bir tarihte ortaya çıkmıştır. Enerji sözcüğünü fiziğe 19. yüzyılın başlarında Thomas Young kazandırmıştır. Ondan önce (sarkacın matematiği üzerine çalışan) Gottfried Leibniz tarafından bu yaşam kuvveti *vis viva* olarak adlandırılmıştı.

Bir tek kinetik enerjinin korunmadığı hemen fark edildi. Toplar ve volanlar zamanla yavaşlıyor, sonsuza kadar hareket etmiyorlardı. Hızlı hareketler sık sık makinelerin sürtünme yoluyla –örneğin metal top namlusu delinirken– ısınmasına neden oluyordu. Buradan hareketle, deneyciler açığa çıkan enerjinin gittiği yerlerden birinin ısı olduğu sonucuna vardılar. Zaman içinde, makinelerin işleyişindeki tüm farklı enerji türlerinin açıklaması yapılırken, biliminsanları enerjinin yok edilmediğini ve de yaratılmadığını, yalnızca bir türden bir başkasına aktarıldığını görmeye başladılar.

Momentum Fizikteki korunum kavramı enerjiyle sınırlı değildir. Bundan başka, doğrusal momentumun korunumu ve açısal momentumun korunumu da vardır. Kütle ve hızın çarpımı olan doğrusal momentum, hareket halindeki bir cismin yavaşlatılmasının zorluğunu anlatır. Hızla giden ağır bir cismin momentumu yüksektir ve yönünü değiştirmesi veya durması zordur. Örneğin saatte 60 kilometre hızla giden bir kamyonun momentumu, aynı hızla giden bir arabadan daha büyüktür ve size çarpacak olursa çok daha fazla zarar verir. Momentum yalnızca bir büyüklük değildir; hızından dolayı bir de yönü vardır. Cisimler çarpıştığında toplamda hem büyüklüğü hem de yönü korunacak şekilde momentum değiş tokuşu yaparlar. Eğer bilardo oynadıysanız bu kuraldan yararlanmışsınızdır. İki top çarpıştığında, momentum korunacak şekilde hareket birinden diğerine aktarılır. Bu nedenle duran bir topa hareket halindeki bir topla vurduğunuzda, her iki topun da gittiği yollar, başlangıçta hareket halinde olan topun hız ve yönünün bir kombinasyonu olur. Her ikisinin de hızı ve yönü, momentumun korunumu ilkesinden bulunabilir.

Açısal momentumun korunumu da benzerdir. Bir nokta etrafında dönen bir cismin açısal momentumu, nesnenin doğrusal momentumu ile dönme noktasına olan uzaklığının çarpımı olarak tanımlanır. Açısal momentumun korunumunu dönen buz patencisinde görebiliriz. Patenci kollarını ve bacaklarını yanlara açtığında yavaş döner ama kol ve bacaklarını bedenine doğru çektiğinde dönüşü hızlanır. Bunun nedeni, daha küçük boyutların açısal momentumu korumak için daha yüksek dönme hızına gereksinim duymasıdır. Bunu döner büro sandalyesinde siz de deneyebilirsiniz.

Enerjinin ve momentumun korunumu, modern fiziğin hâlâ temel ilkeleri arasındadır. Bu kavramlar genel görelilik ve kuantum mekaniği gibi güncel konularda bile kendine yer bulur.

» fikrin özü

Yok edilemez enerji

06 Basit Harmonik Hareket

Pek çok titreşim, sarkacın salınımına benzeyen basit harmonik hareket yapar. Dairesel hareketle bağlantılı olan bu hareket, titreşen atomlarda, elektrik devrelerinde, su dalgalarında, ışık dalgalarında ve hatta sallanan köprülerde görülür. Basit harmonik hareket öngörülebilir ve kararlıdır. Bununla birlikte fazladan eklenecek küçük bir kuvvet bile onu kararsızlaştırabilir ve bir felakete zemin hazırlayabilir.

Titreşimler son derece yaygındır. Hepimiz bir yaylı yatağa veya sandalyeye hızla oturup birkaç saniye zıplamışızdır. Veya bir gitar teline asılmış, salınan bir lamba kordonunu yakalamaya çalışmış, bir hoparlörden ciyyyk diye yükselen geri-besleme sesini duymuşuzdur. Bunların hepsi titreşim türleridir.

Basit harmonik hareket, serbest durduğu yerden itilen bir cismin, kendini eski haline döndürmeye çalışan düzeltme kuvvetinin etkisiyle yaptığı hareketi betimler. Serbest durduğu noktada sabitlenene kadar ileri geri salınır. Hareketine karşı koyan düzeltme kuvvetinin büyüklüğü, cismin serbest durduğu noktadan uzaklığıyla orantılıdır. Ne kadar uzağa çekilirse, geri çekilme kuvveti de o kadar büyük olur. Harekete başladıktan sonra hızlanarak serbest durduğu noktayı geçip diğer yöne doğru uzaklaşır ve salıncaktaki bir çocuk gibi ileri geri sallanır.

Sarkaç Basit harmonik hareketi kafanızda canlandırmanızın bir diğer yolu, onu bir doğruya izdüşümü alınmış dairesel hareket olarak görmektir. Bunu salıncakta sallanan çocuğun yere düşen gölgesinin hareketi gibi düşünebiliriz. Sarkacın ucundaki topuz gibi, salıncağın gölgesi uçlara doğru

dönem

1640

Galileo sarkaçlı saati tasarlar.

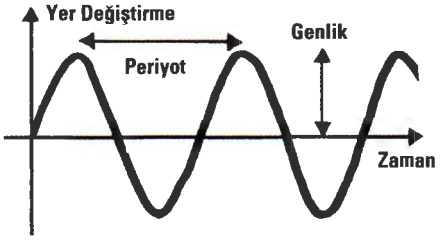
1851

Foucault'nun sarkacı Dünya'nın döndüğünün bir başka kanıtını oluşturur.

yavaşlar, en uç noktalarda durur ve ortaya doğru hızlanır. Böylece yerçekimi potansiyeli (yükseklik) ve kinetik enerji (hız) sürekli değiş tokuş edilir.

Salınan bir sarkacın ucundaki topuz, basit harmonik hareket yapar. Merkezdeki başlama noktasından uzaklığının zamana göre değişimi, bir sinüs dalgası veya harmonik ton çizer. Sarkacın ucundaki topuz aşağıda durmak ister ama bir kez itildi mi, yerçekim kuvveti onu merkeze doğru geri çeker ve böylece hızlandırarak salınımın sürmesini sağlar.

Dönen Dünya Sarkaçlar Dünya'nın dönüşüne duyarlıdır. Dünya'nın kendi ekseninde dönüşü sarkaçların salınım düzleminin yavaşça dönmesine neden olur. Kuzey Kutbu'nun üzerinde asılı bir sarkaç olsun. Bu sarkacın ileri geri sallandığı düzlem, yıldızlara göre hep aynıdır. Ama altındaki Dünya döndüğü için Dünya'daki bir noktadan izlediğinizde sarkacın salınım hareketi bir günde 360 derece dönüyor gibi görünür. Sarkaç Ekvator'da olsa böyle bir dönme etkisi olmaz, çünkü sarkaç Dünya'yla birlikte döner, salınım düzlemi değişmez. Diğer enlemlerde ise etki bu iki uç arasında bir yerde olur. Böyle bir sarkacın salınım ekseninin gün içinde nasıl döndüğü izlenerek Dünya'nın döndüğü kanıtlanabilir.



Fransız fizikçi Léon Foucault, Paris'teki Panthéon'un 70 metre yükseklikteki tavanından dev bir sarkaç sallandırarak ünlü bir kamuya açık gösteri yapmıştır. Günümüzde, dünyada birçok müze, dev Foucault sarkaçlarına ev sahipliği yapar. Sarkacın çalışması için ilk salınım çok yumuşak bir şekilde –salınım düzlemi değişmeyecek ve burulmalar olmayacak şekilde– başlatılır. Bunun geleneksel yöntemi, sarkacın ucundaki topuzu bir iple geriye bağlamak ve yavaşça serbest bırakmak için ipi bir mumla yakmaktır. Dev sarkacı uzun süre hareket halinde tutmak için, hava direncinden oluşan yavaşlamayı dengelesin diye sarkaçlar genelde motor destekli olur.

1940

Tacoma Narrows Köprüsü çöker.

2000

Londra'daki Millennium Köprüsü rezonanstan etkilenir ve kapatılır.

Zamanı tutma Sarkaç 10. yüzyıldan bu yana bilinmekle birlikte, 17. yüzyıla kadar saatlerde yaygın olarak kullanılmamıştır. Sarkacın salınım zamanı ipin uzunluğuna bağlıdır. İp ne kadar kısa olursa, sarkaç o kadar hızlı salınım yapar. Sarkaçlı bir saat olan Londra'daki Big Ben'in zaman ölçümünde kesinliğini sağlamak için, ağır sarkaç bloğuna bozuk para eklenir. Bozuk para çekülün ağırlık merkezini değiştirir. Bu işlem bütün sarkacı aşağı ve yukarı oynatmaktan hem daha kolaydır hem de daha hassastır.

Basit harmonik hareket sarkaçla sınırlı değildir ve aslında doğada oldukça yaygındır. Elektrik devrelerinde salınım yapan akımdan, su dalgalarındaki parçacıkların hareketine ve hatta Evren'in başlangıcındaki parçacıkların hareketlerine kadar serbest titreşimin olduğu her yerde basit harmonik hareket görülür.

Rezonans Daha karmaşık titreşimler, önce basit bir harmonik hareket alınıp ardından yeni kuvvetler eklenerek elde edilebilir. Titreşim bir motordan ek enerji alınarak arttırılabileceği gibi, enerjisinin bir kısmı emilerek sönümlendirilebilir ve böylece azaltılabilir. Örneğin bir keman teli, keman yayıyla uzun süre titreştirilebilir veya bir piyano telinin sesi, telin enerjisini emen bir keçe blokla sönümlendirilebilir. Keman yayındaki gibi güçlendirici kuvvetler, zamanlamalarına göre asıl salınımı pekiştirebilir veya tempoya aykırı olabilir. Eğer eşzamanlı değillerse, salınan sistem hemen garip davranmaya başlayabilir.

İyi titreşimler

Elektronik devreler, içlerindeki akım bir ileri bir geri akarken tıpkı bir sarkaç gibi salınır. Bu tür devrelerle elektronik ses oluşturulabilir. En eski elektronik çalgılardan biri "theremin"dir. İnsanı ürküten birtakım ilginç tonlar üretebilir. Beach Boys'un "Good Vibrations (İyi Titreşimler)" adlı şarkısında kullanılmıştır. Thereminde iki elektronik anten bulunur ve çalgıya dokunmaya gerek bile kalmadan, eller çevresinde gezdirilerek çalınır. Çalan kimse bir eliyle ses perdesini, diğer eliyle de sesin yüksekliğini kontrol eder. Eller elektronik devrenin birer parçasıymış gibi davranır. 1919'da Rus devleti için hareket sensörleri geliştiren ve bu çalgıyı icat eden Rus fizikçi Léon Theremin, 1920'li yıllarda onunla Lenin'e gösteri yapmış ve onu etkilemişti. Theremin daha sonra çalgısını ABD'de tanıttı. Pop müzikte devrim yaratan elektronik klavyeyi geliştiren Robert Moog, theremini sonradan ticari olarak üretti.

"Big Ben'in sarkacına bir peni eklenirse günde saniyenin beşte ikisi kadar ileri gider. Bir euronun ne yapacağını henüz hesaplamadık."

Thwaites & Reed, 2001
(Big Ben bakım şirketi)

Davranıştaki bu dramatik değişim ABD'nin en uzun köprülerinden biri olan Washington'daki Tacoma Narrows Köprüsü'nün kaderini belirlemiştir. Tacoma Narrows boğazının üzerindeki asma köprü, kalın bir gitar teli gibi davranır. Kendi uzunluk ve boyutlarıyla uyumlu olan belli frekanslarda kolayca titreşir. Bir müzik teli gibi belli bir temel notada tınlar; ayrıca o notanın harmoniklerinde (katlarında) yankılanır. Mühendisler köprüleri rüzgârın, suyun veya arabaların titreşim frekanslarından farklı bir temel tonda olacak şekilde inşa etmeye çalışır. Yine de o korkunç gün için yeterince hazırlıklı değillerdi.

1,6 km uzunluğundaki Tacoma Narrows Köprüsü, çelik kirişlerden ve betondan yapılmıştı. 1940'ta bir kasım günü rüzgâr o kadar şiddetlendi ki köprüyü rezonans frekansında çılgın gibi dalgalandıran salınımlar başlattı. Köprü sonunda dayanamayıp çöktü. Neyse ki ölen olmadı – kendisini arabadan kurtarmaya çalışan kişiyi ısıran korkmuş bir köpeği saymazsak. Mühendisler o olaydan sonra köprünün yalpalamasını önleyecek düzeltmeleri yaptılar. Ancak bugün bile köprüler öngörülemeyen birtakım kuvvetler nedeniyle bazen rezonansa girebiliyor.

Ek enerjiyle yükseltilen titreşimler çok hızlı kontrolden çıkabilir ve düzensiz davranabilirler. Hatta kaotikleşerek düzenli ve tahmin edilebilir bir tempo izlemez olurlar. Alttaki kararlı hareket basit harmonik hareket olsa da bu kararlılık kolayca bozulabilir.

» fikrin özü
Sallanmanın bilimi

07 Hooke Yasası

Aslen saatlerin içindeki yayların esnemesinden türetilen Hooke yasası, kuvvet uygulandığında maddelerin şeklinin nasıl değiştiğini (deforme olduklarını) gösterir. Esnek maddeler kendilerine uygulanan kuvvetle orantılı olarak esner. Bilimin yanı sıra mimariye de çok katkısı olan, üretken biliminsanı Robert Hooke'un yalnızca bu yasayla hatırlanması ilginçtir. Fakat tıpkı çok yönlü kaşifi gibi, Hooke yasası da mühendislik, inşaat, malzeme bilimi gibi birçok alanda kullanılır.



Kol saatimize bakıp zamanı kolayca öğrenmemizi, 17. yüzyılın çok yönlü İngiliz biliminsanı Robert Hooke'a borçluyuz. Hooke yalnızca saatin kaçırma mekanizmasını ve denge yayını icat etmekle kalmamış, İngiltere'nin en eski akıl hastanesi Bedlam'ı inşa etmiş ve biyolojideki hücre terimine isim babalığı yapmıştır. Hooke matematikçiden ziyade deneyciydi. Londra'daki Kraliyet Derneği'nde bilimsel gösteriler düzenlemiş, ayrıca birçok aygıt icat etmiştir. Yaylar üzerine çalışırken bir yayın uzama miktarının onu çektiğiniz kuvvetle orantılı olduğunu söyleyen Hooke yasasını bulmuştur. Örneğin yayı iki kat kuvvetle çekerseniz iki kat esner.

Esneklik Hooke yasasına uyan maddelere "esnek" (elastik) denir. Esnek bir madde hem esner hem de uygulanan kuvvet ortadan kaldırıldığında başlangıçtaki şekline geri döner yani esnemesi tersinirdir. Lastik bantlar ve yaylar böyle davranır. Ama sakız böyle davranmaz – çektiğinizde gerilir ama bıraktığınızda gerilmiş olarak kalır. Birçok madde belli bir kuvvet aralığında esnek davranır. Ama fazla çekildiklerinde kopabilir ya da bozulabilirler. Seramik ve kil gibi diğer maddeler esnek olarak nitelendirilemeyecek denli katı veya yumuşaktır.

dönem

1660
Hooke esneklik yasasını keşfeder.

1773
Harrison yaptığı başarılı boylam ölçümü için ödül alır.

Robert Hooke 1635–1703

Robert Hooke İngiltere'nin Wight adasında bir papazın oğlu olarak doğdu. Oxford'daki Christ Church'te öğrenim görürken fizikçi ve kimyacı Robert Boyle'un asistanı oldu. 1660'ta esneklik yasasını (Hooke yasası) buldu ve çok geçmeden Kraliyet Derneği'ndeki toplantılar için Deney Sorumlusu olarak atandı. Beş yıl sonra yayımladığı *Micrographia*'da, bitki hücrelerinin mikroskop altındaki görünüşünü keşişlerin yaşadığı hücrelere benzeterek "hücre" terimini kullandı. Büyük Londra yangınından sonra 1666'da Christopher Wren ile birlikte Londra'nın yeniden inşasına yardım etti. Birlikte Greenwich Kraliyet Gözlemevi'ni, Büyük Yangın Anıtı'nı ve Bedlam Kraliyet Hastanesi'ni yaptılar. 1703'te Londra'da öldü ve Londra'daki Bishopsgate'e gömüldü. Mezarı 19. yüzyılda Kuzey Londra'ya taşındıysa da mezarının şu anda bulunduğu yer bilinmiyor. Şubat 2006'da Hooke'un uzun süredir kayıp olan Kraliyet Derneği toplantı notları ortaya çıkarıldı. Notlar şimdi Londra'daki Kraliyet Derneği'nde bulunuyor.

Hooke yasasına göre, esnek bir maddeyi aynı uzunlukta germek için hep aynı miktar kuvvet gerekir. Bu kuvvet maddenin sertliğine bağlıdır. Sert bir maddeyi germek için büyük bir kuvvet gerekir. Sertliği çok yüksek maddeler arasında elmas, silisyum karbür ve tungsten sayılabilir. Alüminyum alaşımları ve ahşap ise daha bükülebilir maddelerdir.

Esnetilen bir maddenin "gerinim" altında olduğu söylenir. Gerinim, esnemeden kaynaklanan uzunluk artışının yüzde olarak ifadesidir. Birim alana uygulanan kuvvet ise gerilim olarak bilinir. Sertlik, gerilimin gerinime oranı olarak tanımlanır. Çelik, karbon lifi ve hatta camın bile küçük gerinimler için sabit bir esneklik katsayısı vardır ve dolayısıyla bunlar da Hooke yasasına uyar. Binalar inşa edilirken mimarlar ve mühendisler bu özellikleri dikkate alır. Böylece yapıya ağır yükler uygulandığında yapı esnemez veya bükülmez.

1979

İlk bungee jumping Birleşik Krallık'ta Bristol'de yapılır.

Geri sekmek Hooke yasası yalnızca mühendislerin işine yaramaz. Her yıl bungee jumping yapan binlerce sırt çantalı gezgin, yüksek bir platformdan esnek bir kabloya bağlı şekilde atlarken Hooke yasasına güvenir. Hooke yasası, atlayıcının ağırlığının etkisiyle kablonun ne kadar esneyeceğini söyler. Vadinin tabanına doğru baş aşağı dalış yapan bedenin vadi tabanına çarpmadan hemen önce geri çekilmesi için bu hesabı doğru yapmak ve uygun uzunlukta kablo kullanmak çok önemlidir. Bungee jumping spor olarak 1979'da Bristol'deki Clifton asma köprüden dalış yapan gözü pek İngilizler tarafından başlatılmıştır. Bu konuda Vanuatu yerlilerinin cesaret testi olarak ağaç sarmaşıklarıyla ayak bileklerinden bağlı biçimde yüksekten atlama görüntülerinden esinlenildiği anlaşılıyor. İlk bungee jumping'ciler tutuklandı ama insanlar köprülerden atlamaya devam ettiler ve bunu bütün dünyaya yayarak ticari bir etkinlik haline getirdiler.

Boylam Gemiyle yolculuk edenler de başka bir şekilde Hooke yasasına bel bağlar. Kuzeyden güneye Güneş'in yüksekliğini izleyerek enlemi hesaplamak kolaydır ama Dünya'nın çevresinde boylamınızı, yani doğu-batı konumunuzu hesaplamak çok daha zordur. 17 ve 18. yüzyıllarda denizciler tam olarak nerede olduklarını belirleyemediklerinden, yaşamları hep tehlikedeydi. İngiliz devleti boylam ölçme sorununun üstesinden gelebilecek kişiye o zaman için büyük bir miktar olan 20.000 sterlinlik para ödülü koydu.

Dünya üzerinde doğudan batıya doğru yolculuk ederken yerel saatinizi bilinen bir başka yerin saatiyle, örneğin Londra'daki Greenwich'le karşılaştırarak boylamınızı ölçebilirsiniz. Saati buradaki gözlemevine göre belirlediğimiz için, Greenwich'in boylamını 0 derece kabul ederiz. Buna göre ölçülen saate de Greenwich saati deriz. Peki ama eskiden Atlas Okyanusu'nun ortasındayken Greenwich'teki zamanı nasıl bilebilirdiniz? Bunun için tıpkı şimdi Londra'dan New York'a uçtuğunuzda olduğu gibi yanınızda Londra zamanına ayarlı bir saat götürebilirdiniz. Ama 18. yüzyılın başında bu hiç de kolay değildi. O zamanlarda saat teknolojisi o kadar gelişmemişti ve dönemin en hassas saatleri olan sarkaçlı saatler denizde yalpalayan gemilerde işe yaramıyordu. İngiliz saatçi John Harrison, yana sallanan sarkaçlar yerine yayın ucunda aşağı yukarı sallanan ağırlıklar kullanarak yeni saatler geliştirdiyse de zorlu deniz testlerini bunlar da geçemedi. Zaman ölçümü için yay kullanmanın bir sorunu, yayın esnekliğinin sıcaklıkla değişmesiydi. Tropikal kuşaktan kutuplara kadar yolculuk yapan gemiler için bu sorun onları kullanışsız yapıyordu.

"Eğer daha uzakları görebildiysem bu, devlerin omuzlarında durduğum içindir."

Isaac Newton, 1675

Hooke'a yazdığı (bir ihtimalle iğneleyici) bir mektuptan

Harrison özgün bir çözüm üretti. Saate, birbirine yapışık iki farklı metalden oluşan bir şerit ekledi. Bu iki metal, örneğin pirinç ve çelik, ısındıklarında farklı miktarlarda genleşerek şeridin eğilmesine neden oluyorlardı. Saat mekanizmasına dahil edilen şerit, sıcaklık değişimlerini telafi ediyordu. Kronometre adı verilen Harrison'ın yeni saati para ödülünü kazandı ve boylam sorununu çözdü.

Harrison'ın deneysel saatlerinin dördü de bugün Londra'daki Greenwich Gözlemevi'nde bulunmaktadır. Pirinçten yapılmış olan ilk üçü oldukça büyüktür ve karışık yay denge mekanizmalarını gözler önüne sererler. İnce bir işçilikle yapılmışlardır ve çalışmalarını izlemek bir zevktir. Dördüncü ve kazanan tasarım çok daha küçüktür ve büyük bir cep saatini andırır. Estetik olarak daha az hoşa gider ama daha hassastır. Kuvarslı elektronik saatler ortaya çıkana kadar denizlerde hep buna benzer saatler kullanılmıştır.

Hooke Hooke o kadar başarılı işler çıkarmıştır ki Londra'nın Leonardo da Vinci'si olarak adlandırılmıştır. Bilimsel devrimin anahtar bir oyuncusuydu. Gökbilimden biyolojiye kadar bilimin birçok alanına, hatta mimariye bile katkıda bulundu. Newton ile aralarındaki çatışma çok ünlüdür. İki biliminsanı da birbirlerine karşı büyük bir düşmanlık geliştirmiştir. Newton keşfettiği ışığın rengi kuramını reddettiği için Hooke'a çok sinirlenmiş, kütleçekim yasasının ters kare fikrini kendisine Hooke'un önermiş olduğundan hiç bahsetmemiştir.

Bütün bu başarılara rağmen Hooke'un daha iyi tanınmıyor olması şaşırtıcıdır. Geriye tek bir portresi bile kalmamıştır ve Hooke yasası böyle yaratıcı bir adam için oldukça mütevazı bir özgeçmiş olarak kalmıştır.

» fikrin özü
Fantastik elastik

08 İdeal Gaz Yasası

Bir gazın basıncı, hacmi ve sıcaklığı birbiriyle bağlantılıdır. İdeal gaz yasası bunların birbiriyle nasıl bağlantılı olduğunu gösterir. Bir gazı ısıtırsanız, genişlemek ister; sıkıştırsanız, daha küçük bir hacme sığıverir ama basıncı artar. İdeal gaz yasası uçakla yolculuk ederken dışarıdaki aşırı soğuk havayı düşünüp içi titreyenlerin veya tırmandıkça basınç ile sıcaklığın düşeceğini bilen dağcıların aşina olduğu bir yasadır. Charles Darwin'in de And Dağları'nın yükseklerinde kamp yaparken bir türlü pişmeyen patatesleri için ideal gaz yasasından dem vurmuşluğu vardır.

İdeal gaz yasası $PV = nRT$ şeklinde yazılır. Burada P basınç, V hacim, T sıcaklık, n gazın mol sayısı (1 mol'de Avogadro sayısı kadar, yani $6x10^{23}$ tane atom bulunur) ve R gaz sabiti denen bir sayıdır.

Eğer düdüklü tencere kullandıysanız, ideal gaz yasasından yararlanmışsınız demektir. Düdüklü tencereler nasıl çalışır? Bunlar pişirme sırasında buharın dışarı çıkmasını engelleyecek şekilde yalıtım uygulanmış tencerelerdir. Dışarıya hiç buhar kaçamadığı için su kaynadıkça içerideki buhar miktarı artar ve bu da basıncı yükseltir. Basınç daha fazla buharın oluşmasını önleyecek bir düzeye yükselir ve böylece yemek de suyun kaynama sıcaklığı olan 100 derece Celsius'tan daha çok ısınabilir. Bu durumda yemek daha çabuk pişer ve böylece lezzetinden bir şey kaybetmez.

İlk kez Fransız fizikçi Émile Clapeyron'un 19. yüzyılda sözünü ettiği ideal gaz yasası, bir gazın basınç, sıcaklık ve hacminin birbiriyle bağlantılı olduğunu söyler. Hacim küçüldüğünde ya da sıcaklık arttığında gazın basıncı yükselir. İçinde hava bulunan bir kutu düşünün. Eğer kutunun hacmini yarıya düşürürseniz basınç iki katına çıkar. Eğer kutuyu ısıtarak sıcaklığını iki katına çıkarırsanız, basınç yine iki katına çıkar.

dönem

İÖ ~350
Aristoteles "doğa boşluktan nefret eder" der.

1650
Otto von Guericke ilk vakum pompasını yapar.

1662
Boyle yasasının çıkışı (PV = sabit)

"Bayrakların uzayda dalgalanmamasında umut verici bir simgesellik var."
Arthur C. Clarke, 1917-2008

Clapeyron ideal gaz yasasını türetirken daha önce bulunan iki yasayı birleştirmişti: biri Robert Boyle'un basınçla hacim arasındaki ilişki yasası, diğeri de Jacques Charles ve Joseph Louis Gay-Lussac'ın hacimle sıcaklık arasındaki ilişki yasası. Clapeyron bu üç niceliği birleştirirken bir mol gaz üzerinden düşünmüştü. Bir mol, 6×10^{23} –yani 6 ve ardından 23 tane sıfır– tane atom ya da molekül miktarı demektir ki bu sayıya Avogadro sayısı da denir. Bu kadar çok atomun müthiş yer kaplayacağını düşünebilirsiniz ama aslında bir kurşunkalemin içindeki grafitte de yaklaşık bu kadar atom vardır. Bir mol, 12 gram karbondaki karbon-12 atomlarının sayısı olarak tanımlanmıştır. Avogadro sayısının büyüklüğünü şöyle de düşünebilirsiniz: Avogadro sayısı kadar greyfurtunuz olsaydı, hacmi Dünya kadar olurdu.

İdeal gaz Peki ideal gaz nedir? Basitçe söylersek, ideal gaz yasasına uyan gazdır. Buna uyar çünkü gazı oluşturan atomlar veya moleküller, aralarındaki mesafelere oranla çok küçük olduklarından, birbirlerine çarpmadan, rahatça hareket edebilirler. Bunun yanında parçacıkları birbirine yapışmaya zorlayacak –örneğin elektriksel yükler gibi– başka kuvvetler de yoktur.

Neon, argon ve ksenon gibi "soy gazlar", (moleküllerden değil de) atomlardan oluşan ideal gazlar gibi davranırlar. Hidrojen, azot ve oksijen gibi simetrik, hafif moleküller de neredeyse birer ideal gaz gibi davranır. Ama bütan gibi daha ağır gaz molekülleri bu ideallikten uzaktır.

Gazların yoğunlukları çok düşük olur. Gazı oluşturan atomlar veya moleküller bir arada durmazlar ve ortamda serbestçe dolaşırlar. İdeal gazlarda atomlar, tıpkı bir duvar tenisi salonuna bırakılmış binlerce lastik top gibi birbirlerine ve oyun alanının duvarlarına çarpıp sekerler. Gazların sınırları

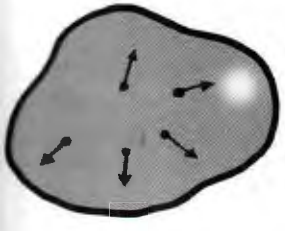
1672 Papin kazanının icadı

1802 Charles ve Gay-Lussac yasasının çıkışı (V/T = sabit)

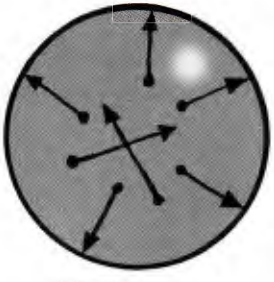
1834 Clapeyron ideal gaz yasasını bulur.

olmasa da kapalı kapların içinde tutulabilirler. Kabın boyutlarını küçültmek gaz moleküllerini birbirlerine yaklaştırır ve gaz yasasına göre hem basıncı hem de sıcaklığı arttırır.

Gaz basıncı, atomlar veya moleküller havada dolaşırken kabın duvarlarına ve birbirlerine çarpmalarından kaynaklanır. Newton'ın üçüncü yasasına (bkz. s. 10) göre, seken parçacıklar duvarlara ters yönlü bir kuvvet uygular. Duvarlarla parçacıklar arasındaki çarpışmalar esnektir. Dolayısıyla parçacıklar hiçbir yapışma ya da enerji kaybı olmadan sekerler ama kaba momentumlarını aktarırlar ve bu da basınç şeklinde hissedilir. Momentum normalde kabı dışa doğru ittirecekken kabın sağlamlığı buna karşı koyar. Ayrıca çarpışmalardan dolayı her yöne doğru kuvvetler oluştuğundan bunlar toplamda birbirini götürür.



Düşük basınç



Yüksek basınç

Sıcaklığı arttırmak parçacıkların hızını arttırır. Böylece duvarlara uygulanan kuvvetler büyür. Isı enerjisi moleküllere geçerek kinetik enerjilerini arttırır ve daha hızlı hareket etmelerine neden olur. Moleküller de duvarlara çarptıklarında artık daha büyük momentum aktardıklarından basınç yükselir.

Hacmi düşürmek gazın yoğunluğunu arttırır. Böylece atomlar veya moleküller duvarlara daha çok çarpar ve basınç yine artar. Sıcaklık da yükselir, çünkü enerji korunduğu için daha küçük bir alanda hareket eden moleküllerin hızı artar.

Bazı gazlar bu yasaya tam uymaz. Büyük ya da karmaşık moleküllü gazların molekülleri arasında bazı ek kuvvetler ortaya çıkar ve molekülleri öbekler oluşturmaya meylettirir. Bu tür yapıştırıcı kuvvetler, molekülleri oluşturan atomların elektrik yüklerinden kaynaklanır ve genellikle (gaz çok sıkıştırıldığı ya da çok soğuk olduğu için) moleküllerin hareketi yavaşladığında ortaya çıkarlar. Protein ve yağ gibi çok yapışkan moleküller gaz haline geçmezler bile.

Basınç ve yükseklik Dağa tırmanırken üzerinizde daha az atmosfer olduğu için üzerinizdeki atmosfer basıncı da deniz düzeyine göre daha az olur. Dikkatinizi çektiyse bu durumda hava sıcaklığı da düşer. Yolcu

uçaklarının uçtuğu yüksekliklerde hava sıcaklığı donma derecesinin çok altındadır. Bu da aslında ideal gaz yasasının güzel bir örneğidir.

Yüksek irtifada atmosfer basıncı düşük olduğu için, su deniz seviyesine oranla daha düşük sıcaklıklarda kaynamaya başlar. Yiyecekler iyi pişmediği için dağcılar bazen düdüklü tencere kullanır. Fransız fizikçi Denis Papin'in 17. yüzyılın sonlarında düdüklü tencereyi icat ettiğini bilen Charles Darwin de 1835'de Andları dolaşırken yanında bir tane bulunmamasından yakınmıştır.

Beagle Yolculuğu günlüklerinde Darwin şöyle yazmıştı:

"Uyuduğumuz yerde atmosfer basıncı düşük olduğu için su alçak kesimlere oranla daha düşük bir sıcaklıkta kaynıyordu; yani Papin'in kazanındakinin tersi bir durum söz konusuydu. Dolayısıyla patatesler de kaynar suda saatlerce kalmalarına rağmen hâlâ taş gibi oluyordu. Tencere gece boyunca ateşte kaldı ve ertesi sabah yeniden kaynatıldı ama patatesler yine de pişmedi. Bunun nedeni üzerine tartışan iki yol arkadaşıma kulak misafiri olunca vardıkları kestirme sonucu öğrenmiş oldum: 'Bu yeni tencere lanetli. Patatesleri pişirmek istemiyor.'"

Vakum Dağları da geçip atmosferin üstüne, yani uzaya çıkarsanız basınç neredeyse sıfıra düşer. Kusursuz bir vakum "ortamında hiç atom olmaz. Ancak Evren'in hiçbir yerinde kusursuz vakum yoktur. Uzay boşluğunda bile santimetreküp başına birkaç hidrojen atomu bulunur. Eski Yunan düşünürleri Platon ve Aristoteles, "hiçbir şey" diye bir şey var olamayacağı için kusursuz vakumun da olamayacağına inanıyorlardı.

Günümüzde kuantum mekaniği, hiçbir şeyin bulunmadığı bir vakum düşüncesini bir kenara kaldırmıştır, çünkü kuantum kuramına göre boşluk dediğimiz şey sürekli yokluktan var olup yeniden yok olan sanal atom-altı parçacıklarla kaynar durur. Hatta kozmolojiye göre boşlukta Evren'in genişlemesini hızlandıran ve karanlık enerji adıyla bilinen negatif bir basınç olabilir. Anlaşılan, doğa gerçekten de boşluktan nefret ediyor.

» fikrin özü
Düdüklü tencere fiziği

09 Termodinamiğin İkinci Yasası

Termodinamiğin ikinci yasası modern fiziğin temel direklerinden biridir. Isının sıcak nesnelerden soğuk nesnelere doğru gittiğini, tersi yönde gitmediğini söyler. Isı, düzensizliği yani entropiyi ölçtüğünden, aynı olguyu şöyle de anlatabiliriz: Yalıtılmış bir sistemde entropi her zaman artar. İkinci yasa, zamanın akışı, olayların gelişmesi ve Evren'in sonunun nasıl olacağı sorularında kilit öneme sahiptir.

Bir bardak buza sıcak kahve koyduğunuzda buz ısınır ve erir; kahveyse soğur. Böyle bir durumda sıcaklığın neden daha uç noktalara gitmediğini hiç düşündünüz mü? Yani kahve buzun sıcaklığını alıp buzu daha da soğuturken kendisi de biraz daha ısınabilirdi. Deneyimlerimiz böyle bir şeyin olmayacağını söyler. Peki ama neden?

Sıcak ve soğuk nesnelerin ısı alışveriş eğilimleri ve bir denge sıcaklığına doğru ilerlemeleri, termodinamiğin ikinci yasasında ele alınır. Bu yasa, kabaca, sıcaklığın soğuk nesneden sıcak nesneye doğru akamayacağını söyler.

Öyleyse buzdolabı nasıl çalışır? Sıcaklığını başka bir şeye aktaramıyorsak, bir bardak portakal suyunu nasıl soğutuyoruz? İkinci yasa bunu yalnızca bazı özel durumlarda yapmamıza izin verir. Buzdolapları aslında nesneleri soğutma sürecinin yan ürünü olarak bolca ısı üretir. Bunu çalışan bir buzdolabının arkasına dokunup anlayabilirsiniz. Buzdolabının ve çevresindekilerin toplam enerjisini göz önüne aldığımızda, ısı yaydıklarını, dolayısıyla ikinci yasayı ihlal etmediklerini görürüz.

Entropi Isı gerçekten de düzensizliğin bir ölçüsüdür ve fizikte düzensizliğin miktarı çoğu kez "entropi" ile belirtilir. Entropi, bir grup ögenin kendilerini

dönem

1150
Bhaskara bir devridaim tekerleği fikri ileri sürer.

1824
Sadi Carnot termodinamiğin temellerini atar.

"Entropinin sürekli artışının Evren'in temel yasası olması gibi, yaşamın temel yasası da gittikçe daha düzenli yapılaşmak ve entropiyle mücadele etmektir."

Václav Havel, 1977

düzenleyebileceği yolların bir ölçüsüdür. Paket halindeki spagetti makarna çubuklarının entropisi düşüktür, çünkü yapısında yüksek bir düzen vardır. Makarnalar tencerede kaynayan suya atılıp da karışarak birbirlerine dolandığında artık daha düzensizdirler, dolayısıyla daha yüksek bir entropileri vardır. Benzer şekilde, düzgün sıralanmış oyuncak askerlerin entropisi düşüktür ama yere saçılmış olanlarınki yüksektir.

Bunun buzdolaplarıyla ne ilgisi olabilir? Termodinamiğin ikinci yasasını ifade etmenin bir başka yolu da şudur: Sınırlı bir sistem için entropi sürekli artar, hiçbir zaman azalmaz. Soğuk nesnelerin atomları, sıcak nesnelerin daha çok titreşen atomlarına göre daha çok düzen içindedir. Tersten söylersek, düzensizlikleri (entropileri) daha azdır. Bir sistemin bütününün entropisindeki değişime baktığımızda hep artmakta olduğunu görürüz.

Buzdolabına gelince, portakal suyunun soğuması entropisini azaltır ama bu, buzdolabının yaydığı sıcak havayla dengelenir. Hatta ısınan havadaki entropi artışı, soğumayla gerçekleşen entropi düşüşünden fazla olur. Bütün sistem, yani buzdolabı ve çevresindekiler göz önüne alındığında termodinamiğin ikinci yasasının işlediği görülür. İkinci yasanın bir başka ifadesi, entropinin her zaman arttığıdır.

İkinci yasa yalıtılmış sistemler için, yani içeriden dışarıya veya dışarıdan içeriye enerji akışı olmayan sistemler için geçerlidir. İçerideki enerji korunur. Evren'in kendisi de yalıtılmış bir sistemdir, çünkü tanımı gereği "dış"ında hiçbir şey yoktur. Dolayısıyla bir bütün olarak Evren'de de enerji korunur ve entropisi sürekli artmalıdır. Bazı küçük bölgelerde soğuma gibi nedenlerle entropide hafif düşüşler görülse de bunlar tıpkı buzdolabında olduğu gibi, başka bölgelerdeki ısınmayla ve entropi artışıyla telafi edilir; böylece toplam entropi artar.

1850

Rudolf Clausius entropiyi ve 2. yasayı tanımlar.

1860

Maxwell, "Maxwell Şeytanı" argümanını ileri sürer.

2007

Leigh bir "Maxwell Şeytanı" makinesi yaptığını ileri sürer.

Evren'in sıkıcı rengi

Gökbilimciler kısa süre önce Evren'deki tüm yıldız ışıklarını toplayınca, ortalama renginin güneş sarısı, pembe veya soluk mavi değil, kasvetli bir bej olduğunu buldular. Milyarlarca yıl sonra, entropi kütleçekime karşı zaferini ilan ettiğinde, Evren bej bir monotonluğa bürünecek.

Entropideki artış neye benzer? Bir bardak sütün içine çikolata sosu boşalttığınızda ilk başta düşük bir entropi vardır. Süt ve sos birbirinden ayrı beyaz ve kahverengi bölgeler halinde görünür. Ama bir kaşıkla karıştırmaya başladığınızda düzensizliği arttırırsınız ve moleküller birbirine karışmaya başlar. Düzensizliğin en üst düzeye ulaştığı noktada sos ile süt tümüyle birbirine karışmıştır ve karışım da soluk karamel rengini almıştır.

Bütün olarak Evren'i düşündüğümüzde, ikinci yasa Evren'deki atomların da benzer bir şekilde zamanla daha düzensizleşeceğini söyler. Tüm madde topaklanmaları zamanla ayrışıp dağılacak ve Evren onların atomlarıyla dolacaktır. Yani yıldızlardan ve galaksilerden oluşan çok renkli bir halı olarak yaşamına başlayan Evren'in nihai kaderi, gri bir atom denizine dönüşmektir. Evren'in genişlemesinin sonunda galaksiler parçalanıp dağılacak, içerdikleri madde yoğunluğu seyrelecektir. Geriye yalnızca çok çeşitli atom-altı parçacıklardan oluşan bir çorba kalacaktır. Evren'in sürekli genişleyeceği varsayımına dayanan bu son, "ısı ölümü" olarak bilinir.

Devridaim Isı bir enerji biçimi olduğundan, iş üretmek için kullanılabilir. Buhar makinesi ısıyı, bir pistonun ya da türbinin mekanik hareketine dönüştürür ki bununla da elektrik üretilebilir. Termodinamik konusundaki bilimsel çalışmaların çoğu 19. yüzyılda, fizikçilerin kağıt üzerinde vardıkları sonuçlardan değil de buhar makinelerindeki mühendislik uygulamalarından çıkmıştır. İkinci yasanın bir başka çıkarımı da buhar makinesi de dahil, ısıyı başka enerji biçimlerine çeviren hiçbir makinenin kusursuz olamayacağıdır. Isıyı herhangi başka bir enerji biçimine çeviren her süreçte küçük de olsa bir miktar enerji kaybolur ve böylece sistemin entropisi artar.

Hiç enerji kaybı olmayan ve bu nedenle sonsuza dek çalışabilen devridaim makinesi fikri, ortaçağdan beri biliminsanlarını boş yere umutlandırmıştır. Termodinamiğin ikinci yasası, böyle bir makinenin peşinde koşanların başarısız olacağını garantiler. Ama bu yasa bilinmezken pek çok insan bu tür makineler tasarlamaya çalışmıştır. Robert Boyle kendi kendine boşalıp dolan bir kupa düşlemişti. Hintli matematikçi Bhaskara da dönerken tellerinden sarkan ağırlıklar sayesinde kendi kendine sürekli dönen bir tekerlek fikri ortaya atmıştı. Ama iyi incelendiğinde her iki makinenin da enerji

kaybediyor olduğu görülür. Bunlara benzeyen fikirler öylesine yaygındı ki daha 18. yüzyılda bile devridaim makineleri kötü bir nam salmıştı. Fransız Kraliyet Bilim Akademisi ve Amerikan Patent Bürosu'nda devridaim makinesi tasarımlarının değerlendirilmesi yasaklanmıştı. Günümüzde devridaim makinesi, bazı eksantrik mucitlerin kendi kendilerine peşinde koştuğu bir fikirden ibarettir.

Maxwell'in cini İkinci yasayı ihlal etmeye yönelik en tartışmalı girişimlerden biri, İskoç fizikçi James Clerk Maxwell'in 1860'lı yıllarda ileri sürdüğü bir düşünce deneyi oldu. Aynı sıcaklıkta, yan yana duran, içi gaz dolu iki kutu düşünün. Aralarında bir delik olsun ve gaz parçacıkları bir kutudan diğerine geçebilsin. Eğer bir taraf diğerinden daha sıcaksa, parçacıklar delikten öteki tarafa geçer ve zamanla sıcaklıkları eşitlenir. Maxwell mikroskobik bir cin olduğunu varsaydı. Bu cin kutulardan birindeki hızlı molekülleri yakalayıp delikten öteki kutuya atıyordu. Bu durumda ikinci kutudaki moleküllerin ortalama hızı artıyor, ilk kutudakilerinki de düşüyordu. Dolayısıyla Maxwell ısının soğuk kutudan sıcak olana doğru hareket edebildiğini farz etti. Bu süreç termodinamiğin ikinci yasasını ihlal etmiyor muydu? Doğru moleküller seçilerek ısı daha sıcak olan nesnelere aktarılabilir miydi?

Maxwell'in cininin neden çalışmayacağına dair açıklamalar o günden beri fizikçilerin zihinlerini meşgul etmektedir. Birçoğu, parçacıkların hızlarını ölçme ve kutuların arasındaki kapağın açılıp kapanması eylemlerinin bir iş olduğunu ve enerji gerektirdiğini, dolayısıyla da sistemin toplam entropisinin düşmeyeceğini ileri sürmüştür. Edinburgh'lu fizikçi David Leigh'in nano ölçekteki çalışması şimdiye değin bir "cin makinesi"ne en yakın şeydir. Tasarımı gerçekten de hızlı ve yavaş hareket eden parçacıkları ayırabilir ama bunu yapabilmek için dışarıdan bir kaynağına gerek duyar. Ek bir enerji kullanmaksızın parçacıkları aktaracak bir mekanizma olmadığından, günümüz fizikçileri bile ikinci yasayı ihlal etmenin bir yolunu bulamamıştır. En azından şimdilik, yasa sapasağlam ayakta duruyor.

Bir başka açıdan termodinamik yasaları

İlk yasa
Kazanamazsın
(bkz. s. 20'deki Enerjinin Korunumu)

İkinci yasa
Yalnızca kaybedebilirsin
(bkz. s. 36)

Üçüncü yasa
Oyundan çıkamazsın
(bkz. s. 40'taki Mutlak Sıfır)

» fikrin özü
Düzensizliğin yasası

10 Mutlak Sıfır

Mutlak sıfır; bir maddenin, atomlarının hareketinin duracağı kadar soğuk olduğu hayali bir noktadır. Mutlak sıfıra ne doğada ne de laboratuvarda ulaşılabilmiştir. Ama biliminsanları ona çok yakın sıcaklıklara inebilmiştir. Mutlak sıfıra ulaşmak imkânsız olabilir. Ulaşılsa bile bunu bilemeyebiliriz, çünkü onu ölçecek bir termometre yoktur.

Bir şeyin sıcaklığını ölçerken aslında ölçtüğümüz şey, onu oluşturan parçacıkların ortalama enerjisidir. Sıcaklık parçacıkların ne kadar hızlı titreştiğini ya da dolaştığını gösterir. Bir gazda ya da sıvıda moleküller her yöne gitmekte serbesttir ve sık sık birbirleriyle çarpışırlar. Dolayısıyla sıcaklık parçacıkların ortalama hızlarıyla ilgili bir şeydir. Katılarda atomlar, elektronik bağlarla bir arada tutulan ve legolara benzeyen kafes gibi bir yapıda sabittir. Isındığında atomların enerjisi artar ve bulundukları yerde, tıpkı jöle gibi daha çok titreşmeye başlarlar.

Bir madde soğutulduğunda atomlarının hareketi yavaşlar. Gazda hızları düşer; katıda titreşimleri azalır. Sıcaklık ne kadar düşerse, atomların hareketi de o kadar yavaşlar. Öyleyse belli bir noktada durmaları gerekir. Bu varsayımsal durma noktasına mutlak sıfır denir.

"Buzlu dondurmamı mutlak sıfırda saklamayı sevdiğim için, Kelvin'i çoğu Amerikalıdan daha sık kullanmayı tercih ediyorum. Fark ettim ki, moleküller kıpırdadı mı tatlıların lezzeti gidiyor."

Chuck Klosterman, 2004

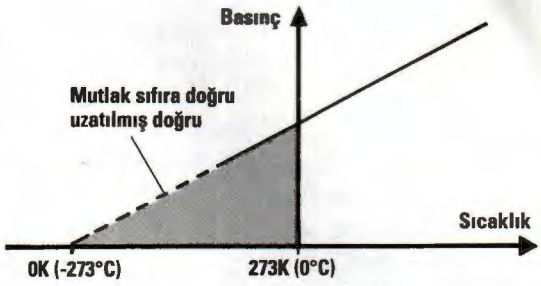
dönem

1702
Guillaume Amontons mutlak sıfır düşüncesini ortaya atar.

1777
Lambert bir mutlak sıcaklık ölçeği önerir.

1802
Gay-Lussac mutlak sıfırı -273 derece Celsius olarak tanımlar.

Kelvin ölçeği Mutlak sıfır fikri 18. yüzyılda sıcaklık ve enerjinin gösterildiği bir grafiğin sıfıra doğru uzatılmasıyla fark edilmiştir. Enerji sıcaklıkla birlikte artar. Bu iki niceliği birbirine bağlayan doğrusal grafik, enerjinin sıfırlandığı sıcaklığı bulmak için geriye doğru uzatılabilir. Böyle yapıldığında –273,15 derece Celsius'a ulaşılır.



On dokuzuncu yüzyılda Lord Kelvin mutlak sıfırdan başlayan yeni bir sıcaklık ölçeği önerdi. Kelvin'in ölçeği, aslında Celsius ölçeğinin yana kaydırılmışıydı. Celsius'ta su 0 derecede donarken Kelvin'de 273 derecede donar, Celsius'ta 100 derecede kaynarken Kelvin'de 373 derecede kaynar. Belli bir basınç ve sıcaklıkta, hem su hem buhar hem de buz aynı anda bulunabilir. "Suyun üçlü noktası" olarak bilinen bu sıcaklık 273,16 kelvin (0,01° Celsius) kabul edilmiş, Kelvin ölçeği buna göre sabitlenmiştir. Günümüzde biliminsanlarının çoğu sıcaklık ölçümlerinde Kelvin ölçeğini kullanır.

Büyük donma Mutlak sıfırda nasıl bir soğukluk hissedilir? Donma derecesinde veya kar başladığında havanın nasıl hissettirdiğini biliriz. Soluğumuz havada buğulaşır ve parmaklarımız hissizleşmeye başlar. Bu soğukluk çoğumuza yeter de artar. Kuzey Amerika'nın belli bölgelerinde ve Sibirya'da kışları hava sıcaklığı bu sıcaklığın da 10 ila 20 derece altına düşer. Güney Kutbu'nda –70 derece Celsius'a kadar inebilir. Dünya'da ölçülmüş en düşük sıcaklık 1983'te Antarktika'nın ortasındaki Vostok'ta ölçülen –89 derece Celsius yani, 184 kelvindir.

Sıcaklık dağa tırmanırken ya da uçakla yükselirken de düşer. Uzaya çıkılırsa, orası daha da soğuktur. Uzayın derinliklerinde, en boş olduğu bölgelerdeki atomların bile sıcaklığı mutlak sıfırdan birkaç derece yukarıdadır. Şu ana değin Evren'de saptanan en soğuk bölge, Bumerang nebulasında mutlak sıfırın yalnızca bir derece üstünde olan karanlık bir gaz bulutudur.

1848	1900	1930	1954
Kelvin sıcaklık ölçeği tanımlanır.	Kelvin "iki bulut" konuşmasını yapar.	Deneysel ölçümlerle mutlak sıfırın yeri kesin olarak belirlenir.	Mutlak sıfır -273,15 derece Celsius olarak tanımlanır.

Bu nebulanın dışında, bütün uzayda ortam sıcaklığı görece ılık; 2,7 kelvindir. Bu ılıklığın nedeni kozmik mikrodalga arkaplan ışımasıdır. Yani Büyük Patlama'dan kalan ve bütün uzayı kaplayan ısı (bkz. s. 182). Bundan daha soğuk olması için bu arkaplan sıcaklığının engellenmiş olması ve atomların kendilerinde arta kalan ısıyı da yitirmiş olması gerekir. Dolayısıyla pratik olarak uzayın herhangi bir bölgesinin mutlak sıfır sıcaklığında olması düşünülemez.

İçerideki soğuk Laboratuvar ortamında Evren'den bile daha düşük sıcaklıklara geçici olarak ulaşılmıştır. Birçok gazın sıvılaştırılmış hali laboratuvarlarda soğutucu olarak kullanılır ama bunlar mutlak sıfırdan daha sıcaktır. Azotu 77 kelvine (−196° C) kadar soğutarak sıvı hale getirmek mümkündür. Sıvı azot, silindirler içinde kolayca taşınabilir. Hastanelerde biyolojik örnekleri saklamada, tüp bebek merkezlerinde donmuş embriyo ve sperm saklamada ve gelişmiş elektronik laboratuvarlarda kullanılır. Sıvı azota daldırılıp soğutulan (dondurulan) bir karanfil, öyle kırılgan bir hal alır ki yere düşerse tıpkı porselen gibi kırılır.

Sıvı helyum daha da soğuktur (4 kelvin) ama mutlak sıfırın yine oldukça üzerindedir. İki tip helyumu –helyum 3 ile helyum 4'ü– karıştırarak bir kelvinin binde biri düzeyine kadar inen bir karışım elde etmek mümkündür.

Daha da düşük sıcaklıklara inebilmek için fizikçiler daha akıllı teknolojilere ihtiyaç duyarlar. 1994'te Colorado eyaletindeki Amerikan Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'nde çalışan biliminsanları, lazer kullanarak sezyum atomlarını mutlak sıfırın yalnızca bir kelvinin bir milyarda 700'ü üstüne kadar soğutmayı başardılar. Dokuz yıl sonra Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'ndeki biliminsanları daha da ileri gittiler ve mutlak sıfıra bir kelvinin milyarda 0,5'i kadar yaklaştılar.

"Thomson kariyerinin ilk yarısında yanlış yapması mümkün olmayan biri gibi görünüyordu; ikinci yarısındaysa doğru yapması mümkün olmayan biri gibi."

C. Watson, 1969 (Lord Kelvin biyografisinin yazarı)

Lord Kelvin 1824-1907

Asıl adı William Thomson olan İngiliz fizikçi Lord Kelvin, elektrik ve ısı alanında birçok sorunla ilgilenmiştir. En bilinen katkısı ise telgraf iletişimini mümkün kılan ilk kıtalararası deniz kablosunun döşenmesine yardımıdır. Kelvin 600'ü aşkın makale yayımladı ve saygın Londra Kraliyet Cemiyeti'ne başkan seçildi. Muhafazakâr bir fizikçiydi; atomların varlığını kabul etmiyordu. Darwin'in evrim kuramına karşı çıkıyor, onunla bağlantılı olan Dünya ve Güneş'in yaşlarıyla ilgili teorilere itimat etmiyordu. Dolayısıyla birçok tartışmada hep kaybeden tarafta yer aldı. İskoç kıyılarındaki, doğduğu Largs kasabası ve Glasgow Üniversitesi'nin arasından akan Kelvin Irmağı'ndan dolayı kendisine Largs'ın Baronu Kelvin ünvanı verildi. 1900'de Büyük Britanya Kraliyet Enstitüsü'nde meşhur bir ders verdi. Bu derste "teorinin güzelliğinin ve temizliğinin", "iki bulut" tarafından gölgelendiğinden yakındı. İki bulut dediği, ışığın içinde ilerlediği düşünülen (gazdan ya da "eter"den) ortamın henüz gözlenememiş oluşu ve o zamanlar sorunlu olan kara cisim ışımasıydı. Onun işaret ettiği bu iki sorun, ileride görelilik ve kuantum kuramları tarafından ele alınıp çözülecekti. Kelvin ise ikisini de o dönemde Newton fiziğiyle çözmeye çalışıyordu.

Gerçekte mutlak sıfır soyut bir düşüncedir. Ne doğada, ne de laboratuvarda ölçülebilmiştir. Ne kadar çalışırlarsa çalışsınlar, biliminsanları gerçekte mutlak sıfıra kesinlikle ulaşamayacaklarını bilirler.

Neden böyle olmak zorundadır? Çünkü her şeyden önce kendi sıcaklığı mutlak sıfır olmayan bir termometre ölçüm sırasında sistemi bozacaktır. İkinci olarak, böylesi düşük enerjilerde sıcaklık ölçümü yapmak başlı başına zordur, çünkü süper iletkenlik ve kuantum mekaniği gibi birtakım başka etkiler araya girer ve atomların hareketlerini ve hallerini etkiler. Dolayısıyla o sıcaklığa ulaşıp ulaşmadığımızdan hiçbir zaman emin olamayız. Mutlak sıfır için belki de "orada öyle bir yer yok" demek en doğrusudur.

» fikrin özü
Büyük soğukluk

11 Brown Hareketi

Brown hareketi, bir sıvının veya gazın içindeki çok küçük parçacıkların dört bir yana yaptığı gelişigüzel hareketlerdir. İlk olarak mikroskobunun ıslak lamında hareket eden polenleri gören botanikçi Robert Brown tarafından gözlenmiştir. Hareketi matematiksel olarak açıklayan kişiyse Albert Einstein olmuştur. Brown hareketi, durgun suda veya havada kirliliğin nasıl yayıldığını açıkladığı gibi, su taşkınları veya borsa hareketleri gibi birçok rassal süreci de açıklar. Aynı zamanda fraktalların oluşumunda devreye girer.

19. yüzyıl botanikçilerinden Robert Brown, mikroskobuyla polen tanelerini incelerken onların bulundukları yerde durmak yerine kıpraşarak düzensiz hareketler yaptığını fark etti. Bir an için canlı olabileceklerini düşündüyse de olmadıkları açıktı. Gerçekte polenler Brown'ın her zaman hafifçe ıslattığı lamdaki su moleküllerinin hareketleri esnasında kendilerine çarpmasından etkileniyorlardı. Polenler rasgele yönlerde bazen çok kısa, bazen de uzun uzun ilerliyorlardı. Brown'ın keşfi birçok biliminsanının aklını karıştırdı ve zamanla Brown'ın adıyla anılmaya başlandı.

Rassal yürüyüş Sudaki Brown hareketi, su moleküllerinin sürekli olarak minik polen tanelerine çarpmasından olur. Gözle görülemeyen su molekülleri gelişigüzel hareket eder ve birbirleriyle çarpışırlar. Bu sırada polenlerle de çarpışıp onları hareket ettirirler. Polen tanesi su moleküllerinden yüzlerce kat büyük olsa da gelişigüzel yönlerde ilerleyen birçok molekül aynı anda kendisine çarptığı için genellikle bir kuvvet dengesizliği oluşur ve polen bir yöne doğru hareket eder. Bu sürekli olduğundan, polen sendeleyerek ilerleyen bir sarhoşunkine benzeyen zikzaklı bir yol izler ve su moleküllerinin çarpması rasgele olduğundan, polenin izleyeceği yol önceden tahmin edilemez. Dolayısıyla polen her an yön değiştirebilir.

dönem

İÖ ~420
Democritus atomların varlığını öne sürer.

1827
Brown polenlerin hareketini gözlemler ve bunun için bir mekanizma ileri sürer.

Brown hareketi sıvı ya da gazlarda asılı bütün küçük parçacıklar için geçerlidir. Hatta –büyüteçle incelendiğinde– havada dans edercesine süzülen dumanı oluşturan büyükçe parçacıkların bile etkilendiği görülebilir. Parçacıkların aldığı minik darbelerin şiddeti, moleküllerin momentumuna bağlıdır. Yani sıvı ya da gazı oluşturan moleküller ağırsa veya akışkan sıcak olduğu için hızlı hareket ediyorlarsa, yarattıkları sarsıntılar da daha şiddetli olur.

19. yüzyılın sonlarında Brown hareketinin altında yatan matematiğin ortaya çıkarılmasına çalışıldı. Ama onu fizikçilerin dikkatine sunan kişi 1905'te yazdığı bir makaleyle Einstein oldu. 1905 yılı aynı zamanda Einstein'ın kendi geliştirdiği görelilik kuramı ve kendisine Nobel Ödülü kazandıran fotoelektrik etki üzerine iki makale daha yazdığı yıldı. Einstein, Brown'ın gözlemlediği hareketleri başarılı bir şekilde açıklamak için moleküllerin çarpışmasına dayanan ısı kuramından yararlanmıştı. Brown hareketinin akışkanlarda moleküllerin varlığına yönelik kanıt oluşturduğunu gören fizikçiler atom kuramını kabul etmek zorunda kaldı, çünkü atom kuramı 20. yüzyılın başlarında bile hâlâ sorgulanıyordu.



Brown hareketinin "rasgele yürüyüşü"

Difüzyon Brown hareketi parçacıkların zamanla ciddi mesafeler ilerlemesine neden olabilir. Ama bu ilerleme hiçbir engelle karşılaşılmayan ve dümdüz giden parçalarınki gibi hızlı olmaz. Ne de olsa rasgele çarpışmalar parçacıkları ileri olduğu gibi geri de hareket ettirebilir. Örneğin bir sıvıya bir noktadan bir grup parçacık bırakılırsa, sıvı hiç karıştırılmasa ya da içinde hiçbir akıntı olmasa bile parçacıklar dışa doğru yayılır. Her parçacık kendi yolunda ilerler; bu da bir arada yoğun olarak bulunan parçacıkların dağılarak bir difüzyon veya yayınım bulutu oluşturmasına neden olur. Böylesi bir difüzyon, örneğin atmosferdeki aerosollerde olduğu gibi, kirlenmenin bir kaynaktan yayılışını anlamak açısından önemlidir. Hiç rüzgâr olmasa da havadaki kimyasal maddeler Brown hareketi nedeniyle yayılırlar.

1905

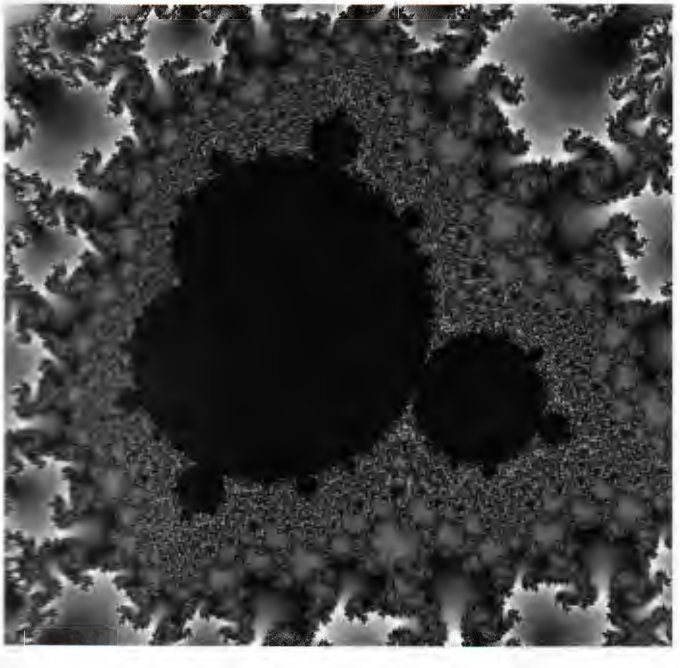
Einstein, Brown hareketinin altındaki matematiği ortaya koyar.

1960'lar

Mandelbrot fraktalları keşfeder.

Fraktallar Fraktallara bir örnek, Brown hareketinin ilerlettiği bir parçacığın izlediği yoldur. Yolun her aşaması herhangi bir büyüklükte ve yönde olabilir ama bu genel bir örüntünün varlığına engel değildir. Bu örüntünün en küçük parçasından en büyük parçasına kadar geçerli olan bir yapısı vardır ki zaten fraktalı fraktal yapan da budur.

Fraktallar 1960'lı ve 1970'li yıllarda Benoit Mandelbrot tarafından "kendine benzer" şekilleri sayısal yoldan ifade edebilmenin bir yolu olarak tanımlandı. Fraktallar, görünüşü her ölçekte aynı olan desenlerdir. Desenin küçük bir bölümü alınıp büyütüldüğünde, büyük ölçekteki şekilden hiçbir farkı olmadığı görülür. Dolayısıyla yalnızca şekle bakarak ne kadar büyütülmüş olduğuna dair bir şey söylenemez. Bu tür yinelenen ve ölçeksiz desenlere doğada sık rastlanır. Ağaçların dalları, eğrelti otlarının yaprakları, kıyıların kıvrımları veya kar tanelerinin simetrik yapısı hep bu tür desenler oluşturur.



Uzunlukları ve boyutları bakılan ölçeğe bağlı olduğu için ortaya kesirli boyutlar çıkar. Aynı kıyıda yer alan iki kasaba arasındaki uzaklığı ölçtüğünüzde, sözgelimi 30 km çıkabilir. Ama her bir kayayı göz önüne alır ve bir iple onların çevresinden dolaşarak ölçmeye kalkarsanız, yüz kilometrelik bir ipe ihtiyacınız olur. Daha da ileri gidip kıyıdaki her kum tanesinin çevresinden dolaşarak ölçerseniz, yüzlerce kilometre uzunluğunda bir ip gerekebilir. Yani burada mutlak uzunluk, ölçüm yapılan ölçeğe bağlıdır. Ama netlikten uzaklaşıp kabaca bir ölçümle yetinirseniz, 30 kilometreye dönebilirsiniz. Bu bağlamda, fraktal boyutlar şekillerin

–örneğin bir bulutun, bir ağacın ya da bir sıradağın– pürüzlülüğünü ölçer. Pek çok fraktal şekil, tıpkı bir kıyı şeridinin ana hatlarında olduğu gibi, rassal adımlarla ilerleyerek üretilebilir. Bu açıdan Brown hareketiyle ilişkilidirler.

Brown hareketinin matematiği, yani bir rassal hareketler dizisi, bilimin birçok alanında işe yarayacak birtakım fraktal örüntüler üretmek için kullanılabilir. Bilgisayar oyunları için kabaca şekil verilmiş dağlar, ağaçlar ve bulutlar gibi sanal manzaralar yaratılabilir. Çukurları ve tümsekleri modelleyerek robotların engebeli arazide ilerlemesini sağlayan uzamsal harita programlarında kullanılabilirler. Bedenimizde bronşların kalın dallardan incelere doğru dallandığı akciğerler gibi bazı karmaşık bölümlerin yapısını analiz etmek isteyen doktorlar, onlardan tıbbi görüntülemede yararlanabilir.

Brown hareketinin altında yatan fikirler, su taşkınlardan borsa dalgalanmalarına kadar birçok ufak rassal olayın toplam ürünü olan olayların ve risklerin tahmin edilmesinde de yararlıdır. Borsa, tıpkı Brown hareketiyle ilerleyen bir dizi molekül gibi, rasgele değişen hisselerden oluşan bir portföy olarak düşünülebilir. Brown hareketi üretim ya da karar verme gibi daha başka toplumsal süreçlerin modellenmesinde de kullanılabilir. Brown hareketindeki rasgele ilerleyişin geçmişte birçok alanda büyük etkisi olmuştur ve güzel bir bardak sıcak çayın içindeki minik çay yapraklarının dansından başka daha pek çok yerde karşımıza çıkar.

» fikrin özü
Görünmez mikroskobik dans

12 Kaos Kuramı

Kaos kuramı, koşullardaki çok küçük değişikliklerin ileride çok büyük sonuçlara yol açabileceğini söyler. Evden 30 saniye geç çıksaydınız, belki otobüsü kaçıracaktınız ama aynı zamanda sizi yeni bir işe yönlendirerek yaşamınızın akışını değiştirecek kişiyle de tanışacaktınız. Kaos kuramının en bilinen uygulama alanı hava durumudur. "Kelebek etkisi" adıyla bilinen olguda, küçük bir rüzgârcık, gezegenin bir başka yerinde kasırgaya yol açabilir. Ancak kaos gerçek anlamda kaotik değildir; içinde birtakım kalıplar barındırır.

Kaos kuramına göre, Brezilya'da bir kelebeğin kanat çırpması Teksas'ta bir hortuma neden olabilir. Bazı sistemlerde başlangıç koşullarının çok benzer olmasına karşın, sonuçlar çok farklı olabilir. Hava durumu bu tür bir sistemdir. Bir yerin sıcaklığında ya da basıncındaki çok küçük bir değişiklik bir başka bölgede şiddetli yağışa yol açacak zincirleme bir dizi olayı tetikleyebilir.

Aslında kaos pek doğru bir adlandırma değildir. Çünkü sözcüğün akla getirdiği gibi tümüyle rassal, öngörülemez ve gelişigüzel yapılı değildir. Kaotik sistemler de aslında deterministiktir, yani başlangıç noktası kesin olarak bilinirse öngörülmeleri ve tekrarlanmaları mümkündür. Basit fizik kurallarıyla pek çok olay açıklanabilir ki bunlar her denemede aynı sonucu verir. Ama bir sonuca bakarak nasıl meydana geldiğini kesin olarak söylemek imkânsızdır, çünkü aynı sonuca birden fazla yoldan ulaşılmış olabilir. Bir sonucu tetikleyen başlangıç koşullarıyla bir başka sonucu tetikleyenler arasındaki farklar çok küçük, hatta ölçülemeyecek kadar küçük olabilir. Yani girdilerdeki çok küçük farklar birbirinden çok farklı sonuçlar doğurabilir. Bu çeşitlilikten dolayı eğer girdi değerlerinde bir belirsizlik varsa, izleyen gelişmeler yelpazesi çok geniş olabilir. Hava durumu örneğinde, eğer rüzgârcığın

dönem

1898

Hadamard bilardosunda kaotik davranışlar görülür.

sıcaklığı düşündüğünüzden bir dereceden daha az bile farklı olsa, öngörünüz tamamen yanlış çıkabilir ve komşu kasabada şiddetli bir fırtına yerine kısa süreli bir yağış ya da güçlü bir hortum gerçekleşebilir. Bu nedenle hava durumu tahmincileri iklim modelini çıkaracakları zaman dilimini sınırlı tutar. Atmosferin durumuyla ilgili olarak, yeryüzündeki meteoroloji istasyonlarından ve yörüngedeki çok sayıda uydudan muazzam miktarda veri bile gelse, tahminciler en çok birkaç günlük hava durumunu öngörebilirler. Bu sürenin ötesinde belirsizlikler, kaos kuramı gereği çok büyük hale gelmeye başlar.

Gelişimi Kaos kuramı 1960'lı yıllarda Amerikalı matematikçi ve meteorolog Edward Lorenz tarafından geliştirildi. Hava durumu modellemesi için bilgisayar kullanan Lorenz, hesapları kolaylaştırmak için simülasyonu parçalara ayırmıştı. Simülasyonu bir sonraki sefer ortasından başlatabilmek için sayıların çıktılarını aldı. Bilgisayarın belleği sayıları virgülden sonra altı hane olarak tutarken, çıktılarda gözüken sayılar virgülden sonraki ilk üç haneye kadar yuvarlanmıştı. Örneğin 0,123456 sayısı çıktıda 0,123 olarak gözüküyordu ve Lorenz bilgisayara sayıları bu yeni halleriyle girdi. Ve hava durumu tahminlerinin ilk seferden tamamen farklı olduğunu gördü. Bilgisayarın sayıları yuvarlanmasından kaynaklanan küçücük farklar, sürecin sonundaki hava durumu tahmin örüntülerini bambaşka hale getiriyordu. Kullandığı modeller yeniden üretilebilir modellerdi, yani rassal değillerdi. Ortaya çıkan farkları yorumlamak zordu. Bu kadar küçük farklar bu kadar büyük oynamalara nasıl yol açabilirdi?

Daha dikkatli inceleyince ortaya çıkan hava durumu tahmin örüntülerinin belli bir kümeyle sınırlı olduğunu gördü ve bunlara "garip çeker" adını verdi. Girdiler değiştirilerek her türlü hava durumu tahmini üretilemiyordu. Her ne kadar girdi olarak verilen sayılara bakarak önceden tahmin etmesi güç olsa da ancak belli bir hava durumu örüntü kümesi ortaya çıkıyordu. Bu, kaotik sistemlerin temel bir özelliğidir: Belli bazı örüntüler izlerler ama belli bir sonuçtan geriye gidilerek belli bir başlangıç noktasına ulaşılamaz. Çünkü aynı sonuca götüren birçok farklı yol vardır.

1961

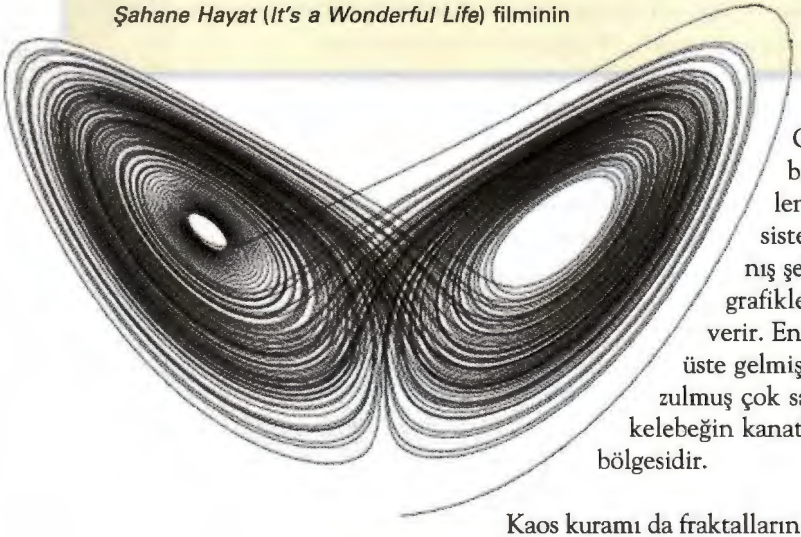
Lorenz hava durumu tahmini üzerinde çalışır.

2005

Neptün'ün uydularının kaotik yörüngelerde dolaştığı anlaşılır.

Kelebek etkisi

Kaosun temel fikri olan "küçük değişikliklerin ileride büyük sonuçlar doğurabileceği" fikri, "kelebek etkisi" dıyla bilinir. Lorenz bununla bir kelebeğin kanat çırpışlarının bir başka yerde kasırgaya yol açabileceğini kastetmiştir. Bu fikir özellikle zaman yolculuğuyla birlikte popüler kültürde ve filmlerde –*Jurassic Park* ve *Kelebek Etkisi* filmlerinde olduğu gibi– yaygın olarak kullanılmıştır. 1946'da çevrilen *Şahane Hayat* (*It's a Wonderful Life*) filminin ana karakteri olan George'a bir melek, eğer o doğmamış olsaydı kasabanın ne kadar içler acısı bir durumda olacağını gösterir. Melek şöyle der: "Sana büyük bir armağan verildi George; sensiz bir dünyanın nasıl bir yer olacağını görme şansı." George kendi varlığının bir adamı boğulmaktan kurtardığını ve yaşamının da aslında şahane olduğunu fark eder.



Girdi ile çıktı arasındaki bağlantılar grafiksel olarak izlenebilir. Böylece tek bir kaotik sistemin ne kadar çeşitli davranış şekli olabildiği görülür. Bu tür grafikler garip çekerlerin haritasını verir. En ünlü örneklerinden biri, üst üste gelmiş ve biraz kaydırılıp şekli bozulmuş çok sayıda sekizden oluşan ve bir kelebeğin kanatlarını andıran Lorenz çekim bölgesidir.

Kaos kuramı da fraktalların keşfedildiği dönemde ortaya çıkmıştır. Gerçekte bu ikisi yakından ilişkilidir. Birçok sistemin kaos çözümlerinin çekim bölgesi haritaları fraktallar şeklindedir. Çekim bölgesinin ayrıntılı yapısı, birçok ölçekte kendini yineleyen bir yapıdır.

İlk örnekler Matematikçilerin değişik sayı girdileriyle tekrar tekrar hesap yapmasını sağlayan bilgisayarların kullanımının artması, kaos kuramının hızla gelişmesini sağladı. Gerçi kaotik özellikteki basit sistemler çok daha önceden biliniyordu. Örneğin 19. yüzyılın sonunda bilardo toplarının izleyeceği yolların ya da yörüngelerin kaotik olduğu biliniyordu.

"O araçta yer alan herkes öldü! Sen Harry'yi kurtarmak için orada olmadığından, Harry de diğerlerini kurtarmak için orada olamadı! Görüyorsun, George, gerçekten de harika bir yaşamın varmış. Onu fırlatıp atmanın ne büyük bir hata olacağını anlıyor musun?"

Şahane Hayat, 1946

Jacques Hadamard, golf topunun golf sahasında ilerleyişi gibi, parçacıkların kıvrımlı yüzeylerdeki hareketleri üzerine çalışmıştı. Buna "Hadamard bilardosu" denir. Bazı yüzeylerde parçacıkların izlediği yollar kararsızlaşıyor ve parçacıklar kenardan düşüyordu. Diğerleri yüzeyde kalıyor ama değişken yollar izliyorlardı. Bir süre sonra Henri Poincaré de kütleçekim etkisi altındaki üç cismin –örneğin iki uydulu Dünya'nın– yörüngeleri için tekrar etmeyen çözümler, yani kararsız yörüngeler buldu. Üç cisim birbirlerinin çevresinde sürekli değişen halkalar üzerinde ama birbirlerinden hiç kopmadan dönüyorlardı. Bu gelişmelerin ardından, matematikçiler ergodik kuram olarak bilinen çok cisimli hareket kuramını geliştirdiler. Kuramı türbülanslı akışkanlar ve radyo devrelerindeki elektriksel salınımlara uyguladılar. Kaos kuramı 1950'li yıllardan bu yana hem yeni kaotik sistemler bulunduğu için hem de hesapları kolaylaştıran dijital bilgisayarlar yaygınlaştığı için hızla gelişti. İlk bilgisayarlardan ENIAC, kaos araştırmalarında ve hava durumu tahmininde kullanıldı.

Kaotik davranış doğada yaygındır. Kaos hava durumunda ve akışkanların akışlarında görüldüğü gibi, gezegenlerin hareketleri gibi çok cisimli sistemlerdeki hareketlerde de görülür. Neptün'ün bir düzineden fazla uydusu vardır. Bu uydular her yıl aynı yörüngelerde dönmek yerine, kaos nedeniyle her yıl farklı yörüngelere kayarlar. Bazı biliminsanları Güneş Sistemi'mizdeki düzenin de kaos sayesinde oluşmuş olabileceğini düşünüyor. Bugünkü gezegenler ve başkaları milyarlarca yıl önce dev bir bilardo oyununun parçası oldular, farklı yörüngeler denediler, kararsız olanlar ortadan yok oldu ve geriye gezegenlerin bugün gördüğümüz düzeni kaldı.

» fikrin özü
Kaostaki düzen

13 Bernoulli Denklemi

Bernoulli denklemi, akışkan maddelerin hızları ile basınçları arasındaki ilişkiyi ifade eder. Uçakların nasıl uçabildiği, bedenimizde kanın nasıl aktığı ve yakıtın araba motoruna nasıl iletildiği hep bu denklemle açıklanır. Hızlı akan akışkanların basıncı düşük olur, bu da uçak kanatlarında bir kaldırma kuvveti oluşmasını ve musluktan akan suyun giderek incelmesini açıklar. Bu etkiden yararlanarak kan basıncını ölçmek isteyen Daniel Bernoulli, hastalarının damarlarına doğrudan tüpler sokmuştur.

Musluğu açtığınızda akan su sütunu, musluğun ağzındakine göre giderek incelir. Bunun sebebi nedir? Peki bunun uçakların uçuşuyla veya anjiyoplasti (atardamar genişletilmesi) ile ne ilgisi olabilir?

Hollandalı fizikçi ve hekim Daniel Bernoulli, hareket halindeki suyun daha az basınç yarattığını fark etmişti. Su ne kadar hızlı akarsa, basıncı o kadar düşük olur. Yatay yerleştirilmiş bir cam tüpün içine su pompalandığını düşünün. Akan suyun basıncını, tüpe dik olarak soktuğunuz ikinci bir ince tüple ölçebilirsiniz. Suyun basıncı yüksekse, ince tüpteki suyun düzeyi de yüksek olur. Eğer basınç düşükse, su düzeyi alçak olur.

Bernoulli yatay tüpteki suyun hızını arttırınca ince tüpte basıncın düştüğünü gözledi. Basınçtaki bu azalmanın suyun hızının karesiyle orantılı olduğunu ortaya çıkardı. Bir akışkanın akarkenki basıncı, duran haline göre daha düşüktür. Musluktan akan suyun basıncı, çevresindeki durgun havaya göre daha düşüktür. Bu yüzden giderek incelen bir sütun olarak akar. Bu durum, su ve hava gibi bütün akışkanlar için geçerlidir.

dönem

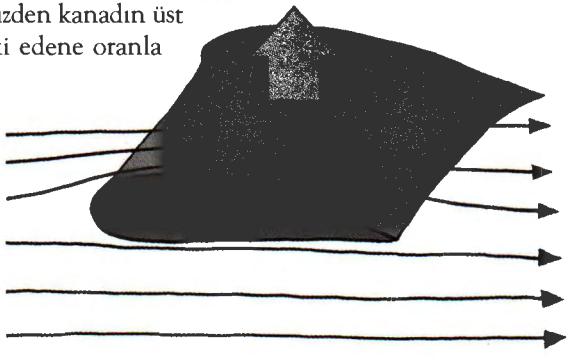
1738

Bernoulli bir akışkanın hızı arttığında basıncının azaldığını keşfeder.

Kan akışı Tıp eğitimi almış olan Bernoulli kanın insan bedenindeki akışına hayrandı. Kan basıncını ölçmek için bir alet icat etti. Kan damarlarına yerleştirilen ince bir tüp yaklaşık iki yüz yıl boyunca hastaların kan basınçlarını ölçmede kullanıldı. Sonradan geliştirilen ve bedende delik açmayan yöntem tüm hastaları rahatlatmış olsa gerek.

Tıpkı boruların içindeki su gibi, atardamardaki kan da damar boyunca oluşan bir basınç farkıyla kalpten öteye pompalanır. Atardamar daralırsa, Bernoulli denklemi uyarınca kanın akış hızı artar. Eğer damar yarı yarıya daralırsa, içinden geçen kanın hızı dört (ikinin karesi) katına çıkar. Kanın bu tür daralmış atardamarlarda hızlı akması birtakım sorunlara yol açabilir. Birincisi akışta türbülans oluşabilir: Eğer belli bir hızın üzerinde akıyorsa burgaçlar görülebilir. Kalbe yakın türbülanslar doktorların fark edebildiği tipik kalp hırıltılarına neden olur. Ayrıca damarın daraldığı bölgede düşen basınç yumuşak damar duvarını içe çekebilir ve sorunu daha da büyütebilir. Eğer anjiyoplasti ile damar genişletilirse akan kan miktarı artar ve işler yoluna girer.

Kaldırma Akışkanın hızlanmasıyla basıncın azalmasından doğan önemli sonuçlar bunlarla bitmez. Uçakların uçması, kanatlarının havanın basıncını düşürmesi sayesinde olur. Uçak kanatlarının üst tarafı alt taraftan daha bombeli ve dolayısıyla daha uzundur. Üstten akan hava, daha uzun bir yol izlediği için daha hızlı hareket eder. Bu yüzden kanadın üst kısmına etki eden hava basıncı, alt kısmına etki edene oranla daha düşük olur. Bu basınç farkı kanatları yukarı iter ve böylece uçak havalanır. Ağır bir uçağın, kalkması için gereken kuvveti sağlayacak basınç farkını oluşturabilmesi için çok hızlı uçması gerekir.



Yakıtın karbüratörden araba motoruna nasıl enjekte edildiği de benzer bir etkiyle açıklanabilir. Venturi borusu denen özel bir püskürtücü

1896

Damara girmeden kan basıncını ölçme yöntemi geliştirilir.

1903

Bernoulli'den esinlendikleri kanatları kullanan Wright Kardeşler ilk uçağı uçurur.

Daniel Bernoulli 1700-82

Hollandalı fizikçi Daniel Bernoulli, babasının isteğini yerine getirmek için tıp eğitimi aldıysa da gönlü hep matematikteydi. Babası Johann matematikçiydi ve oğlunun da matematikçi olmasını istemiyordu. Kariyeri boyunca hep oğluyla rekabet içinde oldu. Bernoulli Basel'de tıp eğitimini tamamladı ama 1724'te St Petersburg'da matematik profesörü oldu. Matematikçi Leonhard Euler ile akışkanlar üzerine çalışan Bernoulli, hız ile basınç arasındaki ilişkiyi tüplerle deneyler yaparken keşfetti. Doktorlar ileride kan basıncını ölçmek için benzer tüpleri damarlara yerleştireceklerdi. Sıvıların basınç ve akışlarının, enerjinin korunumuyla ilgili olduğunu fark etti ve hız arttığı zaman basıncın düştüğünü gösterdi. Daniel 1733'te Basel Üniversitesi'nde çalışmaya başladı. Ama Johann oğlunun başarılarını kıskanıyor ve onunla aynı bölümde olmaktan nefret ediyordu. Hatta onu evinden kovdu. Bütün bunlara rağmen, Daniel 1734'te yazdığı ama 1738'e kadar basılamayan kitabı *Hydrodynamica*'yı babasına adadı. Ama baba Bernoulli, Daniel'in fikirlerini çaldı ve kısa bir süre sonra *Hydraulics* adında benzer bir kitap yayımladı. Bu intihal yüzünden çok sarsılan Daniel tıbba geri döndü ve kariyerini o alanda sürdürdü.

başlık (ortasında dar bir "bel" bölgesi olan geniş bir tüp) akışı önce sıkıştırıp sonra genişleterek düşük basınçlı hava üretir. Bu sayede emilen yakıt, hava-yakıt karışımı olarak motora gönderilir.

Korunum Daniel Bernoulli hız-basınç ilişkisini, enerjinin korunumu akışkanlarda nasıl gerçekleşiyor diye düşünürken buldu. Sıvıların ve havanın da aralarında olduğu akışkanlar, kesintisiz ve şekli sabit olmayan maddelerdir. Ama temel korunum yasalarına uymaları gerekir – yalnızca enerjinin korunumu değil, kütle ve momentumun korunumu yasalarına da. Hareket eden akışkanlarda sürekli yer değiştiren atomlar, Newton ve diğerlerince ortaya konan hareket yasalarına uymak zorundadır. Dolayısıyla hiçbir akışkanda atomlar yoktan var edilemez ve var olanlar yok edilemez; yalnızca yer değiştirirler. Birbirleriyle çarpışacakları hesaba katılmalıdır ve çarptıklarında hızları doğrusal momentumun korunumundan öngörülebilir. Ayrıca parçacıkların toplam enerjisi sabit olmalıdır.

Bu fizik yasaları günümüzde hava durumu örüntülerinden okyanus akıntılarına, yıldızlardaki ve galaksilerdeki gaz dolaşımlarından bedenlerimizdeki

"Havadan ağır makinelerin uçması imkânsızdır. Balonla yapılanlar hariç hava taşımacılığından ve şu sözünü duyduğumuz denemelerden güzel bir sonuç alınacağından zerre umudum yok."

Lord Kelvin, 1895

akışkanların hareketlerine kadar her türlü akışkan davranışını modellemede kullanılır. Hava durumu tahminleri birçok atomun hareketinin bilgisayar modellemelerine dayanır. Bu atomların hareketleriyle yoğunlukta, sıcaklıkta ve basınçta bölgesel değişimler yaratarak sıcaklık değişimlerine yol açmaları ise termodinamikle açıklanır. Hız basınç farklarına neden olur; basınç farkları ise yüksek basınçtan alçak basınca doğru rüzgârların oluşmasına neden olur. 2005'te Amerika kıyılarına doğru hızla ilerleyen Katrina kasırgasının izleyeceği yolun modellenmesinde de aynı fikirler kullanılmıştır.

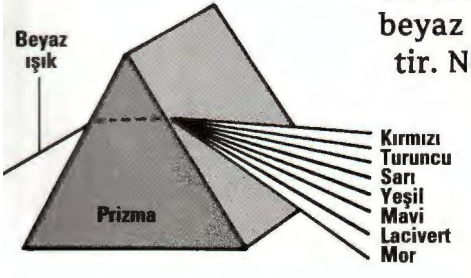
Korunum yasaları, Navier-Stokes denklemleri adıyla bilinen bir dizi başka denklemin içinde daha yer alır. Bu denklemler aynı zamanda sıvının molekülleri arasındaki kuvvetlerden dolayı beliren "viskozite"sini, yani akmaya karşı direncini de hesaba katarlar.

Akışkanlar dinamiğinin Navier-Stokes denklemleri, El Niño ile kasırgaların da aralarında bulunduğu iklim olayları gibi birçok karmaşık sistemi açıklayacak kadar ayrıntılıdır. Ama çağlayarak dökülen bir şelalenin ya da bir fıskiyenin akışları gibi çok türbülanslı akışları tanımlayamazlar. Türbülans, akışı bozulan suyun rassal hareketidir. Akış hızlandığında veya kararsızlaştığında ortaya çıkar. Türbülansı matematiksel olarak açıklamak o kadar zordur ki bugün bile bu uç durumları açıklayacak yeni denklemler geliştirecek biliminsanları için büyük para ödülleri konmuştur.

» fikrin özü
Atardamarlar ve aerodinamik

14 Newton'ın Renk Kuramı

Gökkuşağının güzelliğine hepimiz hayran hayran bakmışızdır – Isaac Newton ise nasıl oluştuğunu açıklamıştır. Newton cam bir prizmadan geçen beyaz ışığın gökkuşağının renk tonlarına ayrıştığını keşfetmiş, bu renkleri prizmanın oluşturmadığını, zaten beyaz ışığın içinde bulunduklarını göstermiştir. Newton'ın ışık kuramı o dönemde tartışmalı olsa da bu durum kuşaklar boyunca ressamları ve biliminsanlarını etkilemesini engellememiştir.



Prizmaya beyaz bir ışık ışını düşürdüğünüzde gökkuşağının renklerine ayrışır. Gökyüzünde ortaya çıkan gökkuşakları da havadaki su damlacıklarının, gelen güneş ışınlarını aynı şekilde renk tonları tayfına ayrıştırmasıyla oluşur: kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, lacivert ve mor.

Hepsi aynı karışımda 1660'ta odasındaki prizmalarla ışık üzerine deneyler yapan Isaac Newton, ışığın renklerinin beyaz ışık oluşturmak için birleştirilebileceğini gösterdi. Renkler daha önceden sanıldığı gibi prizmanın oluşturduğu ya da karıştırılarak elde edilen şeyler değildi; onlar en temel birimlerdi. Newton kırmızı ve mavi ışık ışınlarını ayrıştırdı ve bu renklerin artık kaç prizmadan geçirilirse geçirilsin başka renklere ayrıştırılamayacağını gösterdi.

dönem

1672

Newton gökkuşağını açıklar.

**"Doğa ve doğanın yasaları gecenin karanlığında saklanır;
'Newton var ol' dedi Tanrı ve her şey aydınlandı."**

Alexander Pope, 1727 (Newton'ın mezar taşı yazısı)

Günümüzde aşina olduğumuz bu fikir, Newton'ın önerdiği dönemde tartışmalıydı. Çağdaşları bu kurama şiddetle karşı çıkıyorlardı. Onlar beyaz ışık ile karanlığın karışımlarının (bir tür gölge olarak) renkleri oluşturduğuna inanıyorlardı. Newton en şiddetli tartışmalarını, kendi kadar ünlü çağdaşı Robert Hooke ile yaptı. İkili yaşamları boyunca herkesin önünde renk kuramını tartışmayı sürdürdü. Hooke renkli ışığın tıpkı bir renkli camdan baktığımızda gördüğümüz gibi bir izlenim olduğuna inanıyordu. Kendi görüşünü desteklemek için gerçek yaşamdan birçok sıra dışı renkli ışık olayına başvuruyor ve Newton'ı daha fazla deney yapmamakla eleştiriyordu.

Newton aydınlatılmış bir odadaki cisimlerin renkli görünmesinin, belli renkteki ışınları yansıtmalarından dolayı olduğunu da fark etmişti; renk nesnenin bir özelliği değildi. Kırmızı bir koltuk en çok kırmızı ışığı, yeşil bir masa ise yeşil ışığı yansıtır. Turkuaz renkli bir yastık, mavi ve biraz da sarı ışığı yansıtır. Öteki renkler bu temel ışıkların karışımları olarak vardır.

Işık dalgaları Newton için renkleri anlamak aslında ışığın fiziğini araştırmanın bir aracıydı. Daha başka deneyler de yaparak ışığın birçok yönden aslında su dalgaları gibi hareket ettiği sonucuna vardı. Işık, deniz dalgalarının liman duvarlarının çevresinde bükülmesine benzer bir şekilde önüne çıkan engellerin çevresinde bükülüyordu. Işık ışınları da parlaklıklarını güçlendirecek ya da zayıflatacak biçimde tıpkı su dalgaları gibi birbirlerine eklenebiliyordu. Newton, su dalgalarının görünmeyen su moleküllerinin büyük ölçekli hareketi oluşu gibi, ışık dalgalarının da çok küçük, atomdan bile küçük ışık cisimciklerinin dalgalanması olduğuna inanıyordu. Newton'ın bilmediği (ve yüzlerce yıl sonra keşfedilecek olan) şey, ışığın katı parçacıkların dalgalanması değil, elektromanyetik dalgalar olduğuydu. Newton'ın ışık cisimcikleri fikri rafa kaldırıldı. Ne var ki Einstein ışığın

1810
Goethe renk üzerine tezini yayımlar.

1905
Einstein ışığın bazı durumlarda parçacık gibi davrandığını gösterir.

Renk çarkı

Newton gökkuşağındaki kırmızıdan mora kadar tüm renkleri kullanarak bir renk çarkı oluşturdu. Böylece renklerin birleşme ilişkisini gösterecekti. Ana renkleri –kırmızı, sarı ve mavi– tekerleğe aralıklı olarak yerleştirdi. Bunlar değişik oranlarda karıştırıldığında aralarında kalan diğer tüm renkleri oluşturuyorlardı. Mavi ve turuncu gibi tamamlayıcı renkler birbirinin karşısında yer alıyordu. Birçok ressam Newton'ın ışık kuramıyla ilgilenmeye başladı. Özellikle de kontrast renkleri ve aydınlanma etkilerini tanımlamada işlerine yarayan renk çarkıyla ilgileniyorlardı. En büyük kontrastı, birbirini tamamlayan renkler yaratıyordu ve gölgeleri boyamada kullanılıyorlardı.

enerjili ama kütlesiz parçacıklar gibi de davranabildiğini gösterince, bu fikir yeni biçimiyle tekrar canlandı.

Dalga hareketi pek çok farklı şekilde ortaya çıkabilir. İki temel dalga tipi vardır: boyuna dalga ve enine dalga. Dalgaları üreten atımlar dalgaların ilerlediği doğrultuda hareket ediyorsa, boyuna dalgalar, diğer adıyla sıkıştırma dalgaları oluşur. Örneğin bir davulun havada titreşen derisinin neden olduğu ses dalgaları, boyuna dalgalardır, çünkü derinin titreme doğrultusuyla ses dalgasının çıkış doğrultusu aynıdır. Bu dalga bir kırkayağın yürürken ayaklarının dalgalanmasına benzer. Ayaklar önce birbirine yaklaşarak toplanır, ardından birbirinden olabildiğince açılırlar. Işık ve su dalgaları ise enine dalgalardır. Çalkantıyı yaratan hareketin doğrultusu, dalganın ilerlediği yöne diktir. Bir urganı bir ucundan tutup aşağı yukarı sallarsanız, urgan boyunca bir dalga sizden uzaklaşarak ilerler. Burada elinizin hareketi dalganın ilerleme yönüne diktir. Benzer şekilde yılanlar da vücutlarını iki yana doğru hareket ettirip enine dalgalar oluşturarak ilerler. Su dalgaları da enine dalgalardır; çünkü su molekülleri aşağı yukarı hareket ederken, dalga ufka doğru hareket eder. Işık dalgalarının enine hareketi ise dalganın yayılım yönüne dik doğrultudaki elektrik ve manyetik alanların güçlerindeki değişimden kaynaklanır.

Tayf boyunca Işığın farklı renkleri, bu elektromanyetik dalgaların farklı dalgaboylarını yansıtır. Arka arkaya iki dalga tepesinin ya da dalga çukurunun arasındaki mesafeye dalgaboyu denir. Beyaz ışık bir prizmadan geçerken farklı dalgaboylarında renklere ayrışır, çünkü geçiş sırasında farklı dalgaboylarındaki ışınlar farklı açılarla kırılırlar. Prizma ışık dalgalarını

dalgaboyuna göre değişen açılarla büker. Kırmızı ışık en az bükülürken, mor en çok bükülür. Böylece gökkuşağındaki renk dizilimi oluşur. Görünür ışığın tayfı dalgaboyu sırasına göre oluşur – yani en uzun dalgaboylu kırmızıdan en kısa dalgaboylu mora doğru.

Gökkuşağının her iki ucundaki renklerin ötesinde ne vardır? Görünür ışık, elektromanyetik tayfın yalnızca küçük bir bölümüdür. Ama bizim için çok önemlidir, çünkü gözlerimiz tayfın yalnızca bu bölümünü algılayacak şekilde evrilmiştir. Görünür ışığın dalgaboyları, atomların ve moleküllerin boyutlarıyla kabaca aynı ölçekte –metrenin on milyonda biri dolaylarında– olduğundan, ışık maddelerin atomlarıyla çokça etkileşir. Gözlerimiz tayfın kırmızıdan mora kadar olan aralığını görebilecek şekilde evrilmiştir, çünkü bu aralıktaki ışık boyları, atom yapısına en duyarlı olanlardır. Newton gözün işleyişinden çok etkilenmişti. Öyle ki kendi gözünün kenarından bir örgü iğnesi sokup bastırarak renk algısını nasıl etkilediğine bakmıştır.

Kırmızı ışıktan sonra, dalgaboyu metrenin milyonda biri dolayında olan kızılötesi ışınlar gelir. Kızılötesi ışınlar Güneş'in sıcaklığını taşırlar ve nesnelerin sıcaklığını "gören" gece görüş dürbünleriyle algılanırlar. Kızılötesinden sonra dalgaboyu sıralamasında mikrodalgalar gelir. Bunların dalgaboyları milimetre ile santimetre ölçeğindedir. Mikrodalga fırınlar, yiyeceklerdeki su moleküllerini fırıl fırıl döndürerek yiyeceği ısıtan "mikrodalga elektromanyetik ışınları" kullanır. Tayfın öbür ucundaki morun ötesinde ise morötesi ışık bulunur. Bunlar da Güneş'ten yayılır. Büyük bölümü Dünya'nın ozon tabakasına takılsa da, yeryüzüne ulaşanlar derimize zarar verir. Daha da kısa dalgaboylarındaki X-ışınları, insan dokusundan geçebildikleri için hastanelerde kullanılırlar. En kısa dalgaboylarında ise gama ışınları vardır.

Gelişmeler Işığın fiziğini Newton açığa kavuşturmuş, düşünürler ve ressamlar da bizim renk algımızla ilgilenmiştir. 19. yüzyılda Alman bilgini Johann Wolfgang von Goethe, insan gözünün ve beyninin yan yana dizili renkleri nasıl yorumladığını incelemiştir. Goethe, Newton'ın renk çarkına (bkz. kutucuk) macentayı eklemiş ve aydınlatılan bir nesne ile onun gölgesinin genelde zıt renkler olduğunu –örneğin kırmızı bir şeyin gölgesinin mavi olduğunu– fark etmiştir. Goethe'nin gözden geçirip düzelttiği renk çarkı, günümüzde ressamlar ve tasarımcılar tarafından hâlâ kullanılır.

» fikrin özü
Gökkuşağının ötesi

15 Huygens İlkesi

Göle bir taş atarsanız, giderek genişleyen, halka şeklinde bir dalga oluşturur. Bu dalga neden genişler? Ve bir nesneyle, söz gelimi bir ağaç kütüğüyle, karşılaştığında çevresinden dolanacağını ya da gölün kenarına çarptığında geri yansıyacağını nasıl öngörebilirsiniz? Huygens ilkesi dalgaların nasıl ilerlediğini anlamak için kullanılan bir araçtır. Bu ilkeye göre dalga cephesindeki her noktanın yeni bir dalgalanma kaynağı olduğu kabul edilir.

Hollandalı fizikçi Christiaan Huygens dalgaların ilerleyişini öngörmek için pratik bir yönteme başvurdu. Diyelim ki göle bir çakıltaşı attınız ve dalga halkaları oluştu. Halka şeklindeki dalganın bir an için donduğunu düşünün. Bu durumda dairesel dalga üzerindeki her nokta –özellikleri donmuş dalgayla aynı olan– yeni bir dalga kaynağı olarak düşünülebilir. Sanki ilk dalganın oluşturduğu halkanın tam üzerinde dizili çok sayıda çakıltaşı bir anda suya bırakılmış gibi olur. Bu taşların düşüşü dalgayı daha da genişletir. Yeni noktalar kümesi de bir dizi yeni yayılan dalga enerjisi kaynağının başlangıç noktaları olur. Bu ilkeyi birçok kez yineleyerek dalganın gelişimi izlenebilir.

Adım adım Bir dalga cephesi üzerindeki her noktanın dalgayla aynı frekans ve fazda yeni bir dalga enerji kaynağı gibi hareket ettiği düşüncesine Huygens ilkesi denir. Bir dalganın frekansı belli bir süre içinde oluşan dalga tekrarı sayısıdır. Dalganın fazı da bir devrin neresinde olunduğunu gösterir. Örneğin bütün dalga tepeleri aynı fazdadır ve bütün çukurlar da onlardan yarım devir uzaktadır. Bir deniz dalgası düşünün, dalgaboyu olarak bilinen iki dalga tepesi arasındaki uzaklık 100 metre olabilir.

Bu dalganın frekansı, yani bir noktadan bir saniyede geçen dalgaboyu sayısı, 60 saniyede 100 metrelik bir dalgaboyu yani dakikada bir devir olabilir. En

dönem

1655

Huygens, Titan'ı keşfeder.

1678

Huygens'in ışığın dalga kuramı tezi yayımlanır.

Christiaan Huygens 1629-95

Hollandalı bir diplomatın oğlu olan Christiaan Huygens aristokrat bir fizikçiydi. 17. yüzyılda Avrupa'nın her yanından, aralarında Newton, Hooke ve Descartes gibi ünlü isimlerin de olduğu, birçok biliminsanı ve düşünürle işbirliği yaptı. Huygens'in ilk yayınları matematik problemleri üzerineydi. Bir yandan da Satürn üzerine çalışıyordu. Pratik bir biliminsanıydı ve ilk sarkaçlı saatin patentini aldı. Denizcilerin boylam belirlemede kullanacağı bir saat de geliştirmeye çalıştı. Huygens Avrupa'da birçok yeri gezdi. Özellikle Paris ve Londra'da önde gelen biliminsanlarıyla tanıştı ve onlarla birlikte sarkaç, dairesel hareket, mekanik ve optik üzerine çalıştı. Her ne kadar Newton'la birlikte merkezcil kuvvet üzerine çalışmış olsa da Huygens, Newton'ın kütleçekim kuramının, uzaktan etkileme olgusu nedeniyle "saçma" olduğunu düşündü. Huygens 1678'de ışığın dalga kuramı üzerine tezini yayımladı.

hızlı okyanus dalgaları saatteki hızları 800 km'yi yani bir jet uçağı hızını, bulan tsunamilerdir. Bunlar kıyıya yaklaştıkça hızları saatte onlarca kilometreye iner ama bu sırada boyları yükselebilir ve kıyıları basabilirler.

Bir dalganın ilerleyişinin haritasını çıkarırken dalga engellerle karşılaştığında ya da başka dalgalarla yolu kesildiğinde Huygens ilkesi tekrar tekrar uygulanabilir. Bir kağıda bir dalga cephesinin konumunu çizerseniz, bu çizim üzerindeki birçok noktadan pergelle çizeceğiniz küçük çemberlerin dış kenarlarını birleştirdiğinizde dalganın bir sonraki konumunu resmetmiş olursunuz.

Huygens'in bu basit yöntemiyle dalgaların değişik durumlardaki halleri tanımlanabilir. Doğrusal bir dalga ilerlerken de düzgünlüğünü korur; çünkü uzunluğu boyunca çizilecek dairesel dalgacıkların ön kenarları birleştirildiğinde bunlar ilk dalganın az ilerisinde yine doğrusal bir dalga cephesi oluşturur.

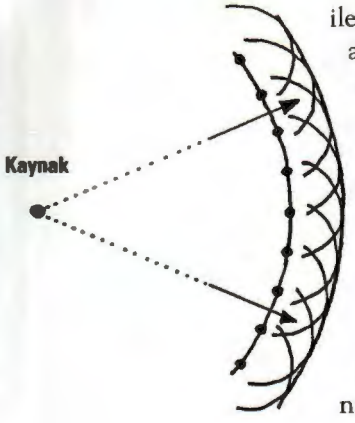
Eğer paralel deniz dalgalarının liman duvarındaki küçük bir açıklıktan geçişini izlerseniz, açıklıktan geçen dalgaların şekil değiştirip yay şeklinde

1873

Maxwell denklemleri ışığın da bir elektromanyetik dalga olduğunu ortaya çıkarır.

2005

Huygens uzay sondası Titan'a iner.



ilerlediğini görürsünüz. Düz dalgaların yalnızca çok kısa bir bölümü aralıktan geçer ve bu değişmemiş kalıntının (Huygens ilkesine göre dairesel yeni dalgaların doğduğu) kenarlarında yaylar oluşur. Eğer açıklık dalgalar arası mesafeye göre daha kısaysa, o zaman yuvarlanan kenarlar örüntüde hakim olur ve iletilen dalga neredeyse bir yarım daire şeklini alır. Dalga enerjisinin, açıklığın iki yanındaki bu yayılımına kırılma denir.

2004'te Sumatra açıklarında meydana gelen şiddetli bir depremin yarattığı korkunç tsunami hızla Hint Okyanusu'nun her yanına doğru ilerledi. Bazı bölgelere ulaştığında gücü azalmıştı; çünkü yolunun üzerindeki ada dizilerinin arasından geçerken oluşan kırılma nedeniyle dalganın enerjisi yayılmıştı.

Kulaklarınıza inanabiliyor musunuz? Yan odadaki birine seslendiğinizde sesinizin sanki odanın kapısındaymışsınız gibi duyulması da Huygens ilkesiyle açıklanır. Huygens'e göre dalgalar kapıya vardığında, tıpkı liman duvarındaki açıklıkta olduğu gibi, yeni bir dizi noktasal dalga enerjisi kaynağı yaratılır. Dolayısıyla dinleyen kişinin kulağına gelen, kapıda yaratılan bu dalgacıklardır; dalganın öteki odadaki geçmişi yok olmuştur.

Huygens Titan'da

14 ocak 2005'te Huygens uzay sondası yedi yıllık bir yolculuktan sonra Titan'ın yüzeyine indi. Birkaç metre çapında koruyucu bir dış kabuğun içindeki Huygens sondası buzdan düzlüğe konmadan önce atmosferden geçerken rüzgârın hızını, atmosfer basıncını, sıcaklığı ve yüzeyin bileşimini ölçen bir dizi deney yaptı. Atmosferi ve yüzeyi sıvı metan içeren Titan ilginç bir dünyaydı. Bazılarına göre metan yiyen bakteriler gibi ilkel yaşam biçimlerine ev sahipliği yapıyor olabilir. Huygens, dış Güneş Sistemi'ndeki bir gökcismine inen ilk uzay aracı olmuştur.

Aynı şekilde dairesel bir dalganın gölün düz olan kıyısına varışını izlerseniz, yansıma ters dönmüş halkalar oluşturur. Dalganın gölün kenarına ulaşan ilk noktası yeni bir kaynak gibi davranır ve yeni bir dalganın ters yönde yayılımı başlar. Dalga yansımalarını tanımlarken de Huygens ilkesi kullanılabilir.

Deniz dalgaları sığ sulara, örneğin bir sahile, geldiğinde hızları değişir ve dalga cephesi sığlığa doğru içe bükülür. Huygens bu "kırılma"yı dalgacıkların yarıçaplarının değişimiyle açıklar. Ona göre yavaş dalgalar daha küçük dalgacıklar üretir. Yavaş dalgacıklar hızlı olanlar kadar uzağa gidemez ve böylece yeni dalga cephesi de orijinale göre açılı olur.

"Ne zaman biri bir ülkünün savunuculuğunu yapsa, minik bir umut dalgası yayılır ve bu dalga bir milyon farklı enerji ve cesaret merkezinde karşılık bulur; onların dalgalanmaları da en güçlü baskı ve direniş duvarlarını süpüren bir akım yaratır."

Robert Kennedy, 1966

Huygens ilkesinin gerçekçi olmayan bir ön kabulü vardır: Bütün yeni dalgacıklar birer dalga enerjisi kaynağıdır; o zaman ileriye doğru olduğu kadar geriye doğru da dalga oluşmalıdır. Yani neden dalga yalnızca ileriye doğru yayılır? Huygens'in buna bir yanıtı yoktur ve dalga enerjisinin ileriye doğru yayıldığını kabul edip geriye hareketi ihmal eder. Dolayısıyla Huygens ilkesi aslında dalgaların gelişimine tam bir açıklama getiren bir yasa değil, yalnızca onların gelişimini öngören kullanışlı bir araçtır.

Satürn'ün halkaları Huygens dalgalar üzerine çalışmanın yanında bir de Satürn'ün halkalarını keşfetti. Gezegenin yanlarında uydular olmadığını ya da ekvatorunda değişken bir şişkinlik bulunmadığını ama yassı, ince bir diskle kuşatıldığını ilk kez o gösterdi. Uyduların yörünge hareketini açıklayan fiziğin, yani Newton'ın kütleçekiminin, gezegenin çevresinde bir halka üzerinde ilerleyen birçok küçük nesneye de uygulanabileceğini düşündü. 1655'te Huygens, Satürn'ün en büyük uydusu Titan'ı keşfetti. Tam 350 yıl sonra Cassini adlı bir uzay aracı Satürn'e vardı. Cassini'nin taşıdığı Huygens adlı uzay sondası Titan'ın bulutlarla kaplı atmosferinden geçerek onun donmuş yüzeyine indi. Titan'da kıtalar, kumullar, göller ve belki de ırmaklar vardı. Ama bunlar sudan değil katı ve sıvı haldeki etan ve metandandı. Huygens kendi adını taşıyan bir uzay aracının bir gün o uzak dünyaya gideceğini bilse çok şaşırırdı. Onun adını taşıyan ilke tabii ki oradaki dalgaları da açıklamak için kullanılır.

» fikrin özü
Dalga gelişimi

16 Snell Yasası

Bir bardak suyun içindeki pipet neden bükülmüş gibi görünür? Çünkü ışık havada ve suda farklı hızlarda ilerler ve bu da ışık ışınlarının bükülmesine neden olur. Işık ışınlarının bükülmesini betimleyen Snell yasası, kızgın yollardaki su birikintisi seraplarını ve yüzme havuzlarında insanların neden kısa bacaklıymış gibi göründüğünü açıklar. Günümüzde, görünmeyen akıllı malzemelerin yapımında bu yasadan yararlanılıyor.

Hiç yüzme havuzunda bacakları gerçekte olduğundan daha kısa görünen arkadaşlarınıza bakıp da güldüğünüz oldu mu? Peki bardağınızdaki pipetin alt bölümünün neden bükülmüş gibi göründüğünü hiç düşündünüz mü? Snell yasası, bu gibi olguları sayılara döker.

Işık ışınları, içinde farklı hızlarda ilerledikleri iki malzeme, örneğin hava ile su, arasındaki sınırı geçerken bükülür. Bu olaya kırılma denir. 17. yüzyılda yaşamış Hollandalı matematikçi Willebrord Snellius'un bulsa da hiç yayımlamamış olduğu bir yasa, farklı malzemeler arasındaki geçişlerde ne kadar bükülme olacağını söyler. İspatını 1637'de René Descartes yayımladığı için bazen Snell-Descartes yasası olarak da anılır. Işığın bu davranışı uzun zamandır iyi biliniyordu. Her ne kadar yüzlerce yıl sonra formüle edilse de bu olgu 10. yüzyıla kadar eski tarihli metinlerde yer alır.

Işık, su veya cam gibi yoğun maddelerin içinde havada ilerlediğinden daha yavaş ilerler. Bu nedenle yüzme havuzuna doğru ilerleyen bir güneş ışığı ışını, yüzeye varınca havuzun tabanına doğru bükülür. Yansıyan ışınlar daha küçük bir açıyla gözümüze geldiğinden, bize doğrudan geldiklerini varsayarak havuzun içindeki birinin bacaklarını sanki bastırılıp kısaltılmış gibi görürüz. Kızgın bir yol üzerinde su birikintisi gibi görünen serap da aynı şekilde oluşur. Yukarıdan gelen ışığın hızı, kızgın asfaltın üzerindeki sıcak

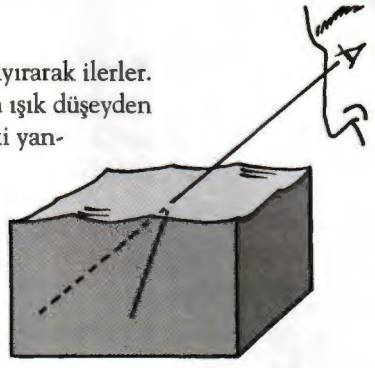
dönem

984
İbn Sahl kırılma ve mercekler üzerine yazılar yazar.

1621
Snellius kırılma yasasını bulur.

1637
Descartes bulduğu benzeri bir yasayı yayımlar.

hava tabakasında değişir; ışınlar bükülür ve yolun yüzeyini sıyırarak ilerler. Sıcak hava soğuk havaya göre daha az yoğundur. Dolayısıyla ışık düşeyden öteye doğru bükülür. Biz de gökyüzünün asfalt yol üzerindeki yansımasını bir su birikintisi gibi görürüz.



Bir ışının bükülme açısı, içinde ilerlediği iki malzemedeki göreli hızlarıyla ilişkilidir. Teknik olarak, hızların oranı, ışınların düşeye göre ölçülen açılarının sinüslerinin oranına eşittir. Havadan suya ya da daha yoğun bir maddeye giren bir ışın, içeri doğru bükülür ve izlediği yol daha dikleşir.

Kırılma indisi Işık boşlukta (örneğin uzayda) saniyede 300 milyon metre hızla ilerler. Işığın yoğun bir madde içindeki hızının boşluktaki hızına oranına kırılma indisi denir. Tanımı gereği boşluğun kırılma indisi 1'dir. Kırılma indisi 2 olan bir madde ışığın hızını, boşluktaki hızına göre yarıya düşürür. Kırılma indisinin büyük olması, ışığın o maddeden geçerken daha fazla bükülmesi anlamına gelir.

Kırılma indisi maddelere ait bir özelliktir. Değişik amaçlar için özel kırılma indisleri olan malzemeler tasarlanabilir – örneğin insanların görüşlerini iyileştirmek için gözlük camları tasarlanabilir. Merceklerin ve prizmaların gücü kırılma indislerine bağlıdır. Güçlü merceklerin kırılma indisi büyük olur.

Kırılma yalnızca ışıkta değil, her türlü dalgada gerçekleşir. Okyanus dalgaları da tıpkı kırılma indisindeki değişime benzer bir şekilde derinlik azaldıkça yavaşlar. Bu nedenle sığ bir kıyıya doğru belli bir açıyla ilerleyen dalgalar, yaklaştıkça kıyıya doğru bükülürler. Köpüklü dalgaların eğimli kıyıya daima paralel olarak çarpması bundandır.

Pek şeker

Kırılma indisi, şarap yapımı ve meyve suyu üretiminde de kullanılır. Şarap yapımcıları şaraba dönüşmeden önce üzüm suyunun şeker yoğunluğunu ölçmek için bir kırılma-ölçer kullanır. Çözünmüş şeker, üzüm suyunun kırılma indisini arttırır ve ileride ne kadar alkol barındıracağını gösterir.

1703

Huygens, Snell yasasını yayımlar.

1990

Meta-malzemeler geliştirilir.

Tam iç yansıma Camın içinde ilerleyen bir ışık ışını, havayla olan sınıra çok dar bir açıyla çarparsa, havaya çıkmayarak geri yansır. Buna tam iç yansıma denir, çünkü ışık tamamen camın içinde kalır. Bu olayın gerçekleşeceği kritik açı, yine iki malzemenin göreli kırılma indislerine bağlıdır. Böyle bir yansıma, yalnızca kırılma indisi büyük malzemenin içinden, kırılma indisi küçük malzemeye geçerken olur – örneğin camdan havaya geçerken.

Fermat'nın en kısa süre ilkesi Snell yasası, Fermat'nın ışık ışınlarının maddelerin içinde en kısa yolu izleyeceğini söyleyen en kısa süre ilkesinin bir sonucudur. Dolayısıyla değişik kırılma indisleri olan bir dizi düzensiz madde karışımı içinde ilerleyen ışık ışınları, kırılma indisi düşük malzemeleri tercih ederek en hızlı yoldan gider. Bu aslında ışık demetini tanımlamanın bir yoludur ve Huygens ilkesinden türetilebilir. Ne de olsa en kısa yolu izleyen ışınlar birbirlerini güçlendirip bir demet oluştururken, rasgele yönlerde ilerleyen ışık ortalamada sıfırlanacaktır. Matematikçi Pierre Fermat bu ilkeyi optik üzerine çalışmaların en üst düzeyde olduğu 17. yüzyılda ortaya atmıştır.

Meta-malzemeler Günümüzde fizikçiler meta-malzeme denen yeni bir sınıf özel malzeme tasarlıyor. Bunlar ışık ya da başka elektromanyetik

Büyük çalkantı

Yüzme havuzları İngiliz sanatçı David Hockney'nin en sevdiği temalardan biridir. Su altında süzülen nesneler üzerindeki optik etkileri resmetmenin yanında, Kaliforniya'daki evinde parlak güneş ışınlarıyla güneşlenmeyi de seven Hockney 2001'de, 15. yüzyıldan beri bazı ünlü ressamların eserlerini yaratırken merceklerden yararlanmış olduğunu ileri sürdü ve sanat dünyasında ciddi bir çalkantıya neden oldu. Birtakım basit optik aletlerle bir manzara tuval üzerine düşürülebiliyor, ressam da üstünden geçiyordu. Hockney, aralarında Ingres ve Caravaggio'nun da olduğu bazı eski ustaların eserlerini incelerken bu tarz yöntemler kullandıklarını işaret eden geometrik ipuçları bulmuştu.

Pierre Fermat 1601-65

Dönemin en büyük matematikçilerinden biri olan Pierre Fermat, Toulouse'da avukatlık yapıyor ve matematikle boş zamanlarında ilgileniyordu. Paris'teki ünlü matematikçilerle yazışınca ünü yayılmışsa da çalışmalarını hiç yayımlamadı. René Descartes'ın rakip kırılma teorisine "karanlıkta el yordamıyla ilerlemeye çalışan" bir teori eleştirisi getirip onunla tartıştı. Descartes kızsa da Fermat haklı olduğunu kanıtladı. Ardından çalışmalarını billurlaştırıp, ışığın en kısa yolu izlediğini söyleyen en kısa süre ilkesine dönüştürdü. Çalışmaları Fransa'daki iç savaş ve veba salgınlarıyla kesintiye uğradı. Vebaya yakalanıp ona yenik düştüğü söylentisine karşın çalışmalarını sürdürdü. En çok "Fermat'nın son teoremi" olarak bilinen teoremiyle anılır. Buna göre iki tamsayının küplerinin toplamı hiçbir zaman bir başka tamsayının küpüne eşit olamaz ve bu diğer üsler için de geçerlidir. Fermat bir kitabın kenarına "bu teoremin çok güzel bir kanıtını buldum ama bu kenar çok dar" diye yazmıştı. Fermat'nın bu bilinmeyen kanıtı matematikçileri üç yüz yıl uğraştırmış, sonunda 1994'te İngiliz matematikçi Andrew Wiles teoremi kanıtlamıştır.

dalgalarla aydınlatıldığında alışılmadık davranışlar sergiler. Meta-malzemeler, ışığa verecekleri tepki kimyasal yapılarından değil de fiziksel yapılarından kaynaklanacak şekilde tasarlanır. Opal, doğal bir meta-malzemedir. Kristal yapısı, ışığın yüzeyinden nasıl yansıyıp kırılacağını ve farklı renklerde parlayacağını belirler.

1990'lı yılların sonlarında kırılma indisi eksi olan, ışığın arayüzde ters yönde büküleceği meta-malzemeler tasarlandı. Eğer bir arkadaşınız eksi kırılma indisli bir sıvıyla dolu havuzun içinde duruyor olsa, kısalmış bacaklarının ön yüzlerini değil, arka yüzlerini görürdünüz. Eksi kırılma indisli malzemeler sayesinde en iyi camdan yapılanlardan çok daha keskin görüş sağlayan "süper mercek"ler yapılabilir. 2006'da fizikçiler mikrodalgalara karşı görünmezlik sağlayan bir meta-malzeme geliştirmeyi başarmıştır.

» fikrin özü
Işık en kısa yolu bulur

17 Bragg Yasası

DNA'nın çifte sarmal yapısı, Bragg yasası sayesinde keşfedilmiştir. Bu yasa, düzenli bir yapıya sahip bir katı içinde ilerleyen dalgaların, parlak beneklerden oluşan bir desen meydana getirecek şekilde birbirlerini nasıl güçlendirdiğini açıklar. Beliren beneklerin aralıkları ise katıyı oluşturan atomların veya moleküllerin aralarındaki muntazam mesafelere bağlıdır. Benek desenine bakılarak malzemenin mimarisi anlaşılabilir.

İyi aydınlatılmış bir odadaysanız, elinizi duvara yaklaştırdığınızda keskin hatlı bir siluet oluşturduğunu görürsünüz. Elinizi duvardan uzaklaştırdıkça gölgenin hatları belirsizleşmeye başlar. Bunun bir nedeni ışığın elinizin çevresinde kırınmasıdır. Işık ışınları parmaklarınızın çevresinden geçerken içeri doğru yayılır ve hatları bulandırır. Bütün dalgalar böyle hareket eder. Su dalgaları liman duvarlarının çevresinden geçerken kırınır. Ses dalgaları da konser sahnesinin kenarlarını aşarken bükülür.

Kırınım, Huygens ilkesiyle de tanımlanabilir. Yani dalga cephesinin her noktası bir başka dalga enerjisi kaynağı olarak değerlendirilip dalgaların geçişlerde nasıl davranacağı öngörülebilir. Her nokta yeni bir dairesel dalgacık üretir. Bunlar toplanarak da dalganın ileriye doğru gelişimi betimlenebilir. Dalga cephesi bir engelle karşılaştığında, uç noktalardan dairesel dalgacıklar yayılır. Bu durum, paralel dalgalar eliniz gibi bir engelin çevresinden veya liman ağzı yahut kapı gibi bir açıklıktan geçerken olur.

X-ışını kristalografisi Avustralyalı fizikçi William Lawrence Bragg, kırınımın kristaller arasından geçen dalgalarda bile gerçekleştiğini keşfetmiştir. Kristaller düzgün sıraların ve sütunların olduğu düzgün kafes yapısında dizili atomlardan oluşur. Bragg bir kristalden X-ışınları geçirip bir ekrana düşürdüğünde, ışınlar atom sıralarının çevresinden saçıldılar. Kristalden çıkan ışınlar diğer yönlere göre belli yönlerde daha çok toplandı ve

dönem

1895
Röntgen, X-ışınlarını keşfeder.

1912
Bragg kırınım yasasını keşfeder.

William Lawrence Bragg 1890-1971

William Lawrence Bragg, güney Avustralya'daki Adelaide'de doğdu. Babası William Henry burada matematik ve fizik profesörüydü. Küçük Bragg bisikletten düşüp kolunu kırdığında tıbbi X-ışınları uygulanan ilk Avustralyalı oldu. Fen bilimleri üzerine çalıştı ve mezun olunca babasıyla İngiltere'ye gitti. Cambridge'de X-ışınlarının kristallerde kırınımı yasasını buldu. Fikirlerini babasıyla tartışırdı. Birçok kişinin bu buluşu kendisinin değil de babasının yapmış olduğunu düşünmesi Bragg'i sarstı. Birinci ve ikinci dünya savaşlarında orduya katıldı ve sonar üzerine çalıştı. Sonra Cambridge'e döndü ve birkaç küçük araştırma grubu kurdu. Kariyerinin sonraki döneminde popüler bilim iletişimcisi oldu ve Londra Kraliyet Enstitüsü'nde ilkokul çocuklarına dersler verdi, düzenli televizyon programları yaptı.

beneklerden oluşan bir desen ortaya çıktı. Kullanılan kristalin türüne göre değişik benek desenleri oluşuyordu.

Bu olayı gözlemleyebilmek için Alman fizikçi Wilhelm Röntgen'in 1895'te keşfettiği X-ışınlarına ihtiyaç vardı, çünkü bu ışınların dalgaboyu, görünür ışığın dalgaboyundan bin kez daha küçüktü ve kristaldeki atomların arasındaki açıklıklardan da daha ufaktılar. Yani X-ışınlarının dalgaboyları kristal tabakalarının arasından geçebilecek ve geçerken de şiddetli bir kırınıma uğrayacak denli küçüktü.

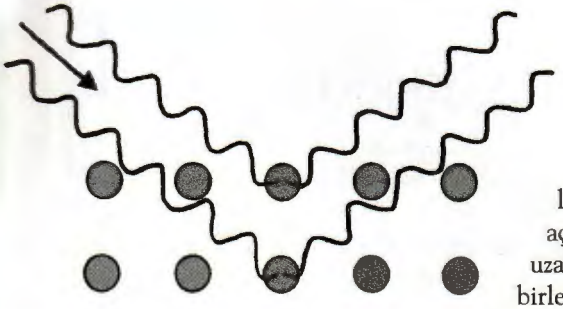
En parlak X-ışını benekleri, ışınlar kristalin içinden geçerken sinyallerinin birbirleriyle "aynı faz"da olmasıyla sonuçlanan yolları izlediğinde oluşuyordu. Tepeleri ve çukurları aynı hizada olan dalgalar aynı fazdadır

"Bilimde yeni olgular elde etmekten daha önemli olan şey, olgular üzerine yeni düşünme yolları keşfetmektir."

Sir William Bragg, 1968

1953

DNA'nın yapısını çözmek için X-ışını kristalografisi kullanılır.



ve üst üste geldiklerinde parlaklıkları artar, benekler oluştururlar. "Faz dışı" olan dalgaların tepeleri ve çukurları ters hizada olur. Bu yüzden birbirlerinin etkisini yok ederler ve hiç ışık çıkmaz. Dolayısıyla parlak beneklerden oluşan desende benekler arası açıklıklar sayesinde kristalin atomları arasındaki uzaklık belirlenebilir. Dalgaların bu şekilde birbirlerinin etkisini arttırma ya da azaltma olgusuna "girişim" denir.

Bragg bunu iki dalgayı göz önüne alarak matematiksel olarak ifade etmiştir – biri kristalin yüzeyinden yansıyan, diğeri de yalnızca bir atomluk katman kadar girip yansıyan iki dalga. İkinci dalganın aynı fazda olup ilk dalgayı güçlendirmesi için ilk dalganın boyunun bir tam sayı katı kadar ek bir mesafe gitmiş olması gerekir. Bu ek mesafe ışınların geliş açısına ve atom tabakaları arası açıklığa bağlıdır. Bragg yasası belli bir dalgaboyu için gözlemlenen girişim ile kristaldeki açıklıkların arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.

Derin yapı X-ışını kristalografisi, hem kimyacılar hem de biyologlar tarafından hem molekül mimarilerini araştırırken hem de yeni malzemelerin yapısını ortaya çıkarmak için yaygın biçimde kullanılır.

DNA çifte sarmalı

1950'li yılların başlarında araştırmacılar yaşamın yapıtaşı DNA'nın yapısını çözmek için kafa yoruyorlardı. İngiliz fizikçiler James Watson ile Francis Crick 1953'te DNA'nın çifte sarmal yapıda olduğunu buldular. Bu çok büyük bir ilerlemeydi. Bragg yasasını kullanarak Londra'daki Kings College'da DNA'nın X-ışını kristalografi fotoğraflarını çeken Rosalind Franklin ile Maurice Wilkins'e teşekkür etmeyi de ihmal etmediler. Franklin parlak beneklerin girişim dizisini göstererek DNA'nın yapısını açığa çıkaran çok net fotoğraflar elde etmişti. Bu çalışmalardan dolayı Crick, Watson ve Wilkins Nobel Ödülü aldı. Erken yaşta ölen Franklin ise alamadı. Bazıları o dönemin cinsiyetçi yaklaşımı nedeniyle bu keşifte onun rolünün azımsandığı görüşündedir. Franklin'in sonuçları Watson ve Crick'e kendi izni olmadan da sızdırılmış olabilir. Günümüzde ise Franklin'in katkıları hak ettiği takdiri görüyor.

Wilhelm Röntgen 1845-1923

Wilhelm Röntgen Almanya'nın Aşağı Ren bölgesinde doğdu. Henüz küçük bir çocukken Hollanda'ya gitti. Utrect'te ve Zürih'te fizik eğitimi aldı. Birçok üniversitede çalıştıktan sonra, önce Würzburg, ardından Münih üniversitelerinde profesörlük yaptı. Çalışmaları ısı ve elektromanyetizma üzerine yoğunlaşıyordu. Ama onu asıl ünlü yapan şey 1895'te X-ışınlarını keşfi oldu. Basıncı azaltılmış bir gazdan elektrik geçirirken, deneyi tamamen karanlık bir odada yapıyor olmasına rağmen, kimyasal maddeyle kaplı bir ekranın ışıdığını gördü. Bu yeni ışınlar birçok maddenin içinden geçebiliyordu. Bunların arasında bir fotoğraf plakasının üzerine koyduğu eşinin eli de vardı. Bu ışınlara X-ışınları adını verdi, çünkü nereden kaynaklandıklarını bilemiyordu. İleride onların da tıpkı ışık gibi elektromanyetik dalgalar olduğu anlaşıldı. Farkları, frekanslarının çok daha yüksek olmasıydı.

1953'te DNA'nın çifte sarmal yapısını bulmak için kullanılmıştı. Rosalind Franklin'in çektiği fotoğraflarda DNA'nın X-ışını girişim örüntüsüne bakan Francis Crick ve Jim Watson, bu örüntüyü oluşturan molekülün ikili sarmal şeklinde düzenlenmiş olması gerektiğini fark etti.

X-ışınlarının keşfi ve kristalografi teknikleri sayesinde, fizikçiler ilk kez maddenin derin yapısına ve hatta insan bedeninin içine bakmalarını sağlayan araçlara sahip oldu. Bugün tıbbi görüntülemede kullanılan birçok tekniğin altında aynı fizik yaklaşımı yatar: Bilgisayarlı tomografi, bedenin birçok X-ışını diliminden elde edilen gerçekçi bir iç resme benzer; ultrason, organlardan gelen yüksek frekanslı yankılardan görüntü oluşturur; manyetik rezonanslı görüntüleme (MR) vücut dokularında su taraması yapar ve güçlü mıknatıslarla molekül titreşimlerini saptar; pozitron yayımlı tomografi (PET) bedene verilen radyoaktif maddelerin izlenerek görüntü elde edilmesini sağlar. Doktorlar ve hastalar böyle araçlar geliştirdikleri için Bragg gibi biliminsanlarına çok şey borçludur.

Bragg yasasının matematiksel gösterimi şöyledir:

$2d \sin\theta = n\lambda$

Burada d atom tabakaları arasındaki mesafe, θ gelen ışığın yaptığı açı, n bir tamsayı ve λ ışığın dalgaboyudur.

» fikrin özü
Yapıyı belirlemek

18 Fraunhofer Kırınımı

Neden asla kusursuz bir fotoğraf elde edemezsiniz? Neden kendi görüşümüz kusursuz değildir? En ufak bir benek bile bulanıklaşır, çünkü ışık gözün ya da fotoğraf makinesinin diyaframından geçerken yayılır. Uzaktaki manzaradan bize ulaşan ışık ışınlarının oluşturduğu bu bulanıklaşma, Fraunhofer kırınımıyla açıklanır.

Çok uzakta ilerleyen bir gemiye baktığınızda adını okumanız imkânsızdır. Bunun için bir dürbün kullanmanız, yani görüntüyü büyütmeniz gerekir. Peki ama gözlerimizin çözünürlüğü neden böyle sınırlıdır? Bunun nedeni gözbebeklerimizin (yani gözdeki diyafram açıklığının) büyüklüğünde yatar. Gözdeki algılayıcıları uyarmaya yetecek ışığın girmesini sağlayacak kadar açılmaları gerekir ama ne kadar açılırlarsa giren ışık dalgaları da o kadar çok bulanıklaşır.

Mercekten geçip göze giren ışık dalgaları birçok yönden geliyor olabilir. Açıklık ne kadar büyük olursa, o kadar çok yönden gelen ışın içeri girer. Tıpkı Bragg kırınımında olduğu gibi, ışınlar fazlarının hizalı veya hizasız oluşuna bağlı olarak girişim yaparlar. Geçip girenlerin çoğu aynı fazda olur, dolayısıyla net ve parlak bir merkezi benek oluştururlar. Ama bitişik ışınların birbirini sönümlendirdiği noktalarda beneğin genişliği kısıtlanır ve kenarlarda bir dizi karanlık ve aydınlık şerit oluşur. Gözümüzün yakalayabileceği ayrıntıların incelik seviyesini, merkezdeki bu beneğin genişliği belirler.

Uzak alan Fraunhofer kırınımı, adını usta mercek yapımcısı Alman Joseph von Fraunhofer'dan alır. Işık ışınları diyafram açıklığına veya merceğe

dönem

1801
Thomas Young çift yarık deneyini yapar.

1814
Fraunhofer spektroskopu icat eder.

paralel geldiğinde görüntüde oluşan bulanıklık, Fraunhofer kırınımıyla betimlenir. Uzak-alan kırınımı olarak da bilinen Fraunhofer kırınımı, uzaktaki bir kaynaktan (örneğin Güneş'ten veya yıldızlardan) gelen ışıklar mercekten geçerken oluşur. Bu mercek gözümüzün, fotoğraf makinesinin veya teleskobun merceği olabilir. Kırınım, çıplak gözle görmede olduğu gibi fotoğraflarda da nihai görüntünün bir miktar dağılıp bulanıklaşmasına yol açar. Sonuç olarak, herhangi bir optik sistemden geçerek oluşan bir görüntünün netliğinin doğal bir sınırı vardır. "Kırınım sınırı" denen bu sınır, gelen ışığın dalgaboyu ile doğru orantılı, merceğin ya da açıklığın boyutuyla da ters orantılıdır. Bu yüzden mavi görüntüler kırmızı olanlara göre biraz daha net oluşur ve geniş açıklık veya büyük mercekle elde edilenler daha az bulanık olur.

Kırınım Elinizin gölgesinin kenarlarındaki bulanıklığın elinizin çevresindeki ışığın kırınımından kaynaklanması gibi, ışık dar bir delikten ya da açıklıktan geçerken de dağılır. Sezgilerin tersine, açıklık daraldıkça ışık daha çok dağılır. Açıklıktan gelen ışık bir ekrana düşürüldüğünde merkezde bir parlaklık ve yanlarında açık-koyu şeritler, yani girişim saçakları oluşur. Bunlar merkezden uzaklaştıkça parlaklıkları da azalır. Işınların çoğu açıklıktan dümdüz geçerek birbirini güçlendirir ama açıyla gelenler girişim yaparak açık-koyu şeritler oluşturur.

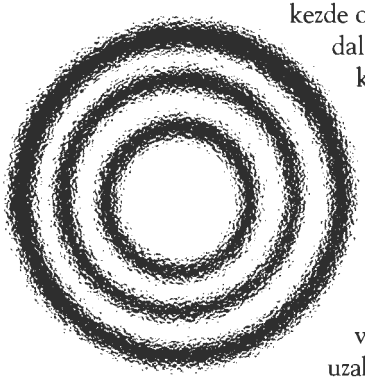
Delik ne kadar küçük olursa, şeritler arası açıklık o kadar geniş olur, çünkü ışınların izlediği yollar daha sınırlanmış, dolayısıyla daha benzer olur. İki ince gazlı bez katmanını ışığa tutup birbirlerine göre hareket ettirirseniz, üst üste gelen iplikler nedeniyle benzer açık-koyu şeritler oluşur. Bezleri üst üste yerleştirilip döndürürseniz, bir dizi koyu ve açık alanın hareket ediyor gibi göründüğünü fark edersiniz. Üst üste konan ızgaraların oluşturduğu bu girişim desenlerine "moiré deseni" denir.

Açıklık ya da mercek gözbebeklerimizde ya da fotoğraf makinelerinde olduğu gibi dairesel olursa, merkezdeki benek ve çevresindeki şeritler Airy halkaları (veya Airy diski) denen bir dizi eş merkezli halka oluşturur. Bu isim 19. yüzyılda yaşamış İskoç fizikçi George Airy'den gelir.

1822

İlk kez bir deniz fenerinde Fresnel merceği kullanılır.

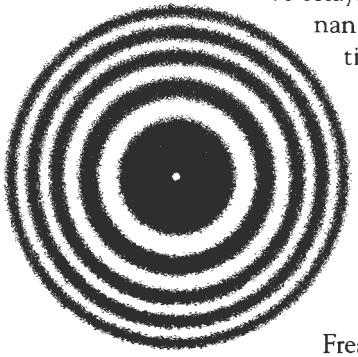
Yakın alan Fraunhofer kırınımı sık görülen bir olaydır ama ışık kaynağı açıklık düzlemine yakınsa bazen biraz daha farklı bir desen ortaya çıkar. Gelen ışık ışınları birbirine paralel olmaz ve açıklıktan geçen dalga cepheleri de düz değil, kavislidir. Bu durumda şeritlerin artık düzenli aralıklarla yerleşmediği farklı bir kırınım deseni ortaya çıkar. Ulaşan dalga cepheleri bir dizi eş merkezli ve kavisli yüzey şeklini alır. Bunlar ışık kaynağı merkezde olan, bir dalgaboyu aralıklı soğan halkalarını andırır. Bu yuvarlak dalga cepheleri açıklık düzlemine vardığında, bir bıçağın soğan halkalarını kestiği gibi düzlem de içlerinden geçer. Açıklık boyunca bu bir dizi halka olarak görülür. Her halka, içinden geçen dalgaların birbirleriyle en çok bir dalgaboyu mesafede yer aldığı bir bölgeyi temsil eder.



Fraunhofer kırınımı

Bu kavisli ışınların birbirleriyle nasıl harmanlandığını çözmek için açıklıktaki halkalardan gelen ışınları toplamanız gerekir. Bunlar düz bir ekranda tıpkı paralel ışınlar gibi bir dizi karanlık ve aydınlık şerit oluşturur. Ama aralıkları aynı değildir; merkezden uzaklaştıkça incelirler. Bu kırınım desenine, 19. yüzyılda onu bulan Fransız biliminsanı Augustin Fresnel'in adından hareketle Fresnel kırınımı denir.

Fresnel ayrıca açıklıkla oynanarak geçecek fazların kontrol edilebileceğini ve ortaya çıkan desenin değiştirilebileceğini fark etmiştir. Bundan yararlanan Fresnel, yalnızca aynı fazda olan dalgaların geçebileceği yeni bir tip mercek üretti. Bunu yapmanın bir yolu açıklıktan geçen dalga çukurlarıyla aynı konumlarda olan bir dizi halka kesmekti. Böylece yalnızca dalga tepeleri geçebilecekti ve hemen hemen hiç girişim olmayacaktı. Bir başka yol da dalga çukurlarını yarım dalgaboyu kaydırarak yansıtmaktı. Böylece bunlar da engellenmemiş dalgalarla aynı fazda olacaklardı. Uygun konumlara daha kalın cam halkaları yerleştirerek belli bir fazdaki ışık istenen miktarda geciktirilebilirdi.



Fresnel kırınımı

Fresnel ilk merceklerini deniz fenerleri için üretti ve bunları 1822'de Fransa'da kullandı. Gözlük merceklerinin 15 m'lik bir deniz fenerinde kullanılacak şekilde büyütüldüğünü düşünün. Fresnel'in sunduğu alternatif

Young'ın çift yarık deneyi

1801'deki ünlü deneyinde Thomas Young ışığın bir dalga olduğunu kesin olarak kanıtlamıştır. Işığı iki yarıktan geçirip kırınmasını sağlayan Young, yalnızca üst üste binen iki kırınım deseni değil, aynı zamanda yarıklardan geçen ışık ışınlarının oluşturduğu girişimden dolayı oluşan fazladan şeritler de gördü. Işınlar girişim yaparak açıklıkları yarıklar arası uzaklığın tersiyle orantılı olan aydınlık ve karanlık şeritler üretmişti. Dolayısıyla tek açıklık kırınımının geniş deseni yerine ince şeritlerden oluşan birleşik bir desen ortaya çıktı. Paralel yarıkların sayısı arttırıldığında bu ikinci girişim deseni daha da keskinleşiyordu.

çözüm, bir dizi büyük ve oldukça ince halkaydı. Her birinin ağırlığı tek bir içbükey merceğin ağırlığının ancak küçük bir kısmı kadardı. Fresnel mercekleri ışığın odaklanması için arabaların ön farlarında kullanılır, bazen de geri giderken yardımcı olması için arka camlara ince saydam plastik levha olarak yapıştırılır.

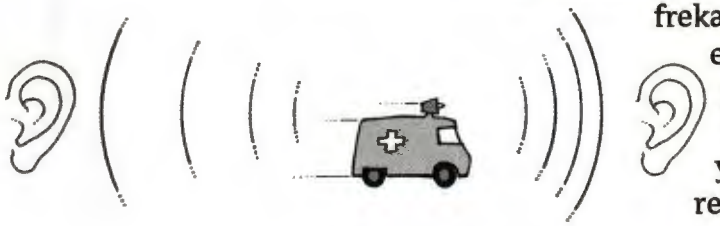
Kafesler Fraunhofer ilk kırınım kafesini yaparak girişim üzerine çalışmalarını genişletti. Bir kafeste paralel yarık sıraları şeklinde bir sürü açıklık olur. Fraunhofer kendi kafesini hizalanmış tellerden yaptı. Kırınım kafesleri ışığı dağıtmakla kalmaz, ayrıca birçok yarığı olduğu için iletilen ışığa daha başka girişim özellikleri de ekler.

Işık kırındığı ve girişim oluşturduğu için tüm bu durumlarda dalga gibi davranır. Ama dalga gibi davranmadığı da olur. Einstein ve başka bazı biliminsanları, ışığın dalga gibi olduğu kadar bazen parçacık gibi de davrandığını göstermiştir. Kuantum mekaniği bu gözlemden çıkmıştır. İleride göreceğimiz üzere, çift yarık deneyinin kuantum versiyonlarında, ışık inanılmaz biçimde, sırf biz kendisini izliyoruz diye dalga davranışından parçacık davranışına geçebilir.

» fikrin özü
Girişim yapan ışık dalgaları

19 Doppler Etkisi

Hızla yanımızdan geçip giden ambulansın sirenının perdesindeki azalmayı hepimiz duymuşuzdur. Size doğru yaklaşan bir kaynaktan gelen dalgalar size sıkışarak ulaşır ve sanki daha yüksek bir frekansı varmış gibi gelir. Benzer bir şekilde sizden uzaklaşan bir kaynaktan yayılan dalgalar da size genişleyerek ve gecikerek gelir; frekansı da düşer. Buna Doppler etkisi denir. Bu etkiden yararlanılarak otomobillerin hızları, kanın akışı ve yıldızlar ile galaksilerin hareketleri ölçülür.



Yolda yürürken yanınızdan bir ambulans hızla geçtiğinde siren sesi inceyken yanınızdan geçtikten sonra kalınlaşır. Sesin tonundaki bu değişime, 1842'de keşfeden Avusturyalı matematikçi ve gökbilimci Christian Doppler'in adından hareketle "Doppler etkisi" denir. Bu etki, yayın yapan aracın size, yani gözlemciye göre hareket ediyor oluşundan kaynaklanır. Araç yaklaşırken ses dalgaları yığılır, dalga cepheleri arasındaki uzaklık azalır ve ses tizleşir. Hızla uzaklaşırken de dalga cephelerinin size ulaşması gecikir, araları açılır ve ses kalınlaşır. Ses dalgaları sıkıştırılmış hava titreşimleridir.

İleri geri Size doğru yaklaşan bir platformdan, diyelim ki bir el arabasının içinden, biri size doğru her üç saniyede bir top atıyor olsun. Araba size doğru yaklaşırken topların size varış aralıkları üç saniyeden azıcık daha kısa olacaktır, çünkü her yeni atış bir öncekine oranla biraz daha yakından yapılacağından topun havada harcadığı süre kısalacaktır. Dolayısıyla topları

dönem

1842

Doppler yıldız ışıklarında görülen renk kayması üzerine makalesini sunar.

1912

Vesto Slipher galaksilerin ışıklarındaki kırmızıya kaymaları ölçer.

Christian Doppler 1803-53

Christian Doppler Avusturya'nın Salzburg kentinde duvarcı ustası bir ailede doğdu. Aile mesleğini yapamayacak denli çelimsizdi. Onun yerine Viyana'da üniversiteye giderek matematik, felsefe ve gökbilim çalıştı. Prag'da üniversitede bir iş bulmadan önce muhasebecilik yapması gerekti. Hatta bir ara Amerika'ya göçmen olarak gitmeyi bile düşündü. Üniversitedeki işine başlayınca bu kez de öğretmenlik yükü ağır geldi ve sağlık sorunları yaşamaya başladı. Arkadaşlarından biri şöyle yazmıştı "Avusturyalı bu adamın dehası inanılır gibi değil. Bilim adına Doppler'e yardım etmesi ve taşıdığı yükün altında ölmesine izin vermemesi için birçok kişiye yazdım. Ne yazık ki en kötüsünden korkuyorum." Doppler sonunda Prag'ı terk etti ve Viyana'ya geri döndü. 1842'de bugün Doppler etkisi dediğimiz yıldızların ışıklarındaki renk kayması üzerine bir makale sundu.

"Bunun çok uzak olmayan bir gelecekte gökbilimcilere yararlı bir araç olacağı neredeyse kesin kabul gördü. Çünkü ölçülemez uzaklıklarda bulunan ve bunun sonucu olarak da paralaks açıları küçük olan yıldızların uzaklıklarını ve hareketlerini belirlemede, şu ana değin böylesi ölçümler ve belirlemeler için pek bir umut beslenmiyordu."

Her ne kadar oldukça yaratıcı bulunsa da, önde gelen biliminsanlarından tepkiler de aldı. Doppler'in aleyhinde olanlar onun matematiksel yeterliliğini sorguladı. Arkadaşları ise yaratıcılığının ve sezgilerinin gücünü övdüler.

yakalayana göre topların geliş aralıkları daralacaktır. Aynı şekilde araba uzaklaşırken de topların varış aralıkları arttığından, her top bir öncekine göre havada daha çok zaman harcayacaktır. Bu nedenle de topların zaman aralıkları açıklacaktır.

Doppler etkisi birbirine göre hareket eden her nesnede görülür. İlerleyen arabadaki kişi siz olsaydınız ve topu atan kişi de durarak atıyor olsaydı, sonuç yine aynı olurdu. Doppler etkisinin hız ölçme yöntemi olarak da birçok

1992

Güneş Sistemi dışında ilk gezegen, Doppler yöntemiyle keşfedilir.

uygulaması vardır. Tıpta kanın akış hızının ölçülmesinde ve hız yapan sürücülerin yakalanmasını sağlayan yol kenarı radarlarında da kullanılır.

Uzayda hareket Doppler etkisine gökbilimde sık rastlanır; hareket eden cisimlerin olduğu her yerde karşımıza çıkar. Örneğin uzakta bir yıldızın çevresinde dönen gezegenden bize ulaşan ışıkta Doppler kayması görülür. Gelen ışığın frekansı, gezegen bize doğru hareket ederken artar ve bizden uzaklaşırken düşer. Gezegen yaklaşırken ışığın "maviye kaydığı" ve uzaklaşırken "kırmızıya kaydığı" söylenir. 1990'dan bu yana, merkezdeki yıldızın ışığının içindeki örüntü ortaya çıkarılarak başka yıldızların çevresinde binlerce gezegen saptanmıştır.

Kırmızıya kaymalar yalnızca gezegenlerin yörünge hareketleri sırasında ortaya çıkmaz. Evren'in genişlemesinden dolayı da görülür ve buna kozmolojik kırmızıya kayma denir. Bizimle bir galaksi arasındaki boşluk,

Güneş Sistemi dışındaki gezegenler

Başka yıldızların çevresinde dönen binlerce gezegen keşfedilmiştir. Bunların büyük bölümü kendi yıldızına oldukça yakın yörüngelerde dönen, Jüpiter benzeri gaz devleridir. Ama Dünya'ya benzeyen kayalık gezegenler de keşfedilmiştir. Elde edilen veriler ışığında, her yıldızın en az bir gezegeni olduğu tahmin ediliyor. Bu durum bazılarında yaşamın bulunabileceği tartışmalarını alevlendirmiştir. Bu uzak gezegenlerin büyük kısmı, kendi yıldızlarına uyguladıkları kütleçekim etkisinin gözlenmesi sayesinde bulunmuştur. Gezegenler çevresinde döndükleri yıldızlara göre çok küçüktür. Dolayısıyla yıldızların parlaklığı yanında onları görmek çok zordur. Ama gezegenlerin kütleleri yıldızlarının az da olsa salınmasına yol açar. Bu sallanma da yıldızın kendine özgü ışık tayfında Doppler kayması olarak görülür.

Güneş Sistemi dışındaki ilk gezegenler, önce 1992'de bir pulsarın çevresinde, daha sonra 1995'te normal bir yıldızın çevresinde saptandı. Yeni gezegenlerin bulunması artık sıradanlaşmıştır. Ama gökbilimciler hâlâ Dünya benzeri gezegenleri olan yıldız sistemleri arıyorlar ve bulunan sistemlerin neden bu denli farklı olduğunu anlamaya çalışıyorlar. ESA'nın 2006'da yörüngeye oturttuğu COROT adlı teleskobu ve NASA'nın 2008'de çalışmaya başlayan KEPLER teleskobunun keşfettiği binlerce gezegen arasında Dünya benzeri gezegenler de yer almaktadır.

"Olur da uzak gezegenlerde yaşayan insanlar bizim dalgaboylarımızdan bazılarını yakalarsa, bütün işitecekleri kesintisiz bir çığlık olacaktır."

Iris Murdoch 1919-99

Evren'in genişlemesi nedeniyle sürekli açılır. Galaksi sanki belli bir hızla bizden uzaklaşıyormuş gibi gelir. Bu durum bir balonun üzerine işaretlenmiş iki noktanın, balonun şişirilmesiyle birlikte birbirlerinden uzaklaşmasına benzer.

Sonuç olarak galaksinin bize gelen ışığı daha düşük frekanslara kayar, çünkü dalgaların bize ulaşmak için giderek daha çok yol alması gerekir. Dolayısıyla uzak galaksiler yakındakilere göre daha kırmızı görünür. Açıkçası kozmolojik kırmızıya kayma tam bir Doppler etkisi değildir, çünkü uzaklaşan galaksiler çevrelerindeki diğer cisimlere göre ilerliyor değildir. Galaksinin çevresindekilerle birlikte yerleri sabittir ama aradaki uzay hızla genişlemektedir.

Doppler, buluşunun gökbilimcilerin işine yarayacağını öngörmüş olsa da bu kadar çok işe yarayacağını kendisi de düşünemezdi. İkili yıldızlardan gelen ışıkların renklerinde bunu kaydettiğini ileri sürmüştü ama o dönemde bu tartışmalara neden olmuştu. Doppler düş gücü yüksek, yaratıcı bir biliminsanıydı ama heyecanı bazen deneysel yeteneğinin önüne geçebiliyordu. Bununla birlikte onlarca yıl sonra Vesto Slipher galaksilerin kırmızıya kaymalarını ölçtü ve Büyük Patlama modeli için zemin hazırladı. Günümüzde Doppler etkisi bize yardım etmeyi hâlâ sürdürüyor ve onun sayesinde uzaktaki yıldızların çevresinde dönen ve yaşam barındırma olasılığı taşıyan gezegenleri saptayabiliyoruz.

» fikrin özü
Mükemmel ses

20 Ohm Yasası

Gökgürültülü bir fırtınanın içinde uçan bir uçağın yolcuları neden aslında tehlikede değildir? Paratonerler binaları nasıl korur? Evinizdeki ampullerin ışığı neden bir yenisi açıldığında zayıflamaz? Tüm bu soruların yanıtı Ohm yasasındadır.

Elektrik, elektrik yüklerinin hareketiyle oluşur. Elektrik yükü atomatlı parçacıkların temel bir özelliğidir ve onların elektromanyetik alanlarla nasıl etkileşeceğini belirler. Bu alanlar kuvvetler yaratarak elektrik yüklü parçacıkları hareket ettirir. Yük, tıpkı enerji gibi korunur; yani yok edilemez ve yaratılamaz.

Elektrik yükü artı ya da eksi olur. Zıt yüklü parçacıklar birbirlerini çeker; aynı yüklü parçacıklar birbirlerini iter. 1909'da Robert Millikan'ın ölçtüğü elektronlar eksi, protonlar artı yüklüdür. Ama tüm atomaltı parçacıklar yüklü değildir. Adlarından da anlaşılacağı üzere nötronların yükü yoktur; yani "nötr"dürler.

Durgun elektrik Elektrik, yüklerin sabit bir dağılımı şeklinde durgun kalabildiği gibi, elektrik akımı şeklinde akabilir de. Yüklü parçacıkların hareketi, durgun elektriğin birikmesine yol açar. Zıt yükler farklı yerlerde birikir. Örneğin plastik bir tarağı elbisenizin koluna sürterseniz elektrikle yüklenir ve çevredeki küçük kağıt parçaları gibi küçük nesneleri kendisine çekip yapıştırır.

Yıldırımlar da benzer bir şekilde oluşur. Fırtına bulutlarında birbirine sürtünen moleküller elektriğin birikmesine neden olur. Biriken bu elektrik de yıldırım düşmesiyle bir anda boşalır. Yıldırımların boyu birkaç kilometreyi bulabilir ve sıcaklıkları da binlerce derece olur.

dönem

1752
Franklin yıldırım deneyini yapar.

1826
Ohm kendi adıyla anılan yasasını yayımlar.

Benjamin Franklin 1706-90

Benjamin Franklin ABD'nin Boston kentinde bir mum üreticisinin on beşinci ve en küçük çocuğu olarak doğdu. Rahip olmaya zorlandıysa da sonunda matbaacı oldu. Ünlü biri olduktan sonra bile imzasını mütevazı bir şekilde "Matbaacı B. Franklin" olarak atmayı sürdürmüştür. Franklin, "Misafir de balık gibi üç günde kokar," gibi unutulmaz deyişlerin yer aldığı ve kendisini ünlü yapan *Poor Richard's Almanac*'ı yayımlamıştır.

Aslında Franklin olağanüstü bir mucitti. Paratoneri, camdan armonikayı, çift odaklı gözlüğü ve daha başka birçok şeyi icat etti. Ama onu en çok etkileyen şey elektrikti. 1752'de en ünlü deneyi olan, fırtınalı havada uçurtma uçurarak bulutlardan elektrik almayı gerçekleştirdi. Sonraki yıllarda Franklin bir yandan halk kütüphaneleri ve hastaneler açarak, bir yandan da gönüllü itfaiye eri olarak kamusal yaşama katkı sağladı ve ayrıca köleliğe karşı mücadele etti. Politikaya girdi. Amerikan Devrimi sırasında ve sonrasında ABD ile Büyük Britanya ve Fransa arasında yürütülen diplomaside yer aldı. Ayrıca 1776'da kabul edilen Bağımsızlık Bildirgesi'nin taslağını hazırlayan Beşli Komite'nin bir üyesiydi.

Hareket halinde Elektrik akımı, evde kullanıldığı şekliyle bir yük akışıdır. Elektrik metal kablolarla iletilir, çünkü metallerdeki elektronlar belli atom çekirdeklerine bağlı değildir ve kolaylıkla harekete geçirilebilirler. Metaller elektrik iletkenidir. Elektronlar bir metal kablo boyunca tıpkı bir borunun içinden akan su gibi ilerler. Artı yükler de bazı başka malzemelerin içinde hareket edebilir. Kimyasal maddeler suda çözündüğünde hem elektronlar hem de artı yüklü çekirdekler (iyonlar) serbestçe yüzer. Metaller gibi iletken malzemeler, yüklerin kendi içlerinden kolayca akmasına izin verir. Seramikler ve plastikler gibi içlerinden elektriğin kolayca akamadığı maddelere yalıtkan denir. Elektriği yalnızca belli bazı durumlarda ileten malzemelere ise yarı iletken denir.

1909

Millikan tek bir elektronun yükünü ölçer.



Benjamin Franklin 1752'de Philadelphia'da bir fırtına bulutundaki elektriği bir uçurtma yardımıyla "çekmeyi" başardı.

Nehrin aşağı doğru akması, yükseklikteki farktan kaynaklanır. İki yükseklik arasında kütleçekim potansiyeli farkı vardır denir. Aynı şekilde iletken bir malzemenin iki ucu arasındaki elektriksel potansiyel farkı da telden elektrik yüklerinin akmasına yol açar. Bu "potansiyel farkı", diğer adıyla "gerilim" (voltaj), akımın akmasına neden olur ve aynı zamanda yüklere enerji kazandırır.

Direnç Yıldırım düştüğünde boşalan elektrik, iyonize olan hava boyunca çok hızlı bir şekilde yere akar. Bu şekilde kendi oluşumuna neden olan potansiyel farkını ortadan kaldırır. Yıldırımlar çok büyük akımlar taşır. Vücudunuzdan geçtiği takdirde sizi öldürebilecek olan şey gerilim değil, bu çok büyük akımdır. Normalde yükler çoğu malzemenin içinde böyle yüksek hızlarla ilerleyemez, çünkü belli bir dirençle karşılaşırlar. Direnç, elektrik enerjisini ısı olarak dağıtarak geçen akımın büyüklüğünü sınırlar. Yıldırım tarafından öldürülmemek için kauçuk bir mat gibi çok yüksek direnci olan, yalıtkan bir cismin üzerinde durabilirsiniz. Bir başka seçenek de metal bir kafese girmektir. Yıldırım, bedenimizden değil, metal çubuklardan akmayı tercih edecektir, çünkü büyük bölümü su olan bedenimiz iyi bir iletken değildir. Bu yapıya, 1836'da kendisi de bir tane yapan Michael Faraday'in adından, Faraday kafesi denir. Faraday kafesi gibi içi boş bir iletkende, kafesin içi tamamen nötr kalırken bütün yük kafesin dışından taşınır. Faraday kafesleri 19. yüzyılda yapay yıldırım gösterileri yapan biliminsanları için kullanışlı güvenlik araçlarıydı. Günümüzde hâlâ elektronik aygıtların korunmasında kullanılırlar. Metal bir uçakla fırtınanın içinden geçerseniz, yıldırım çarpsa bile güvende olmanızın nedeni de Faraday kafesidir. Aynı fırtınada metal bir otomobilin içindeyseniz –bir ağacın yakınına park etmediğiniz sürece– yine güvendesiniz demektir.

Yıldırım

Bir düştüğü yere bir daha düşmeyeceği söylenen yıldırımlar, Dünya'nın yüzeyine saniyede ortalama 100 kez, yani her gün 8,6 milyon kez düşerler. Yalnızca ABD'de her yıl 100.000 fırtınada 20 milyon yıldırım düşer.

Benjamin Franklin'in paratoneri de benzer bir şekilde çalışır: Yıldırımın rahatça akabileceği düşük dirençli bir yol sağlar. Böylece yıldırımın enerjisi yüksek dirençli binaya boşalmaz. En iyi sivri uçlu çubuklar iş görür, çünkü elektrik alanını uçlarına sıkıştırdıkları için elektrik akımının bu güzergâhtan yere doğru gitme olasılığını daha da arttırırlar. Uzun ağaçlar da elektrik alanını yoğunlaştırır. Dolayısıyla bir fırtına sırasında ağaçların altına sığınmak hiç de iyi bir fikir değildir.

Devreler Elektrik akımları devre denen döngülerde akar. Akımın ve enerjinin devre içinde ilerleyişi, suyun birbirine eklenmiş boruların içinde akmasına benzetilebilir. Akım, suyun akış hızına; gerilim, suyun basıncına ve direnç, boruların darlığına benzetilebilir.

Devreleri açıklayan en kullanışlı yasalardan birini Georg Ohm 1826'da yayımlamıştır. Ohm yasası cebirsel olarak $V=IR$ şeklinde ifade edilir. Burada V gerilimdeki düşüş, I akım, R dirençtir. Ohm yasasına göre gerilim, akım ve dirençle doğru orantılıdır. Bir devredeki gerilimi iki katına çıkarırsanız, direncin değişmediği durumda devrede akan akım iki katına çıkar. Ama akımın aynı kalması isteniyorsa, direncin iki katına çıkarılması gerekir. Akım ile direnç arasında ters orantı vardır: Dirençteki artış, akımda azalmaya yol açar. Ohm yasası birçok döngüden oluşan çok karmaşık devrelerde bile geçerlidir. En basit devreyi kablolarla bir pile bağlı bir ampul şeklinde düşünebilirsiniz. Pil kabloda akacak akımı yaratmak için gerekli olan potansiyel farkını oluştururken, ampuldeki tungsten filaman da direnç oluşturarak elektrik enerjisini ışığa ve ısıya dönüştürür. Devreye ikinci bir ampul daha bağlanırsa ne olur? Ohm yasasına göre eğer ampuller arka arkaya bağlanırsa, direnç iki katına çıkmış olur. Dolayısıyla her bir ampulün çevresindeki gerilim ve sağlanan enerji ikiye bölünür. Bu da ampullerin parlaklığını azaltır. Eğer ev aydınlatması yapıyorsanız, bunun size pek bir yararı olmayacaktır, çünkü her yeni ampulü prize taktığınızda tüm ampullerin parlaklığı biraz azalacaktır.

Ne var ki ikinci ampulü birincinin iki ucuna değecek şekilde paralel bağlarsanız, her iki ampule de aynı gerilim farkını uygulamış olursunuz. Akım düğüm noktasından ikiye bölünür ve yeniden birleşmeden önce iki ampulden de geçer. Dolayısıyla ikinci ampul de birincisi kadar parlak yanar. Bu tür devrelere "paralel" devre denir. Dirençlerin arka arkaya bağlandığı önceki tip devrelere ise "seri" devre denir. Ohm yasasıyla herhangi bir devrenin herhangi bir noktasındaki akım ve gerilim hesaplanabilir.

» fikrin özü
Devre teorisi

21 Fleming'in Sağ El Kuralı

Gece bisiklet sürerken farlarınızı kullanmak için dinamoyu çalıştırdığınız olmuştur. Dinamoda tırtıklı bir çubuk, tekerleğe sürtünerek iki ampul için gerekli olan gerilimi üretir. Bisikleti daha hızlı sürerseniz farlarınız daha parlak ışık yayar. Bu, dinamoda akım indüklendiği için olur. Bu akımın yönü de Fleming'in ünlü sağ el kuralıyla bulunur.

Elektromanyetik indüksiyon, elektrik ve manyetik alanların değişik biçimleri arasında geçiş yapmak için kullanılabilir. Bir elektrik şebekesinde iletilen enerjinin kontrol edilmesini sağlayan transformatörlerde ya da yolculuklarda yanımızda taşıdığımız adaptörlerde veya bisiklet dinamolarında hep indüklemeden yararlanılır. Sarılı bir kablonun (bobinin) üstünden değişen bir manyetik alan geçirildiğinde, kablonun içindeki yüklerin üzerinde bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet onları harekete geçirir ve böylece bir elektrik akımı oluşturur.

Dinamonun küçük metal kabının içinde bir mıknatıs ve bir bobin vardır. Kabın dışına taşan tırtıklı çubuk, tekerleğin dönmesiyle birlikte bobinin içinde yer alan mıknatısı döndürmeye başlar. Dönen mıknatıs değişen bir manyetik alan yaratır. Böylece kablodaki yükler de (elektronlar) hareket etmeye başlar ve bir elektrik akımı oluşur. Bobinde elektromanyetik indüksiyon olgusu ile akım oluşturuldu veya "akım indüklendi" denir.

"Faraday kendi keşfine ışığın manyetikleşmesi ve manyetik kuvvet çizgilerinin aydınlanması derdi."

Pieter Zeeman, 1903

dönem

1745

Leyden kavanoz kapasitörü icat edilir.

1820

Ørsted elektrik ile manyetizmayı ilişkilendirir.

Başparmak kuralı İndüklenen akımın yönünü bulmak için İskoç mühendis John Ambrose Fleming'in adından hareketle "Fleming'in sağ el kuralı" olarak anılan kural kullanılır. Sağ elinizi uzatın ve başparmağınız yukarıyı, işaret parmağınız ileriyi ve orta parmağınız da sol yanınızı gösterecek ve üçü de birbirine dik olacak şekilde açın. Başparmağınızın gösterdiği yönde, yani yukarı doğru hareket eden bir iletken, işaret parmağınızın yönünde bir manyetik alanın etkisinde kalırsa, iletkene orta parmağınızın gösterdiği yönde akan bir akım indüklenir. Üçü de birbirine diktir. Bu basit kural kolayca akılda tutulabilir.



Bobini daha sıkı sararsak kablonun uzunluğu boyunca manyetik alan daha çok kez yön değiştirir, böylece indüklenen akım miktarını arttırılabilir. Veya mıknatısı daha hızlı hareket ettirirsek de artar. Bisikleti daha hızlı sürünce dinamonun daha parlak ışık vermesi bundandır. Birbirlerine göre hareket ettikleri sürece hareket edenin mıknatıs ya da bobin olması fark etmez.

Değişen manyetik alan ile onun indüklediği kuvvet arasındaki ilişki, Faraday yasasında gösterilir. İndüklenen kuvvet, elektromotif kuvvet olarak adlandırılır ve bobindeki sarım sayısı ile "manyetik akı"nın değişim hızının çarpımına eşittir. Manyetik akı ise manyetik alanın gücü ve bobinin yüzey alanıyla artar. İndüklenen akım her zaman kendisini oluşturan manyetik alana zıt yönde bir alan oluşturacak şekilde akar. Bu durum Lenz yasası olarak bilinir. Eğer böyle olmasaydı, o zaman sistem kendi gücünü giderek yükseltirdi ve bu da enerjinin korunumuna aykırı olurdu.

Faraday Elektromanyetik indüklemeyi 1830'lu yıllarda Michael Faraday keşfetmiştir. İngiliz fizikçi Faraday elektrikle yaptığı deneyleriyle ünlüydü. Cıvanın içine yerleştirilen mıknatısların döndüğünü göstererek elektrik motorunun ilkesini ortaya koymakla kalmamış, aynı zamanda ışığın da manyetik alandan etkilendiğini göstermiştir. Polarize ışık düzlemini mıknatısla döndürerek ışığın kendisinin de elektromanyetik olması gerektiği sonucuna varmıştır.

1831	1873	1892
Faraday elektromanyetik indüksiyonu keşfeder.	Maxwell elektromanyetizma denklemlerini yayımlar.	Fleming transformatör kuramını sunar.

Michael Faraday 1791-1867

İngiliz fizikçi Michael Faraday bir ciltçide çıraklık yaparken gelen kitapları okuyarak kendi kendini yetiştirmiştir. Gençliğinde kimyacı Humphry Davy'nin Londra'daki Kraliyet Enstitüsü'nde verdiği dört derse katılmıştı. Bunlardan çok etkilenen Faraday Davy'ye yanında kendisine iş vermesi için yazdı. İlk başta reddedildiyse de sonradan kabul edilerek orada çalışmaya başladı. Zamanının çoğunu Kraliyet Enstitüsü'nde başkalarına yardımla geçiriyor ama bir yandan da elektrik motorları üzerine çalışıyordu. 1826'da Kraliyet Enstitüsü'nün Cuma Konuşmaları'na ve Noel derslerine katılmaya başladı. Faraday yoğun bir şekilde elektrik üzerine çalışıyordu. 1831'de elektromanyetik indüksiyonu keşfetti. Çok yetenekli bir deneyci olarak tanınmaya başladı ve resmi konumlara getirildi. Bunlar arasında Trinity House'a bilimsel danışmanlık da vardı. Burada deniz fenerlerinin elektrik ışıklarıyla donatılmasına yardım etti. Şaşırtıcı bir biçimde şövalyelik ünvanını ve Kraliyet Cemiyeti başkanlık tekliflerini reddetti – hem de iki kez. Sağlığı bozulunca son günlerini Prens Albert tarafından bilime büyük katkıları nedeniyle kendisine verilen Hampton Court'taki evinde geçirdi.

Faraday'den önce biliminsanları değişik durumlarda açığa çıkan birçok elektrik türü olduğuna inanıyordu. Tüm elektrik türlerinin aslında yüklerin hareketini temel alan bir çerçevede tanımlanabileceğini gösteren Faraday oldu. Faraday matematikçi değildi ve kendisine "matematik cahili" bile denmişti. Elektrik ve manyetik alanlar üzerine olan düşünceleri, bir başka İngiliz fizikçi James Clerk Maxwell tarafından ele alındı. Maxwell onun fikirlerinden yola çıkarak modern fiziğin temellerinden sayılan dört ünlü denklemini türetti (bkz. s. 88).

Depolanmış yük Faraday'in adı, kapasitörlerde kullanılan elektrik yük birimine "Farad" olarak verilmiştir. Kapasitör, elektrik yüklerini geçici olarak depolayan ve elektrik devrelerinde yaygın kullanılan bir elemandır. Örneğin tek kullanımlık fotoğraf makinelerinin flaşlarında yük depolamak için (siz ışığın hazır olmasını beklerken) kapasitör kullanılır. Deklanşöre bastığınızda kapasitördeki yük, parlak ışığı üretmek için salıverilir. Normal pillerle bile kapasitörlerde yüzlerce voltluk gerilim biriktirilebilir. Fakat yanlışlıkla kapasitöre dokunursanız pek hoş olmayan bir şok yaşayabilirsiniz.

En basit kapasitör, aralarında hava olan iki paralel metal levhadan oluşsa da her türlü malzeme bu iş için kullanılabilir. Yeter ki iki tarafındaki levhalar

"Doğa yasalarıyla tutarlı olan hiçbir şey gerçek olamayacak kadar harika değildir."

Michael Faraday, 1849

iletken, yani yük tutabilen malzemeden, aralarındaki madde de yalıtkan malzemeden yapılmış olsun. 18. yüzyılda elektrik yükü depolamak için kullanılan ilk aygıtlar "Leyden kavanozu" denen ve iç yüzleri metalle kaplı cam kavanozlardı. Günümüzde alüminyum folyo, niyobyum, kağıt, polyester ve teflon gibi malzemeler kullanılıyor. Bir kapasitör ve pil birbirine bağlandığında levhalarda zıt yükler birikir. Pil kapatıldığında yükler serbest kalır ve bir akım oluşur. Akım giderek azalır, çünkü yük farkı azaldığından üzerindeki "basınç" düşer. Kapasitörlerin dolması ve boşalması zaman aldığı için bir devredeki yük akışını önemli ölçüde geciktirebilirler. Genellikle kapasitörler indüklenmiş akım üreten bobin gibi indüktörlerle birlikte, yük akışının ileri geri salındığı devrelerde kullanılır.

Transformatörler Elektromanyetik indüksiyon, dinamo ve motorların yanı sıra transformatörlerde de kullanılır. Transformatörlerde önce değişken bir manyetik alan üretilir, sonra bu alan yakındaki bir bobinde elektrik akımı indüklemek için kullanılır. Basit bir transformatör, üzerinde iki ayrı kablo sarımı olan manyetik bir halkadan oluşur. Birinci kablo sarımına değişken bir elektrik alan uygulanır. Bu, mıknatısın içinde değişken bir manyetik alan yaratır. Değişken manyetik alan ise ikinci sarımda yeni bir akım indükler.

Faraday yasasına göre indüklenen akımın miktarı, kablonun sarım sayısına bağlıdır. Dolayısıyla transformatörler istenen çıkış akımına göre tasarlanabilir. Elektriğin ulusal elektrik şebekesine yüksek gerilim ve düşük akımla verilmesi daha verimlidir. Transformatörler şebekenin her iki ucunda da yer alır. Bunlar sayesinde önce dağıtım için gerilim yükseltilip akım düşürülür, sonra da evlerde kullanılması için gerilim düşürülüp akım yükseltilir. Bilgisayar şarj aletine veya adaptörüne dokunduysanız ısındığını, hatta bazen hafif bir uğultu çıkardığını fark etmişsinizdir. Çünkü transformatörler yüzde yüz verimli değildir; çalışırken ısı, ses ve titreşim şeklinde enerji kaybederler.

» fikrin özü
İndüksiyonun gücü

22 Maxwell Denklemleri

Modern fiziğin dönüm noktalarından biri olan Maxwell'in dört denklemi, evrensel kütleçekim kuramından sonraki en önemli gelişme kabul edilir. Bu denklemler elektrik ve manyetik alanların aslında bir paranın iki yüzü gibi olduklarını ortaya koyar. Her iki alan da gerçekte aynı olgunun –elektromanyetik dalganın– farklı dışavurumlarıdır.

19. yüzyılın başlarında deneyciler elektrik ile manyetizmanın birbirine dönüştürülebildiğini görmüşlerdi. Ama bütün elektromanyetizma konusunu dört denklemle ifade ederek modern fizikteki en önemli başarılardan birini gerçekleştiren kişi James Clerk Maxwell oldu.

Elektromanyetik dalgalar Elektrik ve manyetik kuvvetler, elektrik yüklü parçacıkları ve mıknatısları etkiler. Değişen elektrik alanı bir manyetik alan, değişen manyetik alan da bir elektrik alanı yaratır. Maxwell her ikisinin de aslında tek bir olgudan, hem elektriksel hem de manyetik özellikleri olan elektromanyetik dalgadan çıktığını açıklamıştır. Elektromanyetik dalgaların birbirleriyle dik açı oluşturacak şekilde değişen bir elektrik alanı, bir de manyetik alanı vardır.

Maxwell elektromanyetik dalgaların boşluktaki hızını hesaplamış ve ışığın hızıyla aynı olduğunu göstermiştir. Faraday ve Hans Christian Ørsted'in çalışmalarıyla birleştirildiğinde bu bulgu, ışığın da aslında ilerleyen bir elektromanyetik çalkalanma olduğunu doğrulamıştır. Maxwell ışık dalgalarının ve diğer tüm elektromanyetik dalgaların uzay boşluğunda saniyede 300 milyon metre sabit hızla ilerlediğini göstermiştir. Bu hız, boş uzayın mutlak elektrik ve manyetik özellikleri nedeniyle sabittir.

dönem

1600
William Gilbert elektriği ve manyetizmayı inceler.

1752
Benjamin Franklin yıldırım üzerine deneyler yapar.

1820
Ørsted elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkiyi gösterir.

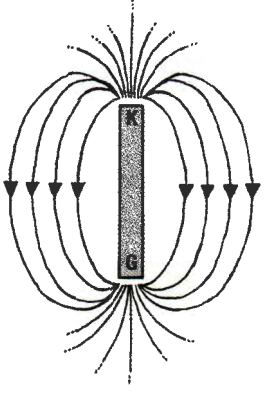
"Işığın, elektrik ve manyetik olgulara sebebiyet veren ortamın boydan boya dalgalanmaları aracılığıyla oluştuğu yargısından kaçınmak zor görünüyor."

James Clerk Maxwell, ~1862

Elektromanyetik dalgaların çok geniş bir yelpazesi vardır ve görünür ışığın ötesinde bütün tayfı kaplarlar. Radyo dalgalarının dalgaboyu en uzundur – metrelerce, hatta kilometrelerce olurlar. Görünür ışığın dalgaboyları atomlar arası açıklık kadardır. En yüksek frekanslı elektromanyetik dalgalar, X-ışınları ve gama ışınlarıdır. Elektromanyetik dalgalardan, en çok iletişim alanında, radyo dalgalarının, televizyon ve cep telefonu sinyallerinin iletimi şeklinde yararlanılır. Elektromanyetik dalgalar mikrodalga fırınlarda görüldüğü gibi ısı enerjisi de üretir. Ayrıca tıbbi X-ışınları olarak ve elektronik mikroskoplarda derinlemesine incelemelerde de yaygın olarak kullanılırlar.

Elektromanyetik alanların uyguladığı elektromanyetik kuvvet, Evren'deki dört temel kuvvetten biridir. Diğerleri; kütleçekim kuvveti, atomu ve atom çekirdeklerini bütün halinde tutan güçlü çekirdek kuvveti ve zayıf çekirdek kuvvetidir. Elektromanyetik kuvvet kimya için çok önemlidir, çünkü molekülleri ve kimyasal bileşikleri oluşturan yüklü iyonları birbirine bağlar.

Alanlar Maxwell, Faraday'in deneysel olarak gösterdiği elektrik ve manyetik alanları anlamaya çalışarak işe koyuldu. Fizikte kuvvetler alanlar üzerinden etki eder. Kütleçekim kuvveti Evren'de çok büyük mesafelerden etki eder. Buna kütleçekim alanı denir. Benzer bir şekilde elektrik ve manyetik alanlar da yüklü parçacıkları oldukça uzun mesafelerden etkileyebilir. Eğer bir parça kağıdın üzerine serptiğiniz demir tozlarıyla, kağıdın altından mıknatıs yaklaştırıp oynadıysanız, manyetik kuvvetin demir tozlarını mıknatısın kuzey-güney kutupları boyunca uzanan halkalar şeklinde hizaya soktuğunu görmüşsünüzdür. Mıknatısın gücü uzaklaştıkça azalır. Faraday bu alan çizgilerinin şeklini çıkarmış ve onlarla ilgili bazı basit kurallar bulmuştu. Ayrıca elektrik yüklerinin oluşturduğu benzer alan çizgilerini de çizmişti ama Faraday eğitimli bir matematikçi değildi. Bu nedenle bu değişik fikirleri matematiksel bir kuramda birleştirmeye çalışma işi Maxwell'e kaldı.



1831
Faraday elektromanyetik indüklenmeyi keşfeder.

1873
Maxwell elektromanyetizma denklemlerini yayımlar.

1905
Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

Dört denklem Maxwell dönemin tüm biliminsanlarını şaşırtarak, elektromanyetik olguların hepsini hepi topu dört temel denklemle betimlemeyi başardı. Bu denklemeler günümüzde öylesine ünlüdür ki artık tişörtlerde bile yer alıyorlar. Altlarında da "ve Tanrı ışığı yarattı" yazıyor. Bugün elektromanyetizmayı tek bir olgu olarak düşünebiliyoruz ama ortaya atıldığı dönemde bu radikal bir fikirdi ve tıpkı bugün kuantum fiziğiyle kütleçekimin birleştirilmesinin önemi kadar önem taşıyordu.

$$\nabla \cdot D = \rho$$
$$\nabla \times H = J + (\delta D/\delta t)$$
$$\nabla \cdot B = 0$$
$$\nabla \times E = -(\delta B/\delta t)$$

Maxwell denklemleri

Maxwell denklemlerinin birincisi, 19. yüzyıl fizikçisi Carl Friedrich Gauss'un adıyla anılan Gauss yasasıdır. Bu denklem, elektrik yüklü bir nesnenin oluşturduğu elektrik alanının şeklini ve şiddetini ifade eder. Gauss yasası, matematiksel olarak Newton'ın kütleçekim yasasına benzeyen bir ters kare yasasıdır. Tıpkı kütleçekim etkisi gibi elektrik alan da yüklü nesnenin yüzeyinden uzaklaştıkça uzaklığın karesiyle orantılı olarak zayıflar. Örneğin iki kat uzaklaşıldığında alanın gücü dört kat zayıflar.

Cep telefonu sinyallerinin sağlığa zararlı olduğunu gösteren herhangi bir kanıt olmasa da, ters kare yasasına göre cep telefonu vericilerinin evinize yakın olması uzak olmasından daha iyidir. Vericinin oluşturduğu alan uzaklıkla birlikte hızla düşer. Böylece size ulaştığında sinyal zaten çok zayıflamış olur. Telefondan çıkan sinyalse uzaktaki vericiye ulaşmak için güçlü olur. Dolayısıyla eğer verici yakın olursa, cep telefonuyla konuşurken telefondan

James Clerk Maxwell 1831-79

James Clerk Maxwell, İskoçya'nın Edinburgh kentinde doğdu. Taşrada büyürken doğaya karşı bir merak geliştirdi. Annesinin ölümünden sonra Edinburgh'da okula gönderildi. Orada sürekli çalışmaya gömüldüğü için kendisine "kaçık" lakabı takıldı. Gerek Edinburgh, gerek Cambridge Üniversitesi'ndeyken Maxwell'in dağınık ama parlak biri olduğu kanaati hakimdi. Mezuniyetten sonra Michael Faraday'in elektrik ve manyetizma çalışmalarını geliştirdi ve onları kendi denklemlerinde damıttı. Babası hastalanan Maxwell, Edinburgh'a geri döndü ve orada bir iş bulmaya çalıştı. Babasının ölümünden sonra Londra'daki Kings College'a döndü ve orada en ünlü çalışmasına başladı. 1862 dolaylarında elektromanyetik dalgaların ve ışığın aynı hızla ilerlediğini hesapladı. 11 yıl sonra da dört elektromanyetizma denklemini yayımladı.

"Daha büyük ve daha karmaşığını her zeki ahmak yapabilir... Ama tersini yapmak için dehanın dokunuşu ve bolca cesaret gerekir."

Albert Einstein'a atfedilir, 1879-1955

yayılan sinyaller daha zayıf ve daha az tehlikeli olur. Tabii bu durum insanların çekinmesini engellemez.

Maxwell denklemlerinin ikincisi, bir mıknatısın oluşturduğu manyetik alanın şeklini ve şiddetini, yani manyetik alan çizgilerinin desenini ifade eder. Alan çizgilerinin kuzey kutuptan güney kutba doğru kapalı halkalar oluşturduğunu söyler. Bir başka deyişle bütün mıknatısların iki kutbu olur – tek kutuplu mıknatıs yoktur ve her manyetik alanın bir başlangıç, bir de bitiş noktası vardır. Bu, atom kuramından da çıkar: Atomların da birer manyetik alanı olur ve bu minik manyetik alanların hizalanmasına göre büyük ölçekli manyetizma oluşur. Bir çubuk mıknatısı ikiye bölerseniz, her iki parçanın da kendi kuzey ve güney kutupları oluşur. Ne kadar küçük parçalara ayırırsanız ayırın, mıknatıslar her zaman iki kutuplu olur.

Üçüncü ve dördüncü denklemler birbirine benzer ve elektromanyetik indüksiyonu betimler. Üçüncü denklem değişen akımların oluşturduğu manyetik alanları, dördüncü denklem de değişen manyetik alanların oluşturduğu elektrik akımlarını anlatır. Dördüncü denklem Faraday'in indüklenme yasası olarak da bilinir.

Birçok olguyu böyle birkaç basit denklemle açıklamak çok büyük bir beceri gerektirir. Bu nedenle Einstein, Maxwell'in başarısını Newton'ınkiyle eşdeğer görmüştür. Einstein, Maxwell'in fikirlerini alıp kendi görelilik kuramına dahil etmiştir. Einstein'ın denklemlerinde manyetizma ile elektrik, aynı olgunun farklı referans çerçevelerinden bakan gözlemciler tarafından görünüşleridir. Hareket halindeki bir çerçevedeki elektrik alan, bir başka çerçeveden manyetik alan olarak görünür. Bu açıdan, elektrik ve manyetik alanların bir ve aynı şey olduğunu nihai olarak gösteren kişi Einstein'dır denebilir.

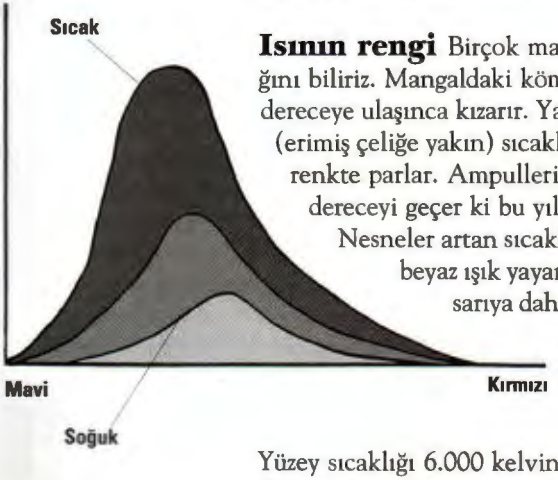
1930'lu yıllarda elektromanyetizma ile kuantum kuramını birleştirmeye çalışan İngiliz fizikçi Paul Dirac, manyetik tek kutupların da var olabileceğini öngörmüştü. Ama "gerçek" manyetik kutuplar bugüne dek gözlemlenebilmiş değil.

» fikrin özü ... ve ışık oldu

23 Planck Yasası

Neden ısı deyince aklımıza kırmızı renk gelir? Neden ısıtılan çelik önce kırmızı, sonra sarı ve en son beyaz ışık yayar? Max Planck bu renk değişimlerini ısının ve ışığın fiziklerini ilişkilendirerek kağıda dökmüştür. Işığı, sürekliliği olan bir dalga olarak değil de istatistiksel olarak tanımlayan Planck'ın devrimsel fikri, kuantum fiziğinin de tohumlarını atmıştır.

1963'te yaptığı ünlü bir konuşmasında İngiltere Başbakanı Harold Wilson, "bu (teknolojik) devrimin beyaz ısısı" karşısındaki şaşkınlığını dile getirmişti. Peki ama bu "beyaz ısı" ifadesi de nereden çıkmıştı?



Isının rengi Birçok maddenin ısıtıldığında parladığını ve ışık yaydığını biliriz. Mangaldaki kömürler ve elektrikli ısıtıcının telleri birkaç yüz dereceye ulaşınca kızarır. Yanardağlardan boşalan lavlar birkaç bin derece (erimiş çeliğe yakın) sıcaklıkta olur ve turuncu, sarı ve hatta bazen beyaz renkte parlar. Ampullerin içindeki tungsten filamanın sıcaklığı 3.000 dereceyi geçer ki bu yıldızların yüzey sıcaklığına yakın bir sıcaklıktır. Nesneler artan sıcaklıkla birlikte önce kırmızı, sonra sarı ve en son beyaz ışık yayar. Işık beyaz görünür, çünkü var olan kırmızı ve sarıya daha çok mavi eklenmiştir. Renklerin bu dağılımı, kara cisim eğrisiyle gösterilir.

Yıldızlar da bu sırayı izler: Ne kadar sıcak olurlarsa renkleri de o kadar maviye kayar. Yüzey sıcaklığı 6.000 kelvin olan Güneş sarı bir yıldızdır. Bunun yanında Orion takımyıldızında yer alan kızıl dev yıldız Betelgeuse'nin yüzey sıcaklığı Güneş'inkinin yarısıdır. Sirius gibi daha sıcak bazı yıldızlar 30.000 kelvine varan sıcaklıklarıyla mavi-beyaz görünür. Sıcaklığın yükselmesiyle birlikte yüksek frekanslı mavi ışık daha çok yayılır. Aslında sıcak yıldızlardan

dönem

1862
Gustav Kirchhoff "kara cisim" terimini kullanır.

1901
Planck kara cisim ışıması yasasını yayımlar.

Max Planck 1858-1947

Max Planck eğitimini Almanya'nın Münih kentinde tamamladı. Müzik alanında bir kariyer yapmak istiyordu. Bu konuda bir müzisyene danışınca, bir başka alanda kariyer yapmasının daha iyi olacağı öğüdünü aldı. Üniversitedeki fizik profesörü de onunla pek iç açıcı konuşmadı. Profesör ona bir bilim olarak fiziğin bitmek üzere olduğunu ve keşfedilecek pek bir şey kalmadığını söyledi. Ama Planck bu öğüde kulak asmayarak fiziğe yöneldi ve kuanta kavramıyla ilgilendi. İleriki yıllarda eşinin ve çocuklarının ölümleriyle sarsıldı. İki oğlunu dünya savaşlarında kaybetti. Planck her şeye rağmen Almanya'da kaldı ve savaş sonrasında fizik araştırmalarını yeniden kurmaya çalıştı. Günümüzde Max Planck Enstitüsü adıyla anılan çok sayıda prestijli araştırma kurumu vardır.

yayılan en güçlü ışıklar öyle mavidir ki büyük bölümü tayfın morötesi kısmında yayılır.

Kara cisim ışıması On dokuzuncu yüzyıl fizikçileri, hangi maddeden yapılmış olursa olsun, nesnelerin ısıtıldığında yaydıkları ışığın hep aynı örüntüde olması karşısında şaşkındılar. Işığın büyük bölümü tek bir frekanstan yayılıyordu. Sıcaklık arttırılınca tepe frekans daha mavi (daha kısa) dalgaboylarına kayıyor, önce kırmızıdan sarıya, sonra mavi-beyaza doğru ilerliyordu.

Kara cisim ışıması terimini kullanmamızın mantıklı bir nedeni vardır. Isıyı en iyi soğuran (emen) ve yayanlar koyu renk maddelerdir. Sıcak bir günde siyah bir tişörtün beyaz tişörtten daha çok ısınacağını bilirsiniz. Beyaz, güneş ışığını daha çok yansıtır. Sıcak iklimlerdeki evlerin genelde beyaza boyanması bundandır. Kar da güneş ışığını yansıtır. İklimbilimciler, kutuplardaki buzların erimesiyle birlikte güneş ışınları uzaya daha az yansıyacağından dolayı Dünya'nın daha hızlı ısınmasından endişeleniyorlar. Siyah renk ısıyı daha iyi soğurmakla kalmaz, aynı zamanda ısıyı beyaza göre daha hızlı yayar. Ocak ve fırınların yüzeylerinin siyah olması da bu yüzdendir; yalnızca kir göstermediği için değil.

1905

Einstein fotonu tespit eder ve morötesi faciası çürütülür.

1996

COBE uydusunun verileriyle kozmik arkaplan ışımasının kesin sıcaklığı ölçülür.

Planck'ın uzaydaki mirası

En kusursuz kara cisim tayfı kozmik bir kaynaktan gelir. Aslında bütün uzay zayıf mikrodalga ışımasıyla kaplıdır. Bu ışıma, Büyük Patlama'nın ateş topundan geriye kalan ve Evren'in genişlemesi nedeniyle kırmızıya kayarak daha alçak frekanslara düşmüş olan ışımadır ve "kozmik arkaplan ışıması" olarak adlandırılır. 1990'lı yıllarda NASA'nın COBE (COsmic Background Explorer – Kozmik Arkaplan Kaşifi) adlı uzay sondası bu ışımanın sıcaklığını ölçtü. 2,73 kelvinlik bir kara cisim tayfı vardı ve öylesine tekdüzeydi ki ölçülmüş en saf kara cisim eğrisine sahipti. Dünya'da hiçbir maddenin böyle kesin bir sıcaklığı yoktur. Daha sonra Avrupa Uzay Ajansı tarafından fırlatılan Planck uzay sondası, kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının çok daha ayrıntılı bir haritasını çıkardı.

Devrim Fizikçiler kara cisim grafikleri elde ediyor ama bunları anlamlandıramıyordu. Frekansın neden tek bir renkte tepe yaptığını da açıklayamıyorlardı. Önde gelen biliminsanlarından Wilhelm Wien, Lord Rayleigh ve James Jeans bazı kısmi çözümler elde ettiler. Wien daha mavi frekanslardaki sönüklüğü matematiksel olarak gösterdi. Rayleigh ve Jeans ise kırmızı tayftaki yükselişi açıkladılar. Ama her iki formül de diğer uçtakileri açıklayamıyordu. Özellikle Rayleigh ile Jeans'in çözümü yeni bazı sorunlara yol açtı. Bu çözüm, morötesi dalgaboyları ve ötesinde sonsuz miktarda enerjinin yayılması gerektiğini öngörüyordu. Bu soruna morötesi faciası adı verildi.

Kara cisim ışımasını anlamaya çalışan Alman fizikçi Max Planck, ısı ve ışık fiziklerini birlikte ele alıyordu. Planck fizik ilkelerini türetmek için temellere geri dönmekten hoşlanan, sadelik yanlısı bir fizikçiydi. Termodinamiğin ikinci yasasından ve entropi kavramından çok etkilenmişti. Bunu ve Maxwell'in denklemlerini doğanın temel yasaları olarak görüyor ve birbirleriyle nasıl bağlantılı olduklarını kanıtlamaya uğraşıyordu. Planck'ın matematiğe büyük bir inancı vardı. Eğer matematiksel eşitlikler bir şeyin doğru olduğunu gösteriyorsa, herkesin tersini düşünüyor olmasının onun gözünde bir önemi yoktu.

Planck, gönülsüzce de olsa denklemlerinin tutması için kurnazca bir düzeltme yaptı. Elektromanyetik ışımanın, termodinamik uzmanlarının ısıyı ele aldığı gibi ele alınması gerektiğini seziyordu. Sıcaklığın pek çok

"[Kara cisim kuramı] umutsuzca bir girişim olarak ortaya atıldı, çünkü bedele bakılmaksızın kuramsal bir yorumun ortaya konması gerekir – bedel ne kadar yüksek olursa olsun."

Max Planck, 1901

parçacık arasındaki ısı enerjisi paylaşımı olmasından yola çıkan Planck, elektromanyetik enerjiyi de bir elektromanyetik osilatör kümesi veya atomaltı elektromanyetik alan birimleri arasında bölüştürdü ve ışığı bunun üzerinden tanımladı.

Denklemlerin tutmasını sağlamak için her elektromanyetik birimin enerjisini frekansla orantılandırarak $E=h\nu$ denklemini elde etti. Burada E enerji, ν ışığın frekansı, h ise Planck sabiti denen sabit bir sayıdır. Bu birimlere Latince "ne kadar" anlamına gelen "kuanta" adı verildi.

Bu yeni enerji kuantaları resminde, yüksek frekanslı elektromanyetik osilatörlerin her biri yüksek enerji barındırıyordu. Dolayısıyla bir sistemde enerji sınırlamasını aşmadan bunlardan çok sayıda bulunamıyordu. Bu durum, aylık maaşınızı karışık değerlerde 100 banknot halinde almanıza benzer: Banknotların çoğu orta değerli, az bir kısmı düşük, az bir kısmı da yüksek değerlidir. Elektromanyetik enerjiyi birçok osilatör arasında bölüştürmenin en olası yolunu bulan Planck'ın modeli enerjinin büyük bölümünü ortadaki frekanslara dağıtıyordu. Bu, tepeli kara cisim tayfına da uyuyordu. Planck 1901'de ışık dalgalarıyla olasılık arasında bağ kuran bu yasayı yayımladı ve büyük beğeni topladı. Kısa bir süre içinde bu yeni düşünce sayesinde "morötesi faciası" sorununun da çözüldüğü görüldü.

Planck'ın kuantaları, kendi yasasının matematiğinin tutarlı olmasını sağlamak için geliştirdiği fikirlerden ibaretti; o osilatörlerin gerçek olabileceğini bir an olsun aklına getirmemişti. Ama tam da atom fiziğinin hızla geliştiği bir dönemde Planck'ın bu yeni formülasyonunun çok şaşırtıcı çıkarımları olacaktı. Planck bir tohum atmıştı; bu tohum büyücek ve modern fiziğin en önemli alanlarından biri haline gelecekti: Kuantum kuramı.

» fikrin özü
Enerjinin formülü

24 Fotoelektrik Etki

Bakır bir levhaya morötesi ışık düştüğünde elektrik üretilir. Bu "fotoelektrik" etki, Albert Einstein'a kadar gizemini korumuştu. Max Planck'ın enerji kuantalarından esinlenen Einstein, ışık parçacıkları, yani foton fikrini geliştirdi. Einstein ışığın dalga gibi davranmasının yanında foton parçacıkları gibi de davranabildiğini gösterdi.

20. yüzyılın başında fizikte yepyeni bir pencere açılmıştı. 19. yüzyılda morötesi ışığın metallerdeki elektronları hareketlendirdiği ve akım oluşturduğu iyi biliniyordu. Bu olgunun anlaşılması sayesinde fizikçiler yepyeni bir dil icat etti.

Mavi bombardıman Metaller mavi veya morötesi ışıkla aydınlatıldığında fotoelektrik etki nedeniyle elektrik akımı üretir ama kırmızı ışıkla aydınlatıldığında üretmezler. Kırmızı ışık parlak bile olsa akım oluşturamaz. Yük akışı, gelen ışığın frekansı metalden metale değişen belli eşikleri aştığında gerçekleşir ancak. Böyle bir eşiğin varlığı, yüklerin yerlerinden oynatılabilmesi için belli miktarda enerjinin birikmesi gerektiğini gösteriyordu. Onları serbest bırakacak enerji ışıktan gelmeliydi ama 19. yüzyılın sonlarında böyle bir şeyin nasıl olabileceği bilinmiyordu. Hareket eden elektrik yükleri ile elektromanyetik dalgalar birbirinden çok farklı fiziksel olaylar gibi görünüyordu ve nasıl birleştirilebilecekleri bir muammaydı.

"Her sorunun iki yanı vardır."

Protagoras, iö 485-421

dönem

1839

Alexandre Becquerel fotoelektrik etkiyi gözlemler.

1887

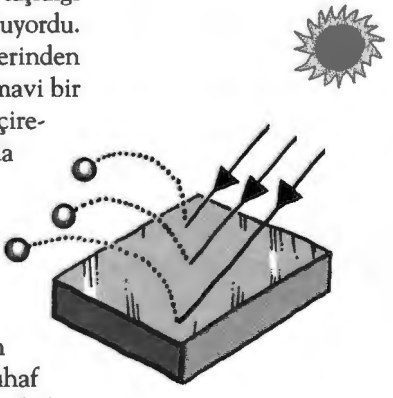
Hertz morötesi ışığın açıklıklarda oluşturduğu kıvılcımları ölçer.

1899

J. J. Thomson düşen ışıkla elektron üretildiğini saptar.

Fotonlar 1905'te Albert Einstein fotoelektrik etkiyi açıklayan radikal bir fikir ortaya attı. 1921'de ona Nobel Ödülü'nü kazandıran da görelilik kuramı değil, bu çalışmasıdır. Daha önce Max Planck'ın sıcak atomların enerji bütçesini yapmak için kuantaları kullanmasından esinlenen Einstein, ışığın da minik enerji paketlerinden oluşuyor olabileceğini düşündü. Einstein, Planck'ın matematiksel kuanta tanımını olduğu gibi aldı ama bunu atomlara değil de ışığa uyguladı. Einstein'ın ışık kuantası sonradan foton adını aldı. Fotonların kütlesi yoktur ve ışık hızında ilerlerler.

Einstein metalin dalgalar halindeki ışık tarafından değil, tek tek fotonlarca bombardımana uğratıldığını ileri sürdü. Fotonlar metaldeki elektronlara birer mermi gibi çarparak onları harekete geçirip fotoelektrik etkiye yol açıyordu. Her foton kendi frekansıyla orantılı belli bir miktar enerji taşıdığı için, çarpılan elektronların enerjisi de ışığın frekansıyla orantılı oluyordu. Bir kırmızı ışık fotonu düşük frekanslı olduğu için bir elektronu yerinden edecek büyüklükte enerji taşımaz ama daha yüksek frekanslı olan mavi bir fotonun daha büyük bir enerjisi vardır ve bir elektronu harekete geçirebilir. Morötesi bir fotonun enerjisi daha da büyük olur ve dolayısıyla çarptığı elektronu daha hızlı hareket ettirir. Işığın parlaklığını arttırmanın hiçbir etkisi olmaz. Elektronları yerinden oynatacak gücü olmayan kırmızı fotonların miktarını arttırmak bir şey değiştirmez. Bu bir arabaya pinpon topları fırlatmak gibidir. Einstein'ın ışık kuantası fikri ilk başta pek popüler olmadı, çünkü fizikçilerin çoğunun büyük saygı duyduğu Maxwell denklemleriyle özetlenen ışığın dalga tanımıyla çelişiyordu. Ne var ki deneyler Einstein'ın tuhaf fikrinin doğru olduğunu gösterince durum değişti. Deneyler, serbest kalan elektronların enerjilerinin ışığın frekansıyla orantılı olduğunu doğruladı.



Dalga-parçacık ikiliği Einstein'ın ortaya attığı düşünce, tartışmalı olmasının yanında dalga-parçacık ikiliği denen ve ışığın aynı anda hem dalga hem de parçacık olması gibi rahatsız edici bir düşünceyi de gündeme getirdi. Maxwell'in denklemlerine kadar ışığın davranışları –engelleri aşarken bükülmesi, yansıması, kırılması ve girişim yapması– hep dalga gibiydi. Ama şimdi Einstein ışığın aynı zamanda akan foton mermilerinden oluştuğunu göstererek ortalığı karıştırmıştı.

1901
Planck enerji kuantası kavramını fiziğe sokar.

1905
Einstein ışık kuantası kuramını ortaya atar.

1924
de Broglie parçacıkların dalga gibi davranabildiğini ileri sürer.

Albert Einstein 1879-1955

1905 yılı, İsviçre Patent Bürosu'nda çalışan Almanya doğumlu yarı zamanlı bir fizikçinin mucize yılı (annus mirabilis) oldu. Albert Einstein Alman dergisi *Annalen der Physik*'te üç makale yayımladı. Birinde Brown hareketi, birinde fotoelektrik etki, öbüründe ise özel görelilik açıklanıyordu. Üçü de çığır açıcı çalışmalardı. Einstein'ın şöhreti 1915'e kadar giderek arttı ve Einstein o yıl genel görelilik kuramını ortaya atarak bütün zamanların en büyük biliminsanları arasına adını yazdırdı. Dört yıl sonraki güneş tutulması sırasında yapılan gözlemlerle genel görelilik kuramının doğruluğu kanıtlanınca Einstein'ın ünü dünyaya yayıldı. Fotoelektrik etki üzerine yaptığı ve kuantum mekaniğinin doğmasına yol açan çalışmasıyla 1921'de Nobel Ödülü'nü aldı.

"Enerji kuantaları cismin yüzey tabakasını delerek içine girer ve enerjisini, en azından kısmen, elektronların kinetik enerjisine aktarır. Bundan çıkarılabilecek en basit yorum, bir ışık kuantasının bütün enerjisini tek bir elektrona aktardığıdır."

Albert Einstein, 1905

Fizikçiler hâlâ bu ikilikle boğuşur. Bugün ışığın farklı koşullarda nasıl davranması gerektiğini biliyormuşçasına hareket ettiğini biliyoruz. Işığın dalga özelliklerini gözlemlemek için tasarlanmış bir deneyde, örneğin bir kırınım ağından geçirildiğinde, ışık dalga gibi davranır. Parçacık özelliklerini gözlemlemek için tasarlanmış bir deneyde ise parçacık gibi davranır.

Fizikçiler ışığın gerçek doğasını ortaya çıkarmak için zekice deneyler yapsalar da şimdiye kadar hep başarısız oldular. Bunların çoğu Young'ın çift yarık deneyinin çeşitlemeleriydi. Bir ışık kaynağından çıkıp iki ince yarıktan geçerek bir ekrana düşen ışık ışınları düşünün. Her iki yarık da açıkken girişim saçaklarına benzeyen aydınlık-karanlık şeritler görürsünüz. Dolayısıyla ışık, bildiğimiz üzere, dalgadır. Işığı kısarak fotonların yarıklardan teker teker geçeceği düzeye kadar düşürdüğümüzde, bir dedektörle her bir fotonun ekrana çarpışını saptayabiliriz. Bu durumda bile fotonlar ekran üzerinde şeritlerden oluşan girişim desenleri oluşturacak şekilde yığılır.

Peki tek bir foton, ekranda girişim dalgası oluşturacak şekilde hangi yarıktan geçeceğini nereden bilir? Eğer yeterince hızlı davranırsanız, foton ışık kaynağından çıkar çıkmaz veya yarıklardan geçmiş ama daha ekrana düşmemişken yarıklardan birini kapatabilirsiniz. Fizikçiler test ettikleri her durumda fotonların bir mi yoksa iki mi yarık olduğunu biliyormuş gibi davrandıklarını gördüler. Hatta ortada tek bir foton olmasına rağmen, sanki aynı anda iki yarıktan birden geçiyormuş gibi görünüyordu.

Güneş pilleri

Günümüzde fotoelektrik etki güneş panellerinde kullanılır. Genellikle saf metaller yerine silisyum gibi yarı iletken maddelerin kullanıldığı bu panellerde ışık, elektronları açığa çıkarır.

Fotonun hangi yarıktan geçtiğini gözlemlemek için yarıklardan birinin yanına bir dedektör konduğunda, şaşırtıcı bir biçimde ekranda girişim deseni oluşmamaya başlar. Fotonlar ekranda tek bir yığın oluşturur ve girişim saçakları oluşmaz. Yani fotonları iş üstünde yakalamak için ne yaparsanız yapın, sanki tüm yapılanları biliyor gibidirler. Ve aynı anda hem dalga hem de parçacık gibi davranırlar – ikisinden tek bir tanesi gibi değil.

Madde dalgaları 1924'te Louis-Victor de Broglie madde parçacıklarının da dalga gibi davranabileceği fikrini ortaya attı. Her nesnenin kendine özgü bir dalgaboyu olduğunu, dolayısıyla parçacık-dalga ikiliğinin sırf ışığa özgü olmadığını ileri sürdü. Üç yıl sonra elektronların tıpkı ışık gibi kırındığı ve girişim yaptığı gözlenince, madde dalgası fikri kanıtlanmış oldu. Günümüz fizikçileri nötron ve proton gibi daha büyük parçacıkların, hatta karbondan mikroskobik futbol topuna benzetebileceğimiz "bucky" kürelerinin de aralarında olduğu bazı moleküllerin bile dalga gibi davrandığını gözlediler. Bilye ya da porsuk gibi büyük nesnelerin dalgaboyları çok çok küçük olur; öyle ki onların dalga gibi davrandığını gözlemleyemeyiz. Bir tenis topunun dalgaboyu 10^{-34} metredir; yani bir protonun çapından (10^{-15} metre) çok daha kısadır.

Işığın aynı zamanda bir parçacık, elektronların da aynı zamanda bir dalga oluşuyla fotoelektrik etki bizi başladığımız noktaya geri getirir.

» fikrin özü
Foton mermileri

25 Schrödinger Dalga Denklemi

Eğer parçacıklar da dalga gibi yayılabiliyorsa, nerede olduklarını nasıl söyleyebiliriz? Erwin Schrödinger dalga gibi davranan bir parçacığın bulunabileceği konumu ihtimale bağlı olarak veren çığır açıcı bir denklem buldu. Bu denklem atomlarda elektronların enerji düzeylerini de verdiği için kuantum mekaniğinin yanı sıra modern kimyayı da başlatmıştır.

Einstein ve Louis-Victor de Broglie'ye göre parçacıklar ve dalgalar iç içedir. Işığın da aralarında olduğu elektromanyetik dalgalar, her ikisinin özelliğini de gösterir ve hatta atomaltı parçacıklar ile moleküller bile tıpkı dalgalar gibi kırınabilir ve girişim yapabilir.

Fakat dalgalar sürekliyken parçacıklar değildir. Bu durumda dalga gibi yayılmış haldeki bir parçacığın nerede bulunduğunu nasıl söyleyebiliriz? Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger'in 1926'da bulduğu denklem, dalga fiziğini ve olasılığı kullanarak dalga gibi davranan bir parçacığın belli bir konumda bulunma ihtimalini verir. Bu denklem atomik dünyanın fiziği olan kuantum mekaniğinin köşe taşlarından biridir.

Denklem ilk olarak atomlarda elektronların konumlarını belirlemek için kullanıldı. Schrödinger elektronların dalga-benzeri hareketini betimlemeye çalıştı ve Max Planck'ın fiziğe kazandırdığı enerji kuantası kavramını dahil etti. Kuanta fikrine göre enerji, dalganın frekansıyla orantılı enerji blokları halinde geliyordu. Kuantalar dalgalara tanecikli olmanın temel özelliğini veren en küçük yapılardır.

dönem

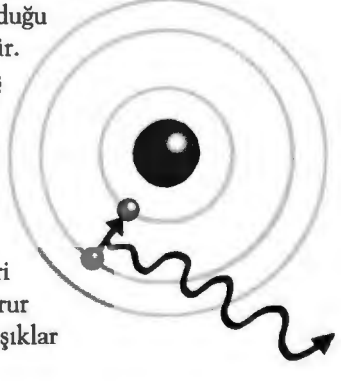
1897

J. J. Thomson
elektronu keşfeder.

Bohr atomu Kuantize, yani sürekli değil de kesikli enerji fikrini atomun elektronlarına uygulayan kişi Danimarkalı fizikçi Niels Bohr oldu. Elektronlar atomlarından kolayca koparılıp serbest bırakılabildiğinden ve eksi yüklü olduklarından, Bohr tıpkı Güneş'in çevresinde dönen gezegenler gibi elektronların da artı yüklü bir çekirdeğin çevresindeki yörüngelerde döndüğünü düşündü. Bununla birlikte elektronlar, yalnızca temel enerji kuantasının katlarına karşılık gelen belli enerjilere sahip olabiliyordu. Atomdaki elektronlar için bu enerji seviyeleri, elektronların yalnızca belli bazı tabakalarda (veya "kabuklarda") bulunabileceği anlamına geliyordu. Gezegenler de enerjilerine bağlı olarak yalnızca belli bazı yörüngelerde dönebiliyor olsaydı bu aynı durum olurdu.

Bohr'un modeli çok başarılıydı. Özellikle basit hidrojen atomunu çok iyi açıklıyordu. Hidrojenin çekirdeğinde artı yüklü tek bir proton ve onun çevresinde dönen tek bir elektron vardır. Bohr'un kuantize enerjilerden oluşan hiyerarşisi, hidrojenin soğurduğu ve yaydığı ışıkların özgün dalgaboylarını kavramsal olarak açıklıyordu.

Hidrojen atomunun elektronu enerji verildiğinde bir merdiveni tırmanır gibi üst basamaklara veya kabuklara sıçrayabilir. Üst basamaklardan birine sıçrayabilmesi için elektronun bir fotondan tam da bu iş için gereken miktarda enerji soğurması lazımdır. Dolayısıyla elektronun bulunduğu enerji düzeyini arttırabilmek için belli bir frekansta ışık gerekir. Başka frekanslarda ışıklar işe yaramaz. Üst enerji düzeyine çıkmış bir elektron da daha düşük bir basamağa geri düşebilir. Bu sırada o enerji düzeyine çıkması için gereken frekansta bir fotonu geri yayar.



Tayftaki parmak izleri Hidrojenin elektronu enerji merdiveninde üst basamaklara çıkarken, kendine özgü enerji düzeyleri arasındaki farklara karşılık gelen belli frekanslarda fotonlar soğurur (emer). Hidrojen gazına beyaz ışık verildiğinde, bu frekanslardaki ışıklar

1913

Bohr elektronların atom çekirdeğinin çevresinde döndüğünü ileri sürer.

1926

Schrödinger dalga denklemini geliştirir.

soğrulur ve kararırlar. Eğer hidrojen sıcaksa ve elektronları merdivende yukarılardaysa, yaydıkları fotonlardan dolayı parlak çizgiler oluşur. Hidrojene özgü bu enerjiler ölçülebilir ve ölçümler de Bohr'un öngörüleriyle uyumlu çıkar.

Her atom kendine özgü farklı enerjilere karşılık gelen benzer çizgiler oluşturur. Bu çizgiler bir bakıma her kimyasal türü ayırt etmeye yarayan parmak izleridir.

Dalga fonksiyonu Bohr'un enerji düzeyleri hidrojende çok iyi işliyordu. Ama çekirdeği daha ağır olan ve birden çok elektronu bulunan atomlarda o kadar iyi değildi. De Broglie'nin elektronların dalga olarak da düşünülebileceği ikilemi ise olduğu gibi duruyordu. Dolayısıyla her elektronun yörüngesi bir dalga cephesi olarak düşünülebilirdi. Ama elektronu dalga olarak düşünmek, nerede olduğu sorusunu yanıtlamayı imkânsızlaştırıyordu.

Kutuda sıkışmış

Uzayda serbestçe ilerleyen yalnız bir parçacığın sinüs dalgasına benzeyen bir dalga fonksiyonu vardır. Bu parçacık bir kutunun içine hapsedilirse, dalga fonksiyonu kutunun duvarları ve kutunun dışı için sıfıra düşer, çünkü parçacık oralarda bulunamaz. Kutunun içindeki dalga fonksiyonu, parçacığın izin verilen enerji düzeyleri, yani enerji kuantaları göz önüne alınarak belirlenebilir. Kuantum kuramı yalnızca belli enerji düzeylerine izin verdiği için, parçacığın kutunun içinde belli yerlerde bulunma olasılığı, diğer yerlere göre daha yüksektir. Ayrıca dalga fonksiyonunun sıfır olduğu yerlerde bulunma olasılığı hiç yoktur. Daha karmaşık sistemlerin dalga fonksiyonları, tıpkı müzik tınılarının birçok harmonikten oluşması gibi, birçok sinüs dalgasının ve diğer matematiksel fonksiyonların bileşiminden oluşur. Klasik fizik olsaydı, kutunun içindeki parçacığın (örneğin minik bir bilyenin) hareketini ifade etmek için Newton'ın yasalarını kullanırdık. Herhangi bir anda nerede olduğunu ve hareket yönünü tam olarak bilirdik. Ne var ki kuantum mekaniğinde parçacığın belli bir anda belli bir yerde bulunmasının ancak olasılığından söz edebiliriz. Atom ölçeğinde enerji kuantize olduğu için, parçacığın bulunmayı yeğlediği belli yerler vardır. Ama hiçbir zaman nerede olduğunu tam olarak söyleyemeyiz, çünkü aynı zamanda dalgadır.

"Tanrı elektromanyetiği Pazartesi, Çarşamba ve Cuma günleri dalga kuramıyla işletir; Şeytan da Salı, Perşembe ve Cumartesi günleri kuantum kuramıyla."

Sir William Bragg, 1862-1942

De Broglie'den esinlenen Schrödinger, dalga gibi davranan bir parçacığın konumunu gösteren bir denklem buldu. Bunu ancak olasılıktan yararlanarak istatiksel olarak yapabilmişti. Schrödinger'in bu önemli denklemi, kuantum mekaniğinin temel ögelerinden biridir.

Schrödinger'in dalga fonksiyonu fikrini ortaya atmasının nedeni, bir parçacığın herhangi bir zamanda belli bir konumda bulunma olasılığını söyleyebilmek, ayrıca parçacıkla ilgili bilinebilecek tüm bilgileri içeren bir matematiksel ifade ortaya koyabilmekti. Dalga fonksiyonu, anlaşılmasının zorluğuyla ünlüdür. Kendi yaşamımızda hiç böyle bir şeyle karşılaşmadığımızdan, bırakalım zihnimizde canlandırmayı, felsefeyle yorumlamamız bile zordur.

Schrödinger denkleminin açtığı çığır, elektronların orbitallerde dolaştığı atom modellerini de beraberinde getirdi. Orbitaller elektronların %80-90 ihtimalle bulunduğu olasılık bölgeleridir (Ayrıca buradan, küçük ihtimalle de olsa bambaşka yerlerde bulunabilecekleri sonucu da çıkar). Bu bölgeler, Bohr'un zihninde canlandırdığı gibi küresel kabuklar şeklinde değildir. Gerçekte halteri veya simidi andıran şekilleri vardır. Günümüzde kimyacılar bu bilgileri yeni moleküller oluşturmakta kullanır.

Schrödinger denklemi dalga-parçacık ikiliği fikrinin yalnızca atomlar için değil, tüm maddeler için geçerli olduğunu göstererek fizikte bir devrim yaratmıştır. Werner Heisenberg ve diğerleriyle birlikte, Schrödinger de kuantum mekaniğinin kurucularından biri kabul edilir.

» fikrin özü
Bir oradayım, bir burada

26 Heisenberg Belirsizlik İlkesi

Heisenberg belirsizlik ilkesi, herhangi bir anda bir parçacığın hızı (veya momentumu) ve konumunun, ikisinin birden tam olarak bilinemeyeceğini ifade eder. Birini ne kadar hassas ölçerseniz, diğeri hakkında o kadar az şey bilebilirsiniz. Werner Heisenberg bir parçacığı gözleme eyleminin bizzat kendisinin parçacığı etkileyeceğini, bu yüzden de keskin bilgi elde etmenin imkânsız olduğunu ileri sürmüştür. Yani bir atomaltı parçacığın ne geçmişteki ne de gelecekteki davranışları keskin olarak öngörülebilir. Determinizm ölmüştür.

Heisenberg 1927'de kuantum kuramının bazı ilginç çıkarımlar içerdiğini fark etti. Kuram, deneylerin hiçbir zaman tam bir yalıtılmışlık içinde yapılamayacağını, çünkü ölçme eyleminin kendisinin sonuçları etkileyeceğini ima ediyordu. Heisenberg ortaya attığı "belirsizlik ilkesi"yle bu bağı açıklıyordu: Bir atomaltı parçacığın hem konumu hem de momentumu (yani belli bir andaki enerjisi) aynı anda ölçülemez. Biri bilinirken diğeri belirsiz kalmak zorundadır. Her ikisi de belli sınırlar içinde ölçülebilir ama bu sınırlar biri için ne kadar kesin belirtilirse, diğeri için o kadar belirsizleşir. Heisenberg bu belirsizliğin kuantum mekaniğinin doğasından kaynaklandığını, beceri ya da ölçüm keskinliğindeki bir eksiklikten kaynaklanmadığını da dile getirmiştir.

Belirsizlik Her ölçümde bir belirsizlik payı bulunur. Masanın boyunu mezura ile ölçerseniz, bir metre olduğunu söyleyebilirsiniz. Ama mezura bu ölçümü en fazla bir milimetre hassasiyetle gösterebilir, çünkü en küçük

dönem

1687

Newton'ın hareket yasaları Evren'in deterministik olduğunu ima eder.

ölçüm çentiği budur. Masanın boyu aslında 99,9 santimetre ile 100,1 santimetre arasında bir uzunluktadır.

Belirsizliklerin, bu mezurada olduğu gibi ölçüm araçlarının sınırlamalarından kaynaklandığını düşünürüz. Ama Heisenberg'in iddiası bu değildir. Ona göre ölçme aygıtlarınız ne kadar keskin olursa olsun, momentum ile konum değerlerini aynı anda bilemezsiniz. Bu, bir yüzücünün konumunu saptarsanız hızını artık bilemezsiniz demeye benzer. Her ikisini de kabaca bilebilirsiniz ama birini daha kesinlikle ölçtükçe diğerinin belirsizliği artar.

Ölçüm Bu sorun neden ortaya çıkar? Heisenberg nötron gibi bir atomaltı parçacığın hareketini ölçtüğü bir deney düşledi. Geri yansıyan elektromanyetik dalgalardan yararlanan bir radarla parçacığı izleyebilirdi. En yüksek doğruluk düzeyi için dalgaboyu çok küçük olan gama ışınlarının kullanılması gerekirdi. Ne var ki dalga-parçacık ikiliği yüzünden nötrona çarpan gama ışınları, aynı zamanda bir dizi foton mermisi gibi davranacaktı. Gama ışınlarının frekansları çok yüksektir; dolayısıyla her foton oldukça büyük bir enerji taşır. Böyle enerjili bir foton nötrona çarptığında, onun hızını etkileyebilecek bir darbe indirir. Dolayısıyla nötronun o anki konumunu bilseniz bile, gözlem işleminin kendisinden dolayı, hızı öngörülemez bir şekilde değişmiş olur.

Hızdaki değişimi en aza indirmek amacıyla daha az enerjili fotonlar kullanılırsa, bu fotonların dalgaboyları büyüyecek ve bu kez de nötronun konum ölçümündeki hassasiyet azalacaktır. Deneyi en uygun hale getirmeye ne kadar çalışırsanız çalışın, parçacığın konumu ile hızını aynı anda öğrenemezsiniz. Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle bunun bir sınırı olduğu gösterilmiştir.

Gerçekte olup biteni anlamak daha zordur, çünkü hem atomaltı parçacıklar hem de elektromanyetik dalgalar birleşik dalga-parçacık davranışları sergiler. Parçacığın konumu, momentumu, enerjisi ve zaman, hepsi olasılığa bağlıdır. Schrödinger denklemi, kuantum kuramına göre bir parçacığın

1901

Planck yasası istatistiksel yöntemler kullanır.

1927

Heisenberg belirsizlik ilkesini yayımlar.

Werner Heisenberg 1901-76

Werner Heisenberg iki dünya savaşı boyunca Almanya'da yaşadı. Birinci Dünya Savaşı sırasında ergenlik çağındayken silahlı Alman gençlik hareketine katıldı. Bu hareket açık havada yapılan fiziksel etkinlikleri teşvik ediyordu. Heisenberg yaz aylarında çiftliklerde çalışırken bir yandan da matematik çalıştı. Çok sevdiği taşra ile bilimin soyut dünyası arasında mekik dokumak zorlaşınca Münih Üniversitesi'nde kuramsal fizik eğitimine başladı. Doktora sonrasında üniversitede görev aldı ve Kopenhag'a yaptığı bir gezi sırasında Einstein'la tanıştı. 1925'te kuantum mekaniğinin matris mekaniği diye bilinen ilk modelini geliştirdi ve bu çalışması ile 1932'de Nobel Ödülü aldı. Günümüzde daha çok 1927'de formüle ettiği belirsizlik ilkesiyle bilinir.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Heisenberg Almanya'nın başarılı olamayan nükleer silah geliştirme projesinin başındaydı ve nükleer fisyon reaktörü üzerine çalıştı. Almanya'nın nükleer silah yapamamış olmasının kaynak yokluğundan mı yoksa biliminsanlarının onu kasıtlı olarak engellemesinden mi kaynaklandığı hâlâ tartışmalıdır. Savaş bitince Heisenberg Müttefiklerce tutuklandı ve İngiltere'de başka Alman biliminsanlarıyla birlikte gözetim altında tutuldu. Sonradan Almanya'ya dönüp çalışmalarına devam etti.

belli bir yerde veya belli bir enerjide olma ihtimalini dalga fonksiyonuyla betimler.

$$\Delta x \Delta p > \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta E \Delta t > \frac{\hbar}{2}$$

Heisenberg belirsizlik ilkesi

Heisenberg de Schrödinger ile aynı dönemde kuantum kuramı üzerine çalışıyordu. Schrödinger atomaltı sistemlerin dalga görünüşü üzerine çalışmayı yeğlerken, Heisenberg enerjilerin kademeli doğasını araştırıyordu. Her iki fizikçi de kuantum sistemlerini kendi yaklaşımlarına göre matematiksel olarak tanımlamanın yollarını geliştirdiler. Schrödinger bunun için dalga matematiğini kullandı. Heisenberg ise özellik setlerini tanımlamak için matrislerden, yani iki boyutlu sayı tablolarından yararlandı.

Hem matris yorumunun hem de dalga yorumunun kendi takipçi kitlesi oluştu ve her iki kamp da diğerinin yanlış olduğunu düşündü. En sonunda kaynaklarını birleştirip kuantum kuramının, kuantum mekaniği adıyla bilinen ortaklaşa bir tanımını yaptılar. Heisenberg'in belirsizlikleri fark etmesi

"Konum ne kadar kesin olarak belirlenirse, o anki momentum da o denli az kesin olarak bilinebilir ve tersi de geçerlidir."

Werner Heisenberg, 1927

de bu eşitlikleri formüle etmeye uğraşırken olmuştu. Bu gerçeği, 1927'de Wolfgang Pauli'ye yazdığı bir mektupta dile getirmişti.

İndeterminizm Belirsizlik ilkesinin derin çıkarımlarını Heisenberg de fark etmişti. Bunların geleneksel fiziğe nasıl meydan okuduğuna dikkat çekti. Birincisi, bir atomaltı parçacığın geçmiş davranışı, bir ölçüm yapılana dek sınırlanamazdı. Heisenberg'e göre, "izlediği yol onu gözlemlediğimizde var oluyor"du. Biz ölçüm yapana kadar bir şeyin nerede olduğunu bilmemizin hiçbir yolu yoktu. Heisenberg ayrıca parçacığın ileride izleyeceği yolu öngörmenin de imkânı olmadığını söylüyordu. Konum ve hıza ilişkin bu derin belirsizlikler nedeniyle sonuç da öngörülemezdi.

İki açıklama da Newton fiziğinde büyük bir gediğe yol açtı. Newton fiziğine göre dış dünya bağımsız olarak vardı ve gözlem yapınca altta yatan gerçeği bulabilirdik. Kuantum mekaniği atom düzeyinde böyle deterministik bir bakış açısının anlamsız olduğunu ve yalnızca sonuçların olasılıklarından söz edilebileceğini gösterdi. Artık sebep ve sonuçtan değil, yalnızca olasılıktan konuşabilirdik. Einstein ve daha başka birçok fizikçi için bunu kabullenmek çok zor olsa da, denklemlerin bunu gösterdiğini kabul etmek zorunda kaldılar. Fizik ilk kez sezgilerin bu kadar dışına çıkıyor ve iyice soyut matematiğin dünyasına giriyordu.

» fikrin özü
Sınırlarınızı bilin

27 Kopenhag Yorumu

Kuantum mekaniği denklemleri biliminsanlarına doğru yanıtları veriyordu ama ne anlama geliyorlardı? Danimarkalı fizikçi Niels Bohr, Schrödinger'in dalga denklemiyle Heisenberg'in belirsizlik ilkesini harmanlayarak kuantum mekaniğinin Kopenhag yorumunu sundu. Bohr yalıtılmış deney diye bir şeyin olmadığını, gözlemcinin müdahalesinin kuantum deneylerinin sonucunu etkilediğini ileri sürdü. Böyle yaparak bizzat bilimin nesnelliğine meydan okumuş oluyordu.

1927'de birbiriyle rekabet halinde birden fazla kuantum mekaniği yorumu vardı. Erwin Schrödinger kuantum davranışlarının altında dalga fiziğinin yattığını ileri sürüyordu. Öte yanda Werner Heisenberg maddenin ve elektromanyetik dalgaların parçacıklı doğasına inanıyordu. Ayrıca Heisenberg geliştirdiği belirsizlik ilkesiyle kavrayışımızın temelden sınırlandırılmış olduğunu göstermişti. Gözlemle sabitlenene dek gelecek ve geçmişin bilinemez olduğuna inanıyordu, çünkü atomaltı bir parçacığın hareketlerini tanımlayan parametrelerin doğasında belirsizlik yatıyordu.

Bir başkasıysa bütünü açıklayabilecek yeni bir resim oluşturmak için tüm deneyleri ve teorileri bir araya getirmeye çalışıyordu. Bu kişi Niels Bohr'du. Kopenhag Üniversitesi'nde Heisenberg'in bölüm başkanı ve hidrojen atomunda elektronların kuantum enerji durumlarını açıklayan biliminsanı. Max Born, Heisenberg ve diğerleriyle birlikte Bohr kuantum mekaniğinin, Kopenhag yorumu diye bilinen, bütüncül bakış açısını geliştirdi. Her ne kadar bazı başka varyasyonları çıktıysa da bu hâlâ fizikçilerin çoğunun en beğendiği yorumdur.

dönem

1901

Planck kara cisim ışıması yasasını yayımlar.

1905

Einstein fotoelektrik etkiyi açıklamak için ışık kuantalarından yararlanır.

Niels Bohr 1885-1962

Niels Bohr iki dünya savaşını da yaşadı ve döneminin en iyi fizikçileriyle çalıştı. Babasının fizyoloji laboratuvarında ödül kazandıran fizik deneyleri yapan Bohr, eğitimini Kopenhag Üniversitesi'nde tamamladı. Doktorasını bitirdikten sonra İngiltere'ye taşındı ama orada J. J. Thomson ile anlaşamadı. Bir süre Manchester'da Ernest Rutherford ile çalıştıktan sonra Kopenhag'a geri döndü. Burada kendi geliştirdiği ve hâlâ insanların büyük bölümünün atom görüşünü oluşturan "Bohr atom modeli"ni tamamladı. Kuantum mekaniği daha tam olarak ortaya çıkmadan önce 1922'de Nobel Ödülü aldı. 1930'lu yıllarda Hitler Almanya'sından kaçan biliminsanları Bohr'un Kopenhag'daki Teorik Fizik Enstitüsü'ne geliyordu. Burada Danimarkalı bira şirketi Carlsberg'in bağışlamış olduğu bir konakta yaşıyorlardı. Naziler 1940'ta Danimarka'yı işgal edince Bohr bir balıkçı teknesiyle önce İsveç'e kaçtı, oradan da İngiltere'ye geçti.

İki taraf Niels Bohr yeni bilim için felsefi bir yaklaşım geliştirdi. Özellikle gözlemcilerin kuantum deneylerinin sonuçlarına olan etkisini vurguladı. Önce, madde ile ışığın dalga ve parçacık özelliklerinin iki farklı olay grubu olmadığını, aynı temel olgunun iki yüzü olduğunu savunan "tamamlayıcılık" fikrini benimsedi. Psikoloji testlerindeki, iki farklı şekilde görülebilen resimlerdeki gibi –örneğin birbirine bakan iki yüz veya bir vazo olarak görülebilen resim gibi– dalga ile parçacık özellikleri de aynı olguyu görmenin birbirini tamamlayan yollarıydı. Yapısını değiştiren şey ışığın kendisi değil, bizim nasıl görmek istediğimizdi.

Bizim kendi deneyimlerimizin de aralarında yer aldığı insan boyutlarındaki normal sistemler ile kuantum arasındaki açıklığı kapatmak için Bohr, bizim de aşina olduğumuz ve Newton fiziğinin uygulanabildiği büyük sistemlerde kuantum davranışlarının ortadan yok olması gerektiğini söyleyen "karşılığı bulunma ilkesi"ni geliştirdi.

1927

Heisenberg belirsizlik ilkesini yayımlar.

Kopenhag yorumu formüle edilir.

"Bir ormandayız ve yolumuzu deneme-yanılmayla buluyoruz; ilerlerken de arkamızda açılmış bir yol bırakıyoruz."
Max Born, 1882-1970

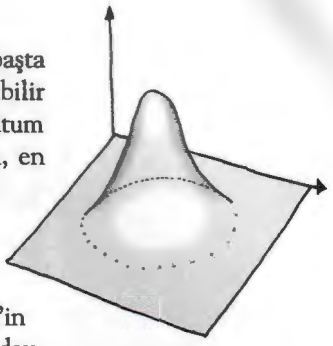
Bilinemezlik Bohr atomaltı parçacıkların hem konum hem de momentumunun (veya hızının) aynı anda ölçülemeyeceğini gösteren belirsizlik ilkesinin ne kadar önemli olduğunu hemen fark etti. Eğer değerlerden biri kesin olarak ölçülürse, diğeri doğası gereği belirsizleşiyordu. Heisenberg belirsizliğin, ölçme eyleminin kendi mekaniğinden kaynaklandığını düşünüyordu. Bir şeyi ölçmek için, hatta onu görmek için bile, fotonların ona çarpıp yansımasından yararlanırız. Bu da her zaman bir miktar momentumun veya enerjinin transferini içerir. Dolayısıyla gözlem yapmanın kendisi, parçacıkların orijinal hareketini bozar.

Bohr bir yandan da Heisenberg'in açıklamasının hatalı olduğunu düşünüyordu. Gözlemciyi ölçmekte olduğu sistemden tümüyle ayırmanın imkânsız olduğunu iddia ediyordu. Sistemin sonuç davranışını etkileyen şey gözlem yapma eyleminin kendisiydi ama yalnızca basit bir enerji transferi nedeniyle değil, kuantum fiziğinin olasılığa dayanan dalga-parçacık özelliği nedeniyle etkiliyor olmalıydı. Bohr bütün bir sistemin davranışının tek olarak ele alınması gerektiğini düşündü. Parçacığı, radarı ve gözlemciyi ayıramazdık. Bir elmaya baktığımızda bile bütün sistemin kuantum özelliklerini göz önüne almamız gerekir ki buna elmadan gelen fotonları işleyen beynimizin görme sistemi de dahildir.

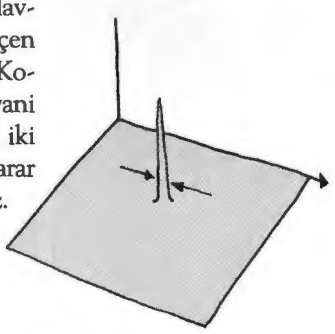
Bohr ayrıca "gözlemci" sözcüğünün kendisinin de doğru olmadığını, gözlenen dünyadan ayrılmış bir dış gözlemci olduğu izlenimini akla getirdiğini ileri sürüyordu. Ansel Adams gibi bir fotoğrafçı Yosemite doğal parkının el değmemiş güzelliğini yakalayabilirdi ama gerçekten de insan eli değmemiş miydi? Fotoğrafçı da orada bulunduğuna göre bu nasıl olabilirdi? Doğada bir fotoğrafçı vardı ve o doğadan ayrı değildi. Bohr'a göre gözlemci aslında deneyin bir parçasıydı.

Gözlemcinin dahil olması düşüncesi fizikçiler için şok edici oldu. Çünkü temel bilimsel nesnellik kavramı ve geleneksel bilim yapma tarzına karşı çıkıyordu. Felsefeciler de duraksadı. Doğa bundan böyle ne mekanik ne de öngörülebilirdi; en derinde, kendi içinden gelen bir bilinemezlik özelliğine sahipti. Geçmiş ve gelecek gibi basit fikirler şöyle dursun, temel gerçeklik

kavramları için bu ne anlama geliyordu? Einstein ve Schrödinger başta olmak üzere kimi biliminsanları, dışarıdaki deterministik ve doğrulanabilir Evren'e olan sıkı inançlarını terk etmekte zorlandılar. Einstein, kuantum mekaniği kuramının yalnızca istatiksel olarak tanımlanabildiği için, en azından eksik olduğuna inanıyordu.



Çöken dalga fonksiyonları Atomaltı parçacıklarını ve dalgaları bazen parçacık, bazense dalga olarak gözlemlediğimize göre, kendilerini nasıl ortaya koyacaklarına karar veren nedir? William Bragg'in benzetmesiyle, neden Pazartesi günü iki yarıktan geçen ışık dalga gibi davranıyor ve girişim desenleri oluşturuyor da Salı günü tek bir yarıktan geçen fotonu yakalamaya çalıştığımızda parçacık gibi davranıyor? Bohr'a ve Kopenhag yorumunun taraftarlarına göre ışık aynı anda iki halde birden, yani hem dalga hem de parçacık olarak bulunur. Ölçüm yapıldığında ise bu iki kıyafetinden birini giyinir. Yani aslında onu nasıl ölçmek istediğimize karar verdiğimizde, onun alacağı görünümü biz önceden seçip belirlemiş oluruz.



Karar oluşturma sürecinin bu noktasında, yani parçacık ya da dalga özelliğinin sabitlendiği anda "dalga fonksiyonu çöktü" denir. Schrödinger dalga fonksiyonunun içerdiği tüm sonuçların olasılıkları çöker ve gerçekleşen sonucun dışındaki her şey kaybolur. Bohr'a göre, bir ışık ışınının orijinal dalga fonksiyonu, dalga ya da parçacık kıyafetine bürünme olasılıklarını içinde barındırır. Ölçüm yaptığımızda bunlardan biri olarak görünür – bir biçimden diğerine geçiş yaptığı için değil, aynı anda gerçekten ikisi birden olduğu için. Kuantum elmaları ve portakalları yoktur; ikisinin melezleri vardır.

Fizikçiler Bohr'un sunduğu yorumdan beri kuantum mekaniğinin ne anlama geldiğini sezgisel olarak kavramakta zorlanır. Bohr kuantum dünyasını kavrayabilmek için kara tahtaya geri dönmemiz gerektiğini ve günlük yaşamda alışık olduğumuz şeylerden faydalanamayacağımızı ileri sürmüştür. Kabul etmeliyiz ki kuantum dünyası hiç alışık olmadığımız, farklı ve tuhaf bir yerdir.

"Kuantum kuramını öğrenince şok olmayan biri anlamamış demektir."

Niels Bohr, 1885-1962

» fikrin özü
Dilediğini seç

28 Schrödinger'in Kedisi

Schrödinger'in kedisi aynı anda hem canlı hem de ölüdür. Bu varsayımsal deneyde bir kutunun içinde kedi bulunur. Rassal bir tetiklemeyle zehir dolu bir kapsülün kırılması yüzünden ölmüş olabilir ya da yaşıyor olabilir. Erwin Schrödinger bu metaforu, kuantum kuramını ne kadar saçma bulduğunu göstermek için kullanmıştır. Çünkü kurama göre sonuç gözlemlenene kadar kedinin hem canlı hem de ölü olması gerekir.

Kuantum kuramının Kopenhag yorumuna göre, gözlemcinin yaptığı müdahaleyle ihtimallerden birini gerçeğe dönüştürmesine kadar kuantum sistemleri bir olasılık bulutu halinde var olurlar. Gözlenmeden önce sistem aslında bütün olasılıklarıyla vardır. Biz hangi biçimini ölçeceğimize karar verene dek ışık hem parçacık hem de dalgadır – alacağı biçime bundan sonra girer.

Olasılık bulutu, foton ya da ışık dalgası gibi soyut şeyler için makuldur makul olmasına ama bizim farkında olabileceğimiz kadar büyük nesneler için ne anlama gelir? Bu kuantum belirsizliği gerçekte nasıl bir şeydir?

1935'te Erwin Schrödinger varsayımsal bir deney içeren bir makale yayımladı. Deneyde bu davranışı atomaltı parçacıklardan daha tanıdık ve renkli bir örnekle açıklamaya çalıştı. Schrödinger, gözlemin sonucu etkilediğini söyleyen Kopenhag yorumuna çok eleştirel yaklaşıyordu. Kopenhag yorumunun ne kadar saçma olduğunu göstermek istedi.

Kuantumun arafı Schrödinger aşağıdaki tümüyle hayali durumu kurgulamıştır. Hiçbir hayvana zarar verilmemiştir.

dönem

1927
Kuantum mekaniğinin Kopenhag yorumu yapılır.

1935
Schrödinger kuantum kedisi deneyini yazar.



"Çelikten bir kutuya bir kedi konur. Kutunun içinde şöyle bir şeytani düzenek vardır (kedinin dokunamayacağı şekilde yerleştirilmesi gerekir): Bir Geiger sayacının içinde çok az miktarda radyoaktif madde vardır. O kadar azdır ki bir saatte belki bir atom bozunur ama eşit olasılıkla belki de bozunmaz. Eğer atom bozunursa, sayacın tüpü elektrik akımı boşaltarak bir röle vasıtasıyla bir çekici serbest bırakır ve çekiç hidrojen siyanür içeren küçük bir kapsülü kırar. Eğer bu sistem bir saat boyunca kendi haline bırakılırsa ve bu sürede hiçbir atom bozunmazsa, kedi yaşıyor olacaktır. İlk atom bozunmasında kedi zehirlenecektir."

Dolayısıyla bu sürenin sonunda kutu açıldığında kedinin canlı ya da ölü olma olasılıkları yarı yarıyadır. Schrödinger, Kopenhag yorumunun mantığını benimsersek, kutu kapalıyken kedinin aynı anda hem canlı hem de ölü olmak gibi belirsiz bir ara durumda olduğunu düşünmemiz gerektiğini söyler. Tıpkı bir elektronun dalga ya da parçacık görünümünün algılama anında sabitlenmesi gibi, kedinin geleceği de biz kutuyu açıp baktığımız anda belli olacaktır. Kutuyu açarak gözlem yapmış oluruz ve sonucu belirleriz.

Schrödinger'e göre bu saçmalığın daniskasıydı – özellikle de kedi gibi gerçek bir hayvan için. Günlük deneyimlerimize göre kedinin canlı ya da ölü olması gerektiğini, ikisinin karışımı halinde olamayacağını biliriz. Ve ona bakmadığımız sürece kedinin bir tür arafta olacağını düşünmek de deliliktir. Eğer kedi yaşıyorsa, anımsayacağı şey bir olasılık bulutu ya da dalga fonksiyonu halinde olduğu değil, gayet kanlı canlı bir şekilde kutunun içinde oturduğu olacaktır.

Başka fizikçilerle birlikte Einstein da Kopenhag yorumunun absürd olduğu konusunda Schrödinger'e katılıyordu. Birlikte daha başka sorular da ürettiler. Bir hayvan olarak kedi kendisini gözlemleyebilir miydi? Eğer böyleyse kendi dalga fonksiyonunu çökertebilir miydi? Gözlemci olmak nasıl bir şeydi? Gözlemcinin insan gibi bilinçli bir varlık olması gerekir miydi, yoksa herhangi bir hayvan da olabilir miydi? Peki, bakteri olabilir miydi?

Daha da ileri giderek dünyada herhangi bir şeyin bizim gözlemimizden bağımsız olarak var olup olmadığını da sorgulayabiliriz. Kutunun içindeki

1957

Everett çoklu dünyalar hipotezini ortaya atar.

kediyi bir yana bırakıp bozunan radyoaktif maddeyi düşünürsek, eğer kutuyu kapalı tutarsak, bozunur mu bozunmaz mı? Yoksa o da Kopenhag yorumunun söylediği üzere biz kutunun kapağını açana kadar bir kuantum arafında mı kalır? Belki de bütün dünya birleşik bir belirsizlik durumu içindedir ve hiçbir şey biz onları gözleyip dalga fonksiyonlarını çökertene dek kendini göstermiyordur. Acaba işyeriniz hafta sonları siz orada yokken dağılıp yok oluyor mudur, yoksa oradan geçenlerin bakışları sayesinde korunuyor mudur? Kimse ona bakmadığında orman içindeki yazlık eviniz gerçekliğine son mu veriyordur? Yoksa yanmış, su basmış, karınca istilasına uğramış, ayılarca işgal edilmiş olma ihtimallerinin iç içe geçtiği bir durumda mı oluyordur ya da siz gelene dek orada öylece duruyor mudur? Kuşlar ve sincaplar gözlemci sayılır mı? Bütün garipliğiyle Bohr'un Kopenhag yorumunun dünyayı atom ölçeğinde açıklaması böyledir.

Çoklu dünyalar Felsefi bir sorun olan gözlemcinin sonucu etkilemesi, kuantum kuramının yorumlanmasında bir başka varyasyona daha yol açtı:

Erwin Schrödinger 1887-1961

Avusturyalı fizikçi Erwin Schrödinger kuantum mekaniği üzerine çalışmış ve Einstein ile birlikte kütleçekim ile kuantum mekaniğini tek bir kuramda birleştirmeyi denemiş ama başarısız olmuştur. Dalga yorumunu desteklemiş, dalga-parçacık ikiliğinden hoşlanmamış, bu yüzden diğer fizikçilerle tartışmalar yaşamıştır.

Schrödinger gençken Alman şiirinden çok etkilenmişti ama yine de üniversitede kuramsal fizik okumaya karar verdi. Birinci Dünya Savaşı'nda İtalyan cephesinde görev yaptı. Bir yandan da çalışmalarını uzaktan sürdürdü ve makaleler yayımladı. Savaştan sonra akademik çalışmalarına devam etti. 1926'da dalga denklemini sundu ve bu çalışması ile 1933'te Paul Dirac ile birlikte Nobel Ödülü kazandı. Sonradan Berlin'e taşındı ve Max Planck'ın eski bölümünün başına geçti. Ama Hitler'in iktidara gelmesiyle 1933'te Almanya'yı terk etmeye karar verdi. Bir yere yerleşmekte zorlandı ve çalışmalarını dönem dönem Oxford'da, Princeton'da ve Graz'da sürdürdü. 1938'de Avusturya'nın işgaliyle yine kaçtı ve Dublin'de "Institute for Advanced Studies"te kendisi için açılan özel konumda çalışmaya başladı. Emekli olup Viyana'ya yerleşene kadar burada kaldı. Schrödinger'in kişisel yaşamı da iş yaşamı kadar karmaşıktı. Birkaç kadından çocukları oldu.

Çoklu dünyalar hipotezi. 1957'de Hugh Everett'in önerdiği bu alternatif bakış, birbirine paralel sonsuz sayıda evren olduğunu ileri sürerek, gözlemlenmeyen dalga fonksiyonlarındaki belirsizlikten kaçınır. Ne zaman bir gözlem yapılsa ve belli bir sonuç elde edilse, yeni bir evren oluşur. Her evren diğerinin tıpa tıp aynısıdır ama bir tek gözlenen şey farklıdır. Dolayısıyla olasılıklar aynıdır ama olayların oluşumu bizleri sürekli dallanan bir dizi evrenin içinde ilerletir.



Schrödinger'in kedisi deneyi için yapılan çoklu dünya yorumuna göre, kutu açıldığında kedi artık tüm olası durumların bir arada olduğu durumda (süperpozisyon) olmaz. Onun yerine bir evrende canlıdır ve öteki paralel evrende ölüdür. Bir evrende zehir kutuya yayılmıştır, diğerinde şişede duruyordur.

Bunun dalga fonksiyonu arafında bulunma durumuna karşı bir ilerleme olup olmadığı tartışmalıdır. Bu şekilde bizi yalnızca bir olasılık bulutu olmaktan çıkaracak bir gözlemci ihtiyacından kaçınıyor olabiliriz ama bunun bedeli de olayların yalnızca biraz farklı olduğu alternatif evrenlere başvurmaktır. Bir evrende bir pop yıldızıyken, diğerinde sokak çalgıcısıyım. Birinde giydiğim çoraplar siyahken diğerinde gri. Bu bir sürü güzel evrenin israf edilmesiymiş gibi geliyor. Gardrobumun rengarenk kıyafetlerle dolu olduğu bir evren de var mıdır acaba? Bazı alternatif evrenlerde kayda değer farklar da olabilir. Mesela birinde Elvis yaşıyor olabilir, bir başkasında John F. Kennedy vurulmamış olabilir, bir başkasında ise ABD'nin başkanı Al Gore seçilmiş olabilir. Bu fikir birçok kez film konusu olarak kullanılmıştır. Örneğin *Rastlantının Böylesi* (*Sliding Doors*) adlı filmde, Gwyneth Paltrow Londra'da birinde çok başarılı olduğu, diğerindeyse olamadığı iki ayrı hayat yaşar.

Günümüzde bazı fizikçiler Schrödinger'in hayali kedi deneyindeki akıl yürütüşünün geçersiz olduğunu iddia ediyor. Tıpkı bütünüyle dalga temelli kuramında olduğu gibi, alışıldık fizik fikirlerini tuhaf kuantum dünyasına uygulamaya çalıştığı düşünülüyor. Oysa kuantum boyutlarındaki dünyanın böyle tuhaf bir yer olduğunu kabul etmemiz gerekir.

» fikrin özü
Ölü mü diri mi?

29 EPR Paradoksu

Kuantum mekaniği, enformasyonun sistemler arasında anında iletilebilmesinin mümkün olabileceği fikrini akla getirir – aradaki mesafeler ne kadar olursa olsun. Bu türden bir "dolanıklık", Evren'in dört bir yanındaki parçacıklar arasında bağlardan oluşan engin ağların kurulabileceğini ima eder. Einstein, Podolsky ve Rosen bunun absürd olduğunu düşünmüş ve bu yorumu sorgulayan bir paradoks üretmişlerdir. Ama deneyler kuantum dolanıklığının gerçek olduğunu göstermiş ve kuantum kriptografinin, kuantum bilgisayarların ve hatta kuantum ışınlanmanın önünü açmıştır.

Albert Einstein kuantum sistemlerinin olasılıklardan oluşan bir arafta var olduğunu ve gözlemin gerçekleştiği anda nihai durumlarına kavuştuğunu ileri süren Kopenhag yorumunu hiçbir zaman benimsemedi. Buna göre, yapılan gözlem tarafından sabitlenmeden önce sistemler tüm olası varoluş durumlarının bir birleşimi halinde bulunuyordu. Einstein bu yorumu benimsemiyor, gerçekçi olmadığını savunuyordu.

Çelişkili parçacıklar 1935'te Einstein, Boris Podolsky ve Nathan Rosen bu durum karşısındaki hoşnutsuzluklarını ürettikleri bir paradoksta özetlediler. Bu daha sonra Einstein-Podolsky-Rosen (EPR) paradoksu olarak anılmaya başlandı. Bir parçacığın daha küçük iki parçacığa bozunduğunu düşünün. Eğer ana parçacık sabitse, yavru parçacıkların eşit ama ters yönlü doğrusal ve açısal momentumları olması gerekir (çünkü korunum ilkesi gereği toplamları sıfır olmalıdır). Dolayısıyla beliren kardeş parçacıklar, birbirlerine

"Ne olursa olsun, O'nun (Tanrı) zar atmayacağına kaniyim."

Albert Einstein, 1926

dönem

1927

Kopenhag yorumu ortaya atılır.

1935

Einstein, Podolsky ve Rosen ünlü paradoksu üretir.

Işınlanma (Teleportasyon)

Işınlama bilimkurguda yaygın olarak kullanılır. 19. yüzyılda telgrafla başlayan iletişim teknolojileri, enformasyonun çok büyük mesafelerde elektrik sinyallerinden başka şekillerde de iletilebileceği ümitlerini yükseltmişti. 1920'li ve 1930'lu yıllarda ışınlanma olgusu bazı kitaplarda, örneğin Arthur Conan Doyle'un kitaplarında görülmeye başlandı. Daha sonra bilimkurgu öykülerinin vazgeçilmez öğelerinden biri oldu. George Langelaan'ın *Sinek* (*The Fly* – üç kez filmi yapılmıştır) adlı kısa öyküsünde bir biliminsanı kendisini ışınlar ama ışınlama sırasında beden bilgisi bir sineğinkiyle harmanlanır ve onu yarı-insan, yarı-sinek bir yaratığa dönüştürür. Işınlanma asıl olarak televizyon dizisi *Uzay Yolu* ile birlikte –ünlü replik "ışınla beni Scotty" ile– popülerleşmiştir. Uzay gemisi *Atılgan*'ın ışınlama aygıtı, gönderilecek olanları önce atomlarına ayırır ve sonra da kusursuz bir biçimde yeniden birleştirir. Gerçek yaşamdaysa ışınlanmanın Heisenberg'in belirsizlik ilkesi gereği imkânsız olduğu düşünülüyordu. Her ne kadar gerçek atomları iletmek imkânsız olsa da, "kuantum dolanıklığı" sayesinde enformasyonun uzun mesafelerde iletilmesi mümkün olabilir.

ters yönde ilerlemeli ve spinleri de ters yönde olmalıdır. İkilinin diğer kuantum özellikleri de benzer bir şekilde birbirine bağlıdır. Parçacıklar belirdikten sonra birinin spin yönünü ölçtüğümüz anda, diğerinin spininin ters yönde olduğunu biliriz. Aralarındaki mesafe ve zaman farkı ne kadar olursa olsun, bu gerçekleşir. Bu tek yumurta ikizlerinden birine bakıp göz rengini görmeye benzer. Gözlerinin yeşil olduğunu gördüğümüz anda, diğer kardeşin gözlerinin de yeşil olduğunu biliriz.

Kopenhag yorumu bu olguyu şöyle açıklayacaktır: Herhangi bir ölçüm yapılmadan önce iki parçacık (veya ikizler), her iki olası durumun birişimi (süperpozisyonu) olarak vardı. Parçacıkların dalga fonksiyonları her iki yöndeki spinleri hakkındaki bilgiyi içeriyordu. İkizler tüm olası göz renklerinin bir karışımını taşıyordu. İkisinden biri üzerinde ölçüm yaptığımızda, her ikisinin dalga fonksiyonları aynı anda çökmek zorundaydı. Einstein, Podolsky ve Rosen bunun anlamsız olduğunu savundu. Ortağından çok uzakta da olabilecek bir

1964
John Bell bir yerel gerçeklik için eşitsizlikler türetir.

1981-2
Bell eşitsizliklerinin ihlal edilebildiği gösterilerek dolanıklık fikri desteklenir.

1993
Kuantum bitlerine kubit adı verilir.

parçacığa aynı anda nasıl etki edilebilirdi? Einstein ışık hızının Evren'deki hız limiti olduğunu kanıtlamıştı. Hiçbir şey daha hızlı gidemezdi. İlk parçacığın gözlemiyle ortaya çıkan bilgi ikinci parçacığa nasıl iletiliyordu? Evren'in bir yanında yapılan bir ölçümün "aynı anda" Evren'in öteki yanındaki bir maddeyi etkilemesi kuantum mekaniğinin yanlış olduğu anlamına gelmeliydi.

Dolanıklık Schrödinger kedi paradoksunu anlattığı makalesinde bu garip uzaktan-etki olayı için "dolanıklık" terimini kullanmıştı.

Bohr'a göre Evren'in kuantum düzeyinde bağlantılı olması kaçınılmazdı. Ama Einstein dünya hakkındaki yerel bilginin kesin olduğu bir "yerel gerçeklik"e inanmayı yeğliyordu. Yani ikizler aynı göz rengiyle doğmuşlardı ve biz onları gözlemleyene dek ortalıkta gözleri belirsiz bir "çok renklilik durumu"nda dolaşmıyorlardı. Einstein'a göre parçacıklar bu veya tersi şekilde fırlatılıyor, ardından da bu durum sabit kalıyordu. Ne aralarında boşluk üzerinden bir iletişim olmasına ne de gözlemcinin rolüne gerek vardı. Einstein kendisini haklı çıkaracak bazı gizli değişkenlerin –artık Bell eşitsizlikleri olarak formüle ediliyorlar– bulunacağını tahmin ediyordu ama bu fikrini destekleyen bir kanıt bulunamadı.

Einstein'ın yerel gerçeklik fikrinin yanlış olduğu gösterildi. Deneyler kuantum dolanıklığın gerçek olduğunu hem de ikiden çok parçacık için ve kilometrelerce mesafeden de işlediğini ortaya koydu.

Kuantum enformasyonu Kuantum dolanıklığı aslında ilk olarak felsefi bir tartışma olarak ortaya çıkmıştır. Ama artık daha önceki hiçbir şeye benzemeyen yollarla enformasyon kodlamasına ve iletimine olanak tanımaktadır. Normal bilgisayarlarda enformasyon, sabit değerleri olan bitler halinde ikili bir kodla işlenir. Kuantum kodlamada iki veya daha çok kuantum durumu kullanılır ama sistem bu durumların bir harmanı olarak da var olabilir. 1993'te "kubit" terimi "kuantum bit"in (bit değerlerinin kuantum harmanı) kısaltması olarak kullanılmaya başlandı ve kuantum bilgisayarlar da artık bu ilkelerle tasarlanıyor.

Dolanık durumlar kubitler arasında yeni iletişim bağlantıları sağlar. Bir ölçüm gerçekleştiğinde bu, sistemin öğeleri arasında art arda kuantum iletişimleri başlatır. Bir öğenin ölçülmesiyle diğerlerinin değerleri belirlenir. Bu tür etkiler kuantum kriptografi için, hatta kuantum teleportasyon için bile çok kullanışlıdır.

"Tanrı bile belirsizlik ilkesiyle sınırlanmış gibi görünüyor. Anlaşılan O bile bir parçacığın hem konumunu hem de hızını bilemez. Öyleyse Tanrı Evren'le zar mı atıyor? Tüm kanıtlar onun her fırsatta zar atan müzmin bir kumarbaz olduğunu gösteriyor."

Stephen Hawking, 1993

Kuantum mekaniğindeki belirsizlik aslında birçok bilimkurgu eserinde anlatılan türden ışınlanmayı –bir nesneye dair tüm bilgileri alıp başka yere kopyalamayı– imkânsız kılar. Belirsizlik ilkesi, tüm bilgileri elde etmemize izin vermez. Dolayısıyla bir insanı, hatta bir sineği bile ışınlamak imkânsızdır. Bununla birlikte dolanık sistemler üzerinde oynayarak kuantum versiyonunu gerçekleştirmek mümkündür. İki kişi (fizikçiler genellikle Alice ve Bob adlarını kullanır) bir çift dolanık fotonu paylaşıyor olsun. Alice kendi fotonunda ölçüm yaparak tüm bilgileri Bob'un dolanık fotonuna iletebilir. Bob'un fotonu Alice'in orijinal fotonunun kopyası olsa da tamamen aynısı gibi olur. Bunun gerçek bir ışınlanma olup olmadığı, anlamlı bir sorudur. Aslında hiçbir foton ya da bilgi bir yerden bir yere gitmiş değildir. Alice ile Bob Evren'in iki ucunda bile olsalar, dolanık fotonları yine birbirine dönüşebilir.

Kuantum kriptografi, kuantum dolanıklığın bir şifreleme anahtarı gibi kullanılmasına dayanır. Gönderici ve alıcıda dolanık bir sistemin bileşenleri bulunmalıdır. Bir ileti rasgele bir şekilde karıştırılır ve onu açacak yegane kod da kuantum dolanıklık bağlantıları üzerinden alıcıya yollanır. Bunun avantajı, ileti ele geçirilse bile herhangi bir ölçümün iletiyi bozacak (kuantum durumunu değiştirecek) olmasıdır. Bu nedenle yalnızca elindeki anahtar sayesinde hangi kuantum ölçümlerini yapması gerektiğini bilen biri tarafından ve yalnızca bir kez okunabilir.

Dolanıklık, evrenin bizim yaptığımız ölçümlerden bağımsız bir şekilde var olduğu kabulünün yanlış olduğunu söyler. Uzayda sabit hiçbir nesne yoktur – yalnızca bilgi vardır. Biz yalnızca dünyamız hakkında bilgi toplayabilir ve onu bize anlamlı gelecek şekilde düzenleyebiliriz. Evren bir enformasyon denizidir; bizim ona yüklediğimiz biçim ikincil önemdedir.

» fikrin özü
Anında mesajlaşma

30 Pauli Dışlama İlkesi

Pauli dışlama ilkesi maddelerin neden katı ve geçirimsiz olduğunu, yani neden yerin içine düşmediğimizi, neden elimizin masanın içinden geçmediğini açıklar. Ayrıca nötron yıldızları ile beyaz cücelerin varlıkları da yine bu ilkeyle açıklanır. Wolfgang Pauli'nin kuralları elektronlar, protonlar ve nötronlar için geçerlidir. Dolayısıyla tüm maddeleri etkiler. Bu ilkeye göre bu parçacıklardan hiçbiri aynı anda aynı kuantum sayısını taşıyamaz.

Maddeye katılığını veren nedir? Atomlar büyük ölçüde boşluktan oluşur. Öyleyse onları neden sünger gibi sıkamıyoruz? Veya maddeler birbirlerinin içinden neden geçemiyor? Maddelerin uzayda neden yer kapladığı, fiziğin en derin sorularından biridir. Eğer öyle olmasaydı, Dünya'nın merkezine doğru düşer ya da yere batardık. Binalar da kendi ağırlıkları altında ezilirdi.

Aynısı olmaz Wolfgang Pauli'nin 1925'te geliştirdiği Pauli dışlama ilkesi, atomların neden uzayın aynı noktasında birlikte bulunamayacağını açıklar. Pauli atomların ve parçacıkların kuantum davranışlarının aslında aynı dalga fonksiyonlarına, yani aynı kuantum özelliklerine sahip olmalarını yasaklayan belli kurallardan kaynaklandığını ileri sürmüştür. Pauli bu ilkeyi elektronların atom içindeki davranışlarını açıklamak için geliştirmişti. Elektronların çekirdeğin çevresindeki belli enerji düzeylerinde (yani kabuklarda) bulunmayı yeğlediği biliniyordu. Ama elektronlar bu kabuklara dağılmış olarak bulunabiliyor, asla en alt enerji düzeyindeki kabukta yığılmıyorlardı. Kabukları Pauli'nin ortaya koyduğu kurala göre dolduruyorlardı.

dönem

1925
Pauli dışlama ilkesini açıklar.

1933
Nötron keşfedilir ve nötron yıldızlarının varlığı öngörülür.

Newton fiziğinin kuvvet, momentum ve enerji terimleriyle ifade edilmesi gibi, kuantum mekaniğinin de kendine özgü bir dizi parametresi vardır. Örneğin kuantum spin denen şey, açısal momentumun karşılığı gibidir ama kuantize olmuştur ve yalnızca belli değerler alabilir. Schrödinger denkleminin çözülmesiyle herhangi bir parçacığı tanımlayan dört kuantum sayısı elde edilir: üç uzam koordinatı ve bir de spin. Pauli'nin kuralına göre bir atomda kuantum sayıları aynı olan iki elektron bulunamaz. Yani aynı özellikleri taşıyan iki elektron asla aynı anda aynı yerde olamaz. Dolayısıyla atomun elektron sayısı arttıkça –daha ağır atomlarda– elektronlar kendileri için ayrılmış yerleri doldurur ve giderek üst kabuklarda yer alırlar. Bu biletsiz bir tiyatroda koltukların izleyiciler tarafından sahne önünden başlayarak arka sıralara doğru doldurulmasına benzer.

Fermiyon Pauli'nin kuralı yalnız elektronlar için değil, kuantum spini yarı-tamsayı katları olan her parçacık için geçerlidir ki bunlara proton ve nötronlar da dahildir. Bu parçacıklar İtalyan fizikçi Enrico Fermi'nin adıyla "fermiyon" olarak anılır. Fermiyonların Schrödinger denkleminde ifade edildiği gibi pozitiften negatife değişen asimetrik dalga fonksiyonları vardır. Spinin de bir yönü olur; dolayısıyla ters spinli fermiyonlar yan yana durabilir. Spinleri ters iki elektron, atomun en düşük enerji düzeyinde yan yana yer alabilir.

Maddenin temel yapıtaşları olan elektron, proton ve nötronların hepsi fermiyon olduğundan, aslında Pauli dışlama ilkesi bütün atomun davranışını belirler. Bu parçacıklardan hiçbirinin kuantum enerji durumu bir diğerinin aynısı olamayacağı için atomlar doğaları gereği serttir. Değişik enerji kabuklarına dağılmış olan elektronlar çekirdeğe en yakın kabuğa yığılamaz. Gerçekte böyle bir yığılmaya karşı büyük bir basınçla direnirler. Yani iki fermiyon asla tiyatronun aynı koltuğuna oturamaz.

Kuantum çöküş Nötron yıldızları ve beyaz cücelerin varlıkları Pauli'nin dışlama ilkesinden kaynaklanır. Bir yıldız yaşamının sonuna

1967

Bir tür nötron yıldızı olan ilk pulsar keşfedilir.

Wolfgang Pauli 1900-59

Wolfgang Pauli bulduğu dışlama ilkesi ve nötrinoların varlığını öngörmesiyle bilinir. Avusturyalı Pauli yaşıtlarından oldukça ileride bir öğrenciydi; Einstein'ın makalelerini okur, görelilik üzerine makaleler yazardı. Heisenberg onu kafelerde çalışan ve sabahki derslere pek katılmayan bir gece kuşu olarak tanımlamıştır. Pauli'nin birçok kişisel sorunu vardı. Annesi intihar etmişti ve kendisi de kısa süren bir evlilik yapmıştı. Ayrıca içki problemi vardı. İsviçreli psikolog Carl Jung'a başvurmuştu. Jung, Pauli'nin binlerce rüyasını kaydetti. Evlendiğinde Pauli biraz toparladı ama bu kez de İkinci Dünya Savaşı patlak verdi. Amerika'dayken Avrupa'da bilimi canlı tutmaya çabaladı. Savaştan sonra Zürih'e döndü ve 1945'te Nobel Ödülü'nü aldı. Sonraki yıllarda kuantum mekaniğinin daha felsefi yanlarıyla ilgilendi ve psikoloji ile paralelliklerini araştırdı.



Dünya



Beyaz cüce



Nötron yıldızı

geldiğinde yakacak yakıtı kalmaz ve içine çöker. Kendi muazzam kütleçekim kuvveti tüm gaz tabakalarını merkeze doğru çeker. Yıldız çökerken gazın bir bölümü patlayabilir (süpernovalarda olduğu gibi) ama merkezde kalan madde daha da sıkışır. Atomlar çöküp birbirlerine yaklaştıkça elektronlar bu sıkışmaya direnir. Pauli'nin dışlama ilkesini ihlal etmeden en içteki enerji düzeylerini kaplarlar ve bu oluşan "dejenere elektron basıncı" tek başına yıldıza destek olur. Beyaz cüceler yaklaşık Güneş kütlesinde ama Dünya kadar bir hacme sıkışmış yıldızlardır. Öylesine yoğundurlar ki bir kesme şeker kadar beyaz cüce maddesi bir ton ağırlığında olabilir.

Daha büyük yıldızlar, özellikle kütlesi 1,4 Güneş kütlesinden (buna Chandrasekhar kütle sınırı denir) daha büyük olanlar için sıkışma burada durmaz. İkinci bir süreçte protonlar ile elektronlar birbirlerine kaynar ve nötronlara dönüşür. Bütün yıldız yalnızca birbirine sımsıkı kenetlenmiş nötronlardan oluşan bir top haline gelir.

Nötronlar da fermiyon olduğu için aynı kuantum durumunda bulunamazlar. Dejenere basınç, yıldızı bir kez daha ayakta tutar ama yıldız, hacmi yaklaşık 10 km çaplı bir küreye dönüşmüştür. Güneş ya da birkaç Güneş kütlesi, Manhattan uzunluğunda bir kürenin içine sıkışmıştır. Nötron yıldızları o

"Taban durumunda bulunan bir atomun tüm elektronlarının neden en içteki kabukta toplanmadığı sorusu, temel bir sorun olarak Bohr tarafından vurgulanmıştır... Bu olgunun klasik mekaniğe dayanan hiçbir açıklaması yapılamaz."

Wolfgang Pauli, 1945

kadar yoğundur ki kesme şeker büyüklüğünde bir parçası yüz milyon tondan daha ağır olur. Kütleçekimin bundan da büyük olduğu çok büyük yıldızlarda sıkışma daha da ileri gider ve en sonunda bir kara delik oluşur.

Bozon Pauli'nin kuralı yalnızca fermiyonlar için geçerlidir. Bir parçacığın spini, temel spin biriminin tam katıysa ve dalga fonksiyonu da simetrikse, bu tür parçacıklara "bozon" denir (Hintli fizikçi Satyendra Nath Bose'un adından). Fotonlar gibi temel kuvvetlere ilişkin parçacıklar ve helyumunki gibi simetrik çekirdekler bozondur (Helyumun çekirdeği iki proton, iki nötron içerir). Bozonlar aynı kuantum durumunu paylaşabilir ve bu da eş-güdümlü grup davranışlarına yol açar. Örneğin lazerde aynı renkten çok sayıda foton birlikte hareket eder.

İlk olarak Bohr'un atom resminin bir uzantısı olarak ortaya konan Pauli dışlama ilkesi, Heisenberg ile Schrödinger'in savunduğu kuantum kuramının büyük atılımından hemen önce ortaya çıkmıştır. Atom dünyasına yönelik araştırmalar için temel önemdedir ve kuantum mekaniğinin büyük bölümünün tersine, elle tutulur sonuçları vardır.

» fikrin özü
Bu koltuk boş mu?

31 Süper İletkenlik

Çok düşük sıcaklıklarda bazı metaller ve alaşımlar elektriği hiçbir direnç göstermeden iletir. Akım bu süper iletkenlerin içinden hiç enerji kaybına uğramadan milyarlarca yıl boyunca akabilir. Elektronlar eşleşip çift oluşturduğu ve elektriksel dirence yol açan çarpışmalardan kaçınacak şekilde hep birlikte ilerledikleri için devridaim yaparlar.

Cıva mutlak sıfırın birkaç derece üstüne kadar soğutulduğunda elektriği hiç direnç göstermeden iletir. Bunu Hollandalı fizikçi Heike Onnes 4,2 K (mutlak sıfırın bir buçuk kelvin üzeri) sıcaklığındaki sıvı helyumun içine cıvadan bir kablo soktuğunda keşfetmiş, akıma hiç direnç göstermeyen ilk süper iletken malzemeyi bulmuştur. Kısa bir süre içinde kurşun gibi bazı metallerle niyobyum nitrit gibi birtakım bileşiklerin de soğutulduğunda benzer davranış sergiledikleri gözlenmiştir. Değişik bazı malzemeler için farklı eşik sıcaklıkların altında direnç tamamıyla ortadan kalkar.

Devridaim Direncin sıfır olmasının sonucu olarak, akım bir süper iletkenin içinde sonsuza dek akabilir. Laboratuvarda bu şekilde kapalı bir devrede akımın yıllardır akması sağlanmıştır. Biliminsanlarına göre bu akış hiç enerji kaybına uğramadan milyarlarca yıl da sürebilir. Biliminsanları devridaime (sonsuz hareket) çok yaklaşmıştır.

Grup davranışı Fizikçiler düşük sıcaklıklarda böyle büyük bir geçişin olması karşısında şaşırmışlardı. Bir eşik sıcaklığın oluşu, akla hızlı bir faz değişimini getiriyordu. Bunun üzerine elektronların metal içindeki kuantum davranışlarını araştırmaya başladılar. Kuantum mekaniği sayesinde bazı ipuçları elde edilmeye başlanınca 1950'lerde çeşitli fikirler ortaya atıldı. 1957'de Amerikalı fizikçiler John Bardeen, Leon Cooper ve John Schrieffer

dönem

1911	1925	1933	1940'lar
Onnes süper iletkenliği keşfeder.	Bose-Einstein yoğuşmaları öngörülür.	Süper iletkenlerin manyetik alanları ittiği gösterilir.	Süper iletken bileşikler keşfedilir.

Süper akışkanlar

Süper akışkanlar viskozitesi olmayan, yani akarken hiç sürtünme oluşturmayan akışkanlardır. Bu yüzden örneğin bir borunun içinden sürtünmeye yol açmadan sonsuza dek akabilirler. Süper akışkanlık 1930'lu yıllardan beri biliniyor. Bu tür akışkanlara bir örnek, süper-soğutulmuş helyum-4'tür (iki proton, iki nötron ve iki elektrondan oluşur ve atom ağırlığı 4'tür). Helyum-4 atomları fermiyon çiftlerinden oluşan bozonlardır.

Süper akışkanlar bir kaba konduklarında çok garip davranır – kabın kenarından yukarı doğru bir atom kalınlığında bir tabaka halinde akabilirler. Eğer içine kılcal bir boru konur ve ısıtılırsa, bir fıskiye yapılabilir, çünkü süper akışkanlar sıcaklık gradyanı tutamazlar (sonsuz ısı iletkenlikleri olduğundan iki noktası arasında sıcaklık farkı oluşturulamaz) ve ısı, anında basınç değişimine neden olur. Eğer bir kova süper akışkanı kendi çevresinde döndürmeye çalışırsanız (bkz. s. 4) yine garip bir şey olur. Viskozitesi olmadığı için akışkan dönmez ve öylece durur. Kovayı daha hızlı çevirirseniz, bir eşik hızda süper akışkan da dönmeye başlar. Hızı kuantizedir (kesikli), çünkü süper akışkanlar yalnızca belli hızlarda dönerler.

metallerdeki ve basit alaşımlardaki süper iletkenliği açıklayan bütünlüklü ve akla yatkın bir teori ortaya attı. Buna artık BCS teorisi deniyor. Bu teoriye göre, süper iletkenliğe yol açan şey, elektronların birbirlerine çiftler halinde bağlandığı zaman gösterdikleri garip davranışlardır.

Cooper çiftleri olarak adlandırılan elektron çiftleri, birbirlerini bağlayan titreşimler üzerinden metal atomlarının kafes yapısıyla etkileşir. Metallerde kafes yapısında bir arada duran pozitif yüklü çekirdekler ve bunların çevresinde serbestçe dolaşan bir elektron "denizi" vardır. Metaller çok soğutulduğunda, pozitif yüklerin oluşturduğu kafes de sabit durduğundan, geçmekte olan eksi yüklü bir elektron kafesin artı noktalarını hafifçe kendine çeker ve dalga gibi titreştirir. Yakından geçen bir başka elektron azıcık daha yoğun artı yüklü bu bölge tarafından çekilebilir ve iki elektron

1957
BCS süper iletkenlik teorisi ortaya atılır.

1986
Yüksek sıcaklık süper iletkenleri yaratılır.

1995
Bose-Einstein yoğuşması laboratuvarda gerçekleştirilir.

Bose-Einstein yoğuşmaları

Ultra düşük sıcaklıklarda bozon grupları çok tuhaf davranışlar sergiler. Mutlak sıfıra çok yakın bir sıcaklıkta birçok bozon aynı kuantum durumunda bulunabilir ve böylece kuantum davranışları daha büyük bir ölçekte izlenir hale gelir. İlk kez Hintli fizikçi Satyendra Nath Bose'un fikirlerine dayanarak Albert Einstein tarafından 1925'te öngörülmüşlerdir. Bu nedenle Bose-Einstein yoğuşmaları (BEC) olarak adlandırılırlar. 1995'e kadar laboratuvar ortamında yaratılamamışlardır. Colorado Üniversitesi'nden Eric Cornell ile Carl Wieman ve kısa bir süre sonra da MIT'den Wolfgang Ketterle bir kelvinin milyarda 170'i kadar soğuttukları rubidyum gazı atomlarında bu davranışı gözlemlemiştir. BEC halinde kümelenmiş atomların hepsinin hızı aynıdır; yalnızca Heisenberg belirsizlik ilkesiyle bulanıklaşmıştır. BEC'ler süper akışkanlar gibi davranır. Bozonlar birbirleriyle aynı kuantum durumunu paylaşabilir. Einstein, çok düşük bir sıcaklığa soğutulan bozonların en düşük enerjili kuantum durumuna düşeceği (yoğuşacağı) ve yeni bir madde halinin ortaya çıkacağı yorumunu yapmıştı. BEC yapısı çok kolay bozulduğundan pratik uygulamalar için henüz erken olsa da kuantum mekaniğiyle ilgili olarak onlardan pek çok şey öğrenebiliriz.

eşleşerek bir çift meydana getirir. İkinci elektron birincinin peşinden gider. Aynı şey başka elektronların da başına gelir ve metalin içinde çok sayıda senkronize elektron çifti birbirine bağlanmış halde ilerleyerek bir dalga deseni oluşturur.

Tek bir elektron Pauli dışlama ilkesine uymak zorundadır; tüm fermiyonlar gibi elektron da bir başka elektronla aynı kuantum konumunda bulunamaz. Birden fazla elektron eğer aynı bölgedeyse, birbirlerinden farklı enerjileri olması gerekir. Bir atomda veya metalde normalde olan da budur. Ama elektronlar eşleşerek çiftler oluşturup tek bir parçacık gibi hareket ettiklerinde, artık böyle davranmazlar. Toplam dalga fonksiyonları simetrikleşmiştir ve birlikte artık fermiyon değil, bozondurlar. Ve elektron çiftleri bozon olarak aynı en düşük enerjiyi paylaşabilir. Bunun sonucunda metaldeki serbest elektronlara göre çiftler halindeki elektronların toplam enerjileri biraz daha düşük olur. Eşik sıcaklığındayken özelliklerdeki ani geçişi yaratan şey bu enerji farkıdır.

Kafesin ısı enerjisi bu enerji düşüşünden daha azsa, süper iletkenliğin ayırt edici özelliği olan kafes titreşimleriyle eşleşmiş elektron çiftlerinin düzenli

akışını görürüz. Kafes dalgaları, kafes boyunca giden uzun mesafelerde harekete yol açabildiği için hiç direnç olmaz – tüm elektron çiftleri birbirlerine göre ilerlemektedir. Sabit kafes atomlarıyla çarpışmak zorunda kalmayan elektron çiftleri, hiçbir engelle karşılaşmadan akan süper akışkanlar gibi davranır. Daha yüksek sıcaklıklarda Cooper çiftleri kopup ayrılır ve bozon benzeri özelliklerini yitirirler. Elektronlar artık sıcak ve titreşen kafes iyonlarıyla çarpışabilir ve elektriksel direnç yaratabilir. Elektronlar eşgüdümlü bozon akışından aksayan fermiyon akışına geçtiğinde (veya tersi olduğunda) bu hızlı dönüşüm hal değişimine neden olur.

Sıcak süper iletkenler 1980'lerde süper iletken teknolojisi büyük ivme kazandı. 1986'da İsviçreli araştırmacılar görece yüksek sıcaklıklarda süper iletkenleşen yeni bir seramik malzeme sınıfı keşfettiler. Bunlara yüksek sıcaklık süper iletkenleri adı verildi. Lantan, baryum, bakır ve oksijen karışımı olan (bakır oksitler ya da kuprat tuzları diye bilinen) ilk bileşikleri 30 kelvinde süper iletken özellikleri göstermeye başlıyordu. Bir yıl sonra yaklaşık 90 kelvinde (yani soğutucu olarak yaygın biçimde kullanılan sıvı azottan bile daha sıcak) süper iletkenleşen bir malzeme tasarlandı. Perovskit temelli seramikler ile (talyum katkılı) cıva kuprat kullanılarak süper iletken eşik sıcaklıkları artık 140 kelvin dolaylarına, hatta yüksek basınç altında daha da yukarılara çıkarıldı.

Bu tür seramiklerin aslında yalıtkan olması gerektiği için bu durum oldukça şaşırtıcıydı. Fizikçiler yüksek sıcaklık süper iletkenliğini açıklayan yeni bir teori bulmaya çalışıyor. Bunları geliştirmek fiziğin hızla gelişen ve elektronikte devrim yaratacak alanlarından biri.

Süper iletkenler ne işe yarar? Hastanelerdeki MR cihazlarında ve parçacık hızlandırıcıda kullanılan güçlü mıknatısların yapımında kullanılırlar. Bir gün daha verimli transformatörlerin ve havada ilerleyen manyetik trenlerin yapımında kullanılabilirler. Halihazırda ultra düşük sıcaklıklarda çalıştıkları için kullanım alanları sınırlı ama yüksek sıcaklık süper iletkenlerine yönelik araştırmaların çok çarpıcı sonuçları olabilir.

» fikrin özü
Direnmek nafile

32 Rutherford Atomu

Atomlar bir zamanlar düşünüldüğü gibi maddenin en küçük yapıtaşları değildir. 20. yüzyılın başında Ernest Rutherford gibi bazı fizikçiler onların da içine girmeyi başarmış, elektronlardan oluşan tabakaları ve protonlar ile nötronlardan oluşan sert merkezi, yani çekirdeği ortaya çıkarmışlardır. Çekirdeği bir arada tutan yeni bir temel kuvvet –güçlü çekirdek kuvveti– keşfedilmiştir. Atom çağı başlamıştır.

Maddenin çok küçük atomlardan oluştuğu fikrinin tarihi Eski Yunan'a dek uzanır. Ancak Eski Yunanlar atomun maddenin bölünemez en küçük birimi olduğunu düşünüyordu. 20. yüzyılın fizikçileri ise böyle olmadığını göstermiş ve atomun iç yapısını araştırmaya başlamışlardır.

Meyveli kek modeli İlk iş elektronu anlamak olacaktı. Elektronlar ilk kez 1887'de Joseph John Thomson tarafından bir cam tüpteki gazın içinden elektrik akımı geçirilerek serbest bırakılmıştı. 1904'te Thomson "meyveli kek modeli" olarak bilinen atom modelini ortaya attı. Bu modele göre elektronların kuru meyve parçaları gibi, artı yüklü bir hamurun içine serpiştirilmiş eksi yükler olduğu düşünülüyordu. Thomson'ın atomu özünde artı yüklü bir buluttan ve onun içine dağılmış ve kolay biçimde serbest kalabilen elektronlardan oluşuyordu. Elektronlar ve artı yükler "kek"in içinde karışık haldeydi.

Çekirdek Kısa bir süre sonra, 1909'da Ernest Rutherford yaptığı bir deneyde şaşırtıcı bir sonuçla karşılaştı. Altından yapılma çok ince bir folyoya ağır alfa parçacıkları fırlatınca, parçacıkların çok büyük bölümü folyonun içinden

dönem

1887	1904	1909
Thomson elektronu keşfeder.	Thomson meyveli kek modelini ortaya atar.	Rutherford altın folyo deneyini yapar.

Ernest Rutherford 1871-1937

Yeni Zelandalı Rutherford tam bir modern zaman simyacısıydı. Radyoaktiviteyle bir elementi bir başka elemente –azotu oksijene– dönüştürmeyi başarmıştı. İngiltere'de Cambridge'teki Cavendish Laboratuvarı'nın esin veren yöneticisi olarak geleceğin birçok Nobel Ödüllü fizikçisine danışmanlık yaptı. Takma adı olan "timsah", bugün laboratuvarın simgesi haline gelmiştir. Alfa parçacıklarının saçılmasına ve atomun iç yapısına yönelik araştırmalarının sonucunda 1910'da atom çekirdeğinin varlığını ortaya çıkardı.

geçti. Rutherford'u hayrete düşüren şeyse çok küçük bir bölümünün geri sekmiş olmasıydı. Sanki beton bir duvara çarpmışlar gibi yönleri 180 derece değişmişti. Rutherford altın folyoyu oluşturan atomların içinde ağır alfa parçacıklarını geri sektirecek denli sert ve kütleli bir şeylerin olduğunu fark etti.

Rutherford, Thomson'ın meyveli kek modelinin bu durumu açıklayamayacağını anladı. Eğer atomlar artı ve eksi yüklü parçacıkların karışımı şeklinde bir hamur olsaydı, hiçbiri ağır alfa parçacıklarını geri sektirecek denli ağır olamazdı. Bu nedenle altın atomlarının merkezinin yoğun olması gerektiği sonucuna vardı ve bu merkeze Latince'de kabuklu yemişlerin içi anlamına gelen "nükleus" (çekirdek) adını verdi. Böylece nükleer fizik, yani atom çekirdeğinin fiziği başlamış oldu.

İzotop Fizikçiler periyodik tablonun değişik elementlerinin kütlelerini nasıl hesaplayacaklarını biliyorlardı. Dolayısıyla elementlerin birbirlerine göre ağırlıklarını da biliyorlardı. Ama yüklerin nasıl düzenlendiğini anlamak daha zordu. Rutherford yalnızca elektronların ve artı yüklü bir çekirdeğin varlığından haberdar olduğundan, yükleri dengelemek için çekirdeğin protonlardan ve biraz da elektrondan meydana geldiğini varsaydı. Pozitif yüklü protonları 1918'de hidrojenin

"O kadar akılalmazdı ki, 40 santim çapında bir güllenin tek kat tuvalet kağıdına çarpıp sekmesi gibi bir şeydi."
Ernest Rutherford, 1936

1911 Rutherford çekirdek modelini önerir.

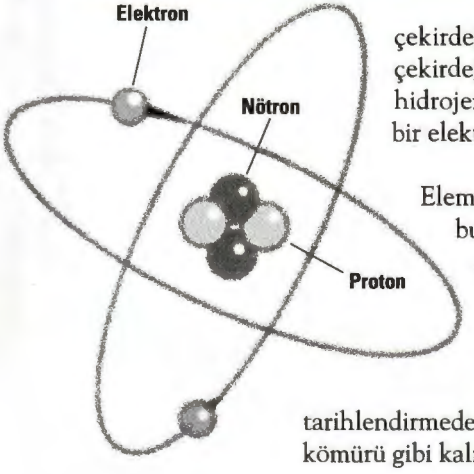
1918 Rutherford protonu izole eder.

1932 Chadwick nötronu keşfeder.

1934 Yukawa güçlü çekirdek kuvvetini ortaya atar.

Türünün üç örneği

Radyoaktif maddeler üç tür ışınım (radyasyon) yayar. Bunlara alfa, beta ve gama ışınımı denir. Alfa ışınımında birbirlerine bağlı iki proton ve iki nötrondan oluşan ağır helyum çekirdekleri fırlatılır (yayılır). Ağır oldukları için alfa parçacıkları çarpışmalarda enerjilerini kaybeder ve çok uzağa gidemez. Kolaylıkla hatta bir parça kağıtla bile durdurulabilirler. İkinci tür ışıma beta parçacıklarıyla yapılır. Bunlar yüksek hızlı elektronlardır – çok hafiftirler ve eksi elektrik yüklüdürler. Beta parçacıkları alfa ışımasından daha uzağa gider ama metallerle, örneğin alüminyum bir levha ile durdurulabilirler. Üçüncü ışımayı gama ışınları oluşturur. Bunlar elektromanyetik dalgalardır; yani fotonlardır, kütleleri yoktur ve büyük bir enerji taşırlar. Gama ışınları nesnelerin içinden geçebilir ve yalnızca betondan ya da kurşundan kalın duvarlarla durdurulabilirler. Üç tür ışıma da radyoaktif denen kararsız atomlardan yayılır.



çekirdeğini ayırarak kendisi keşfetmişti. Geri kalan elektronlar çekirdeğin çevresinde dönüyor olmalıydı. En hafif element olan hidrojenin çekirdeğinde tek bir proton vardır ve çevresinde tek bir elektron döner.

Elementlerin sıra dışı ağırlıkta başka biçimleri de biliniyor ve bunlara izotop deniyordu. Karbon genellikle 12 atom birimi ağırlığında olur ama bazen 14 atom birimi ağırlığında olanlarına da rastlanır. Karbon-14 kararsızdır ve 5730 yıllık bir yarılanma ömrü (atomlarının yarısının parçacıklar yayarak bozunması için geçen süre) vardır. Beta parçacıkları yayarak azot-14'e dönüşür. Bu tepkimeden radyokarbon tarihlendirmede yararlanılır, binlerce yıl öncesinden kalma odun ve odunkömürü gibi kalıntıların yaşları hesaplanır.

Nötron 1930'lu yılların başında elektriksel yükü olmayan ama parafindeki protonları serbest bırakacak denli de ağır olan yeni bir tür ışıma (radyasyon) keşfedildi. Cambridge fizikçilerinden James Chadwick bu yeni ışımanın gerçekte protonla aynı kütlede, nötr bir parçacık olduğunu gösterdi. Ona nötron adı verildi ve atom modeli yeniden düzenlendi. Biliminsanları, örneğin, karbon-12'nin çekirdeğinde 6 proton ve 6 nötron bulunduğunu (bunların ona 12 atom birimlik bir kütle kazandırdığını) ve çekirdeğin çevresinde dönen 6 elektron olduğunu, fark ettiler. Nötronlar ve protonlar aynı zamanda nükleon olarak da bilinir.

"Atomlardan ve boşluktan başka bir şey yoktur; geri kalan her şey düşüncelerdir."

Demokritus, iö 460-370

Güçlü kuvvet Elektronların bulunduğu bölge göz önüne alındığında atomun hacmine göre çekirdeğin boyutu çok küçük kalır. Atomun yüz binde biri büyüklüğündeki çekirdeğin çapı yalnızca birkaç femtometredir (10^{-15} metre yani bir metrenin milyonda birinin milyarda biri kadar). Eğer bir atom büyütülüp Dünya boyutuna getirilebilseydi merkezdeki çekirdeğin çapı 10 kilometre yani Manhattan kadar olurdu. Çekirdek atomun bütün kütlesini tek bir noktada toplar ve onlarca proton içerebilir. Bütün bu artı yükleri böyle küçük bir hacimde sıkıca bir arada tutan nedir? Fizikçiler, çekirdekteki artı yüklerin elektrostatik itmesinin üstesinden gelen ve çekirdeği bir arada tutan yeni bir tür temel kuvvet icat ettiler ve ona güçlü çekirdek kuvveti adını verdiler.

Eğer iki proton birbirine yaklaştırılırsa, yüklerinin aynı olmasından dolayı ilk önce birbirlerini (Maxwell'in ters kare yasası gereği) iterler. Ama birbirlerine daha da yaklaştırılırlarsa, güçlü çekirdek kuvveti onları birbirine bağlar. Güçlü kuvvet çok küçük mesafelerde etkilidir ama elektrostatik kuvvetten çok daha güçlüdür. Protonlar birbirlerine doğru biraz daha itilirlerse, bu kez (katı kürelermiş gibi) daha fazla yakınlaşmaya karşı direnç gösterirler. Dolayısıyla birbirlerine ne kadar yakın olabileceklerini belirleyen katı bir sınır vardır. Bu davranış, çekirdeğin sıkıca kenetlenmiş, çok yoğun ve kaya gibi olduğunu gösterir.

1934'te Hideki Yukawa bu çekirdek kuvvetinin mezon denen ve fotonlara benzer bir şekilde davranan özel parçacıklarla taşındığını ileri sürdü. Protonlar ile nötronlar mezon alışverişiyle birbirlerine yapışık duruyorlardı. Güçlü çekirdek kuvvetinin böyle özel bir mesafede işliyor oluşu –çekirdeğin dışında neden çok zayıf ve kısa mesafede neden bu denli güçlü olduğu– hâlâ gizemini korumaktadır. Nükleonları yalnızca belli bir mesafede birbirlerine bağlıyormuş gibidir. Kütleçekim, elektromanyetizma ve zayıf çekirdek kuvveti ile birlikte güçlü çekirdek kuvveti dört temel kuvvetten biridir.

» fikrin özü
Sert çekirdek

33 Antimadde

Bilimkurgu eserlerinde uzay gemileri genellikle "antimadde motorları" ile çalışır. Aslında antimadde gerçek bir olgudur ve hatta Dünya'da yapay olarak da üretilmiştir. Maddenin ayna görüntüsü olan ve eksi enerji taşıyan antimadde ile madde uzun süre bir arada bulunamaz. Birbirlerine temas ettiklerinde bir enerji parlamasıyla yok olurlar. Antimaddenin varlığı parçacık fiziği araştırmalarının derinliklerindeki simetrilerde gizlidir.

"Her bir milyar antimadde parçacığına karşılık bir milyar bir tane madde parçacığı vardı. Ve birbirlerini yok ettiklerinde geriye milyarda birlik farkla madde kaldı. İşte, o da şu anki Evren'imizdir."

Albert Einstein, 1879-1955

Sokakta yürürken kendi kopyanızla karşılaştınız. Bu sizin antimadde ikiziniz. Tokalaşır mısınız? Antimaddenin varlığı 1920'li yıllarda öngörülmüş ve 1930'lu yıllarda kuantum kuramı ile görelilik bir araya getirildiğinde keşfedilmiştir. Antimadde, maddenin ayna görüntüsüdür. Yani parçacıkların yükü, enerjileri ve kuantum özellikleri hep ters işaretlidir. Dolayısıyla pozitron denen bir karşı elektron, elektronla aynı kütlede ama artı elektrik yüklüdür. Benzer bir şekilde protonların ve diğer parçacıkların da kendi zıtları olan antimadde kardeşleri vardır.

Eksi enerji İngiliz fizikçi Paul Dirac 1928'de elektron için bir denklem yaratmaya çalışırken elektronların eksi enerjileri olduğu gibi artı enerjileri olma olasılığı bulunduğunu da fark etti. Tıpkı $x^2 = 4$ denkleminin $x = 2$ ve $x = -2$ gibi iki çözümü olduğu gibi, bu problemi çözmek için Dirac'ın da iki yolu vardır: Artı enerji normal elektronla ilgili ve umulan şeydi ama eksi enerji anlamsızdı. Ancak Dirac bu akıl karıştırıcı durumu göz ardı etmek yerine bu tür parçacıkların gerçekten var olduğunu düşünmeyi tercih etti. Bu tümleyici madde hali, "karşı" maddedir.

Karşı parçacıklar Antimadde avı hemen başlamıştır. 1932'de Carl Anderson pozitronların varlığını deneysel olarak gösterdi. Kozmik

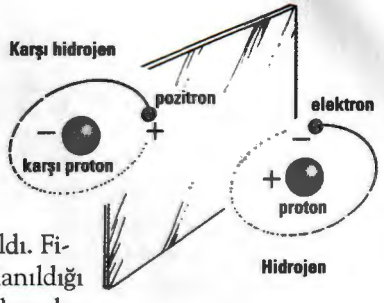
dönem

1928

Dirac antimaddenin var olması gerektiğini ortaya koyar.

1932

Anderson pozitronu saptar.



ışınların (uzaydan gelip atmosfere çarpan yüksek enerjili parçacıkların) ürettiği parçacık sağanaklarının oluşturduğu izleri gözledi. Elektron kütlesinde artı yüklü bir parçacığın, pozitronun bıraktığı izi saptadı. Böylece antimadde artık soyut bir fikir olmaktan çıktı ve gerçek bir olgu olduğu anlaşıldı.

Bir sonraki karşı parçacığın; karşı protonun saptanması yirmi yıl aldı. Fizikçiler parçacıkların hızını arttırmak için manyetik alanların kullanıldığı yeni parçacık hızlandırıcıları inşa ettiler. Hızlandırılmış protonlardan oluşan böylesi güçlü ışınlar karşı protonu ortaya çıkaracak yüksek enerjilere ulaşabiliyordu. 1955'te karşı proton ve ondan kısa bir süre sonra da karşı nötron bulundu.

Acaba elde antimaddenin yapıtaşları varken bir karşı atom ya da en azından bir karşı çekirdek yapılabilir miydi? 1965'te bu sorunun yanıtının evet olduğu gösterildi. Hem Avrupa'da CERN'deki hem de ABD'de Brookhaven Laboratuvarı'ndaki biliminsanları bir karşı proton ve bir karşı nötrondan oluşan, bir ağır hidrojen (döteryum) karşı çekirdeği (karşı döteron) yaratmayı başardılar. Bir pozitronu bir karşı protona tutturarak bir hidrojen karşı atomu (karşı hidrojen) yapmak biraz daha uzun sürdü ama 1995'te o da yaratıldı. Günümüzde deneysel fizikçiler karşı hidrojenin normal hidrojenle aynı şekilde davranıp davranmadığını araştırıyor.

Fizikçiler İsviçre'de CERN'de ya da Şikago yakınlarındaki Fermilab'da bulunan parçacık hızlandırıcılarıyla antimadde yaratabiliyorlar. Parçacıklardan ve karşı parçacıklardan oluşan ışınlar karşılaştıklarında saf enerjiye dönüşüp bir parlamayla yok oluyor. Kütle, Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre enerjiye dönüşüyor. Yani eğer antimadde ikizinizle karşılaşırsanız, birbirinize sarılmak pek de iyi bir fikir olmaz.

Evrensel simetriler Eğer antimadde bütün Evren'e dağılmış olsaydı, bu yok olma olayları sürekli gerçekleşiyor olurdu. Madde ve antimadde küçük patlamalarla zamanla birbirlerini yok ederlerdi. Ne var ki bunlara hiç tanık olmuyoruz. Dolayısıyla Evren'de çok da fazla antimadde bulunuyor

1955	1965	1995
Karşı proton saptanır.	İlk karşı çekirdek üretilir.	Karşı hidrojen atomları yaratılır.

Paul Dirac 1902-84

İngiliz fizikçi Paul Dirac yetenekli ama biraz utangaç biriydi. Çevresindekiler onun "evet", "hayır" ve "bilmiyorum"dan oluşan sözcük dağarcığı üzerine şakalar yapardı. Bir keresinde "Okulda bana sonunu bilmediğiniz bir cümleye başlamayın diye öğretmişlerdi" demişti. Konuşkanlıktaki eksikliğini matematik becerisiyle telafi ediyordu. Kuantum mekaniğinin yeni bir matematiksel tanımı üzerine olan çok güçlü doktora tezi etkileyici bir kısalıktaydı. Dirac kuantum mekaniği ile göreliliği kısmen birleştirmiştir. Ama asıl manyetik monopoller üzerine olağanüstü çalışmasıyla ve antimaddeyi öngörmüş olmasıyla hatırlanır. 1933'te Nobel Ödülü'ne layık görülen Dirac ilk önce toplum önüne çıkmaktan kaçındığı için ödülü reddetmeyi düşündü. Ama asıl reddederse toplumun kendisiyle daha çok ilgileneceği söylenerek ikna edildi. Ödül törenine babasını, büyük olasılıkla kardeşinin intiharından sonra aralarındaki gerginlik nedeniyle davet etmedi.

olamaz. Gerçekte gördüğümüz kadarıyla çok büyük farkla yaygın olanlar madde parçacıklarıdır. Evren'in oluşumunun başlangıcında bir dengesizlik olmuş ve antimaddeden daha fazla madde yaratılmış olmalıdır.

"Bilimde birileri daha önce kimsenin bilmediği bir şeyi herkesin anlayacağı bir şekilde söylemeye çalışır. Şiirde de bunun tam tersi yapılır."

Paul Dirac, 1902-84

Bütün ayna görüntüleri gibi parçacıklar ile onların karşı parçacık ikizleri birbirleriyle çeşitli simetri tipleri üzerinden ilişkilidir. Bunlardan biri zamandır. Eksi enerjileri nedeniyle karşı parçacıklar matematiksel olarak normal parçacıkların zamanda geriye doğru gidenlerine karşılık gelirler. Yani bir pozitron gelecekten geçmişe doğru yolculuk eden bir elektron olarak düşünülebilir. İkinci simetri "yük konjügasyonu" olarak bilinir ve ters çevrilmiş yükler ile kuantum özelliklerini içerir. Üçüncü bir simetri uzayda hareketle ilgilidir. Mach ilkesine dönersek, uzay ızgarasını gösteren koordinatların yönünü değiştirmek hareketleri genelde etkilemez. Soldan sağa doğru ilerleyen bir parçacık sağdan sola doğru ilerleyenle aynı görünür ya da spininin saat yönünde veya tersinde olması bir şeyi değiştirmez. Bu "denklik" (parite) simetrisi parçacıkların çoğu için geçerlidir ama buna her zaman uymayan az sayıda parçacık da vardır. Nötrinolar yalnızca tek bir biçimde, solak nötrinolar olarak, (spinleri bir yönde) bulunurlar. Sağlak nötrino diye bir şey yoktur. Bunun tersi de hepsi sağlak olan karşı nötrinolar için geçerlidir. Yani denklik simetrisi bazen kırılabilir ama yük konjügasyonu ile denkliğin bir bileşimi (yük-denklik simetrisi) korunur.

"Doğru bir önermenin tersi, yanlış bir önermedir. Ama derin bir gerçekliğin tersi bir başka derin gerçeklik de olabilir."

Niels Bohr, 1885-1962

Kimyacıların bulduğu gibi bazı moleküller, bulunmaları olası şekillerden birini yeğliyor –solak ya da sağlak yapıda olmak gibi– ve Evren'in neden antimadde değil de ağırlıklı olarak madde içermeyi yeğlediği hâlâ büyük bir bilmecedir. Evren'deki varlıkların çok küçük bir bölümü –%0,001'den azı– antimaddedir. Ama Evren aynı zamanda aralarında çok fazla fotonun da bulunduğu çeşitli enerjiler içerir. Dolayısıyla Büyük Patlama'yla çok büyük miktarlarda madde ve antimadde yaratılmış ama kısa sürede bunların çoğu enerjiye dönüşüp yok olmuş olabilir. Günümüze kadar kalanlar buzdağının yalnızca tepesidir. Madde lehine çok minik bir dengesizlik onun günümüzdeki egemenliğini açıklamaya yeter. Bunun için Büyük Patlama'dan sonraki ilk saniye içinde her 10.000.000.000 (10^{10}) madde parçacığından yalnızca birinin hayatta kalmış ve geri kalanının da yok olmuş olması yeterlidir. Geriye kalan madde hafif bir asimetriyle yük-denklik simetrisi ihlalinden korunmuş gibidir.

Bu asimetri içinde yer almış olabilecek parçacık X bozonu denen ama henüz keşfedilememiş bir tür ağır bozondur. Bu büyük kütleli parçacık maddenin biraz daha fazla üretilmesini sağlayacak çok hafif bir dengesizliğe neden olacak şekilde bozunur. X bozonları protonlarla da etkileşime girip onların bozunmasına yol açıyor olabilirler – ki bu, Evren'deki bütün maddenin en sonunda çok daha küçük parçacıklardan oluşan bir sise dönüşeceği anlamına geldiği için pek iyi bir haber sayılmaz. İyi haber, bunun gerçekleşmesi için gereken zaman ölçeğinin çok büyük oluşudur. Bugüne değin hiçbir protonun bozunduğu görülmemiştir. Protonlar çok kararlıdır ve ömürleri de en azından 10^{17}-10^{35} yıldır; yani milyar kere milyar kere milyar yıl olabilir – Evren'in şu anki yaşından çok daha uzun bir süre. Ama bu yine de Evren'in çok yaşlandığında normal maddenin bile yok olma olasılığı bulunduğunu gösterir.

» fikrin özü
Maddenin ayna görüntüsü

34 Nükleer Fisyon

Nükleer fisyonun uygulanabilir olduğunun gösterilmesi bilimin iyi ve kötü yanlarının iç içe geçtiği bir dönemde gerçekleşmiştir. Onun keşfi çekirdek fiziğini anlamamız açısından çok büyük bir sıçramadır ve böylece atom enerjisi dönemi başlamıştır. Ama bu yeni teknoloji hemen nükleer silah yapımında kullanılmış, bu silahlar Japonya'nın Hiroşima ve Nagazaki kentlerini yerle bir etmiş ve çözüme kavuşması zor bir yaygınlaşma sorununun çıkmasına neden olmuştur.

20. yüzyılın başında atomun iç dünyası açığa çıkmaya başlamıştı. Tıpkı matruşka bebeklerinde olduğu gibi birçok elektron barındıran dış kabuklar sert bir çekirdeği sarıyordu. 1930'lu yılların başında çekirdeğin de içine girildi ve onun artı yüklü protonlar ile yüksüz nötronların bir karışımından oluştuğu anlaşıldı. Bunların ikisi de elektrondan çok daha ağırdı ve birbirlerine güçlü çekirdek kuvvetiyle sıkıca bağlıydılar. Çekirdeğin enerji yapışkanını çözmek biliminsanlarının çözmeye en çok çalıştığı şey oldu.

Parçalanma Çekirdeği parçalamaya yönelik başarılı ilk girişim 1932'de gerçekleşti. Cambridge'te Cockroft ve Walton bazı metallere çok hızlı protonlar fırlattılar. Metallerin bileşimi değişti ve Einstein'ın $E=mc^2$ eşitliğine uyacak şekilde enerji yaydılar. Ama bu deneylerde ortaya çıkandan daha fazla enerji, deneyi yapmak için harcanıyordu. Dolayısıyla fizikçiler bu yolla ticari kullanım için enerji elde etmenin mümkün olduğuna inanmadılar.

1938'de Alman biliminsanları Otto Hahn ve Fritz Strassmann yeni ve daha ağır elementler elde etmek için ağır element uranyuma nötron fırlattılar. Ama beklentilerinin tersine daha hafif hatta bazıları uranyumun yarı kütlesinde bazı elementlerin oluştuğunu gördüler.

Kütlesinin yüzde yarımı kadar bir şeyle bombardıman edildiğinde sanki çekirdek ikiye bölünüyordu – bu bir karpuzun, ona fırlatılan bir kirazla ikiye

dönem

1932 James Chadwick nötronu keşfeder.

1938 Atom fisyonu gözlenir.

bölünmesi gibi bir şeydi. Hahn faşist Almanya'dan kaçıp İsveç'e sürgüne giden Avusturyalı meslektaşı Lise Meitner'a yazdığı mektuplarda bu durumu anlattı. Meitner da çok şaşırdı ve bunu fizikçi yeğeni Otto Frisch ile tartıştı. Meitner ve Frisch çekirdeğin ikiye bölünmesiyle (iki yarımın toplam enerjisi daha az olduğundan) bir miktar enerjinin ortaya çıkması gerektiğini fark ettiler. Danimarka'ya dönen Frisch heyecanını yenemedi ve geliştirdikleri düşünceden Niels Bohr'a söz etti. Bir deniz yolculuğuyla Amerika'ya giden Bohr, hemen bir açıklama üzerinde çalışmaya başladı ve bu durumu Columbia Üniversitesi'ndeki İtalyan fizikçi Enrico Fermi'ye anlattı.

"... zamanla, çekirdeğin keski kullanılmış gibi ikiye bölüneceğinin düşünülmemesi gerektiği, onun yerine Bohr'un, çekirdeğin sıvı bir damlaya benzer olduğu fikrinden belki bir şeyler çıkabileceği düşüncesine ulaştık."

Otto Frisch, 1967

Meitner ve Fisch makalelerini Bohr'dan önce yayımladılar ve biyolojideki hücre bölünmesinden esinlenerek "fisyon" (bölünme) terimini fiziğe kazandırdılar. New York'ta Fermi ile sürgünde yaşayan Macar fizikçi Léo Szilárd bu uranyum tepkimesinde başıboş nötronların çıkacağını ve bunların da yeni fisyonlara neden olacağını ve bunun (kendi kendine devam eden) zincirleme bir nükleer tepkimeye dönüşeceğini fark etti. Fermi ilk zincirleme tepkimeyi 1942'de Chicago Üniversitesi'nde bir futbol stadyumunun altında gerçekleştirdi.

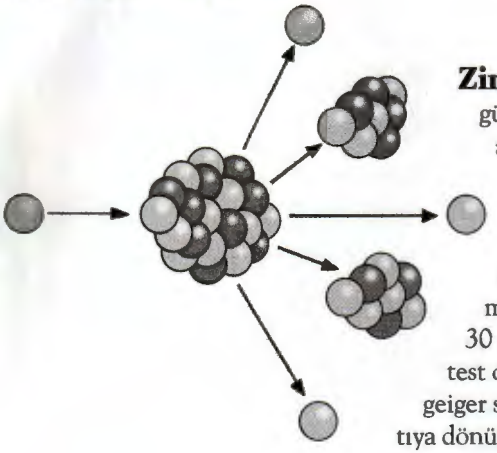
Nükleer güç

Kritik altı zincirleme tepkimeler kararlı tutulabilir ve nükleer enerji santrallerinde kullanılabilir. Borondan kontrol çubukları başıboş nötronları soğurarak nötronların uranyum yakıtının içindeki akışını düzenlerler. Ek olarak fisyon tepkimelerinde ortaya çıkan ısıyı düşürmek için bir soğutucuya gerek duyulur. Bunun için en yaygın kullanılan şey sudur. Ama basınçlı su, helyum gazı ve sıvı sodyum da kullanılabilir. Günümüzde nükleer enerji kullanımında liderliği toplam gereksiniminin %70'ini nükleer enerjiden karşılayan Fransa yapmaktadır; bu oran ABD'de ve Birleşik Krallık'ta yaklaşık %20'dir.

1942
İlk zincirleme tepkime gerçekleştirilir.

1945
Japonya'ya atom bombaları atılır.

1951
Nükleer güçten elektrik üretilir.



Zincirleme tepkime Üye fizikçi Arthur Compton o günü şöyle anımsıyor: "Balkondaki bir düzine biliminsanı aygıtları izliyor ve kontrollerle ilgileniyordu. Odanın öteki yanında zincirleme tepkimenin gerçekleşmesini umduğumuz grafit ve uranyum bloklarından küp şeklinde büyük bir yığın duruyordu. Blok yığınındaki açıklıklara kontrol ve güvenlik çubukları yerleştirilmişti. Birkaç ön testten sonra Fermi kontrol çubuğunun 30 santimetre daha geriye çekilmesini emretti. Bunun asıl test olacağını biliyorduk. Reaktörden çıkan nötronları sayan geiger sayaçları giderek hızlandılar ve sonunda sürekli bir tıkırtıya dönüştüler. Tepkime, bulunduğumuz platform için radyasyon tehlikesi oluşturana kadar büyüdü. Fermi'den 'Güvenlik çubuklarını ekleyin' emri geldi. Sayaçların tıkırtısı dindi ve teker teker duyulan "tık"lara dönüştü. Atomdaki güç ilk kez açığa çıkarılmıştı. Kontrol edildi ve durduruldu. Birileri Fermi'ye bir şişe İtalyan şarabı uzattı ve hafif bir tezahürat yükseldi."

Manhattan projesi Szilárd, Alman biliminsanlarının kendi başarılarını taklit edebileceğinden endişeleniyordu ve bu endişesini Albert Einstein ile paylaştı. İkili 1939'da Başkan Roosevelt'e ortak bir mektup yazıp onu uyardılar. Ne var ki Birleşik Krallık'taki fizikçiler nükleer bir silah yapmanın ne kadar kolay olduğunu gösteren bir hesabı 1941'de paylaşıncaya dek pek bir gelişme olmadı. Bu olay Japonların Pearl Harbor baskınıyla kesişince Roosevelt, Manhattan Projesi olarak bilinen ABD'nin nükleer bomba projesini başlattı. Projenin başında Berkeley'den fizikçi Robert Oppenheimer vardı ve proje New Mexico'da Los Alamos'taki çok gizli, ücra bir yerde yürütülüyordu.

Nükleer atık

Fisyon reaktörleri verimli birer enerji üreticisidirler ama radyoaktif atık üretirler. En zehirli ürünleri binlerce yıl radyoaktif kalabilen uranyum yakıtının kalıntıları ile yüz binlerce yıl ömrü olan (plütonyum gibi) ağır elementlerdir. Bu tehlikeli atıklar küçük miktarlarda üretilir ama madenden uranyumu çıkarmak ve başka bazı süreçler düşük düzeyde atıklardan oluşan izler bırakır. Bu atıklardan nasıl kurtulunacağı bugün bile dünya çapında tartışılan bir konudur.

"Bugünün insanlık tarihine yazılacak kara bir gün olduğunu düşünüyordum... Aynı zamanda Almanların bombaya bizden daha önce ulaşmaması için bir şeyler yapılması gerektiğinin de farkındaydım... Onu yapacak insanları vardı... Başka bir seçeneğimiz yoktu ya da başka bir seçeneğimizin olmadığını düşünüyorduk."

Léo Szilárd, 1898-1964

1942 yazında Oppenheimer'ın ekibi bomba için bir mekanizma tasarladı. Patlamaya yol açacak zincirleme tepkimeyi başlatmak için kritik bir miktarda uranyuma gerek vardı ama patlamadan önce uranyum bölünmüş olmalıydı. İki teknik üzerinde duruluyordu. Birincisi bir "silah" mekanizmasıydı. Bunda kritik kütleyi tamamlamak için konvansiyonel patlayıcılarla bir uranyum topağı diğerine çarptırılıyordu. İkinci teknikte plütonyumdan çekirdeği olan içi boş bir uranyum küre konvansiyonel patlayıcılarla plütonyum çekirdeğe (içe) doğru patlatılıyordu.

Uranyum elementi çekirdeğinde farklı sayıda nötron olan iki değişik tipte, yani iki izotop halinde bulunur. Yaygın izotop uranyum-238 diğer izotop uranyum-235'ten on kat daha boldur. Fisyon bombasında kullanılan uranyum-235'tir. Bu nedenle ham uranyum önce uranyum-235 açısından zenginleştirilir. Uranyum-238 bir nötron aldığında plütonyum-239'a dönüşür. Plütonyum-239 kararsızdır ve parçalandığında gram başına daha çok nötron üretir. Dolayısıyla plütonyum karıştırınca zincirleme tepkime kolaylıkla başlatılabilir. "Küçük Oğlan" adı verilen ilk atom bombasında "silah mekanizması" kullanılmıştır. Plütonyum içeren, içe doğru küresel patlama tekniği de "Şişman Adam" adlı ikinci atom bombasında kullanılmıştır.

6 Ağustos'ta "Küçük Oğlan" Hiroşima'ya atıldı. Üç gün sonra "Şişman Adam" Nagazaki'yi yerle bir etti. İki bomba da yaklaşık 20.000 ton dinamite eşdeğer bir patlamayla 70.000 ila 100.000 arasında insanın anında ve bir bu kadar insanın da daha sonra ölümüne yol açtı.

» fikrin özü
Atomu parçalamak

35 Nükleer Füzyon

Çevremizdeki bütün elementler, hatta bedenlerimizdekiler bile, nükleer füzyonla oluşmuştur. Hidrojenden ağır bütün elementler füzyon tepkimesiyle oluşur ve füzyon tepkimeleri tıpkı Güneş'in olduğu gibi, bütün yıldızların enerji kaynağıdır. Gerçekten de bizler yıldız tozundan oluşuruz. Eğer yıldızlara enerji veren bu güçten Dünya'da yararlanabilirsek, sınırsız temiz enerjiye ulaşabiliriz.

Nükleer füzyon hafif atom çekirdeklerinin birleşerek ağır atom çekirdekleri oluşturmasıdır. Yeteri kadar güçlü sıkıştırıldığında hidrojen çekirdekleri helyum çekirdeklerine dönüşür ve bu sırada da enerji –hem de çok büyük miktarda bir enerji– yayar. Giderek daha ağır çekirdeklerin oluşturduğu bir dizi füzyon tepkimesiyle çevremizde gördüğümüz bütün elementler sıfırdan üretilebilir.

İyice sık En hafif çekirdekler olan hidrojen çekirdeklerini bile birbirine kaynatmak olağanüstü zordur. Bunun için muazzam bir sıcaklığa ve basınca gerek vardır. Dolayısıyla doğada füzyon yalnızca Güneş'in ve diğer yıldızların içi gibi uç koşulları olan yerlerde gerçekleşir. İki çekirdeğin birleşmesi için her birini bir arada tutan kuvvetin yenilmesi gerekir. Çekirdekler güçlü çekirdek kuvvetiyle kenetlenmiş proton ve nötronlardan oluşur. Güçlü kuvvet, çekirdek gibi küçük bir ölçekte egemen kuvvettir. Çekirdeğin dışında çok zayıflar. Protonlar artı elektrik yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Ama güçlü kuvvetin yapıştırma etkisi daha güçlüdür; bu nedenle çekirdek bir bütün olarak durur.

"Sizi iki yoldan da bakmaya davet ediyorum. Yıldızların bilgisine götüren yol atomdan geçer; atomun içerdiği önemli bilgiye de yıldızlar üzerinden ulaşılmıştır."
Sir Arthur Eddington, 1928

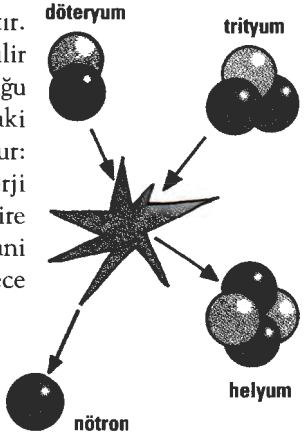
Güçlü çekirdek kuvveti böylesine kısa bir aralıkta etkili olduğuna göre küçük çekirdeklerde büyüklere oranla daha etkili olmalıdır. Uranyum gibi 238 nükleonu olan ağır bir çekirdek için çekirdeğin zıt tarafında bulunan

dönem

1920
Eddington füzyon fikrini yıldızlara uyarlar.

1932
Hidrojen füzyonu laboratuvarda gösterilir.

nükleonların birbiri üzerindeki karşılıklı çekimi pek güçlü olmayacaktır. Öte yandan elektriksel itme kuvveti daha büyük uzaklıklarda bile hissedilir ve bu nedenle büyük çekirdeklerde (bütün çekirdek boyunca etkili olduğu için) daha güçlüdür. Ayrıca büyük çekirdeklerde bulunan çok sayıdaki proton nedeniyle gücü daha da büyüktür. Bu dengenin net etkisi şudur: Çekirdeği bir arada tutmak için gereken nükleon başına düşen enerji miktarı atom ağırlığıyla birlikte çok kararlı elementler olan nikel ve demire kadar artar. Sonra da büyüyen çekirdeklerle birlikte düşmeye başlar. Yani hafif bir darbeyle bile dağılabilen ağır çekirdeklerde fisyon tepkimesi görece kolay gerçekleşir.



Füzyon için aşılması gereken enerji duvarı tek bir proton içeren hidrojen için en düşüktür. Hidrojen üç tipte bulunur. "Normal" hidrojen atomları, çevresinde bir elektronun döndüğü tek bir protondan oluşur. Ağır hidrojen denen döteryumda bir proton ve bir elektrona ek olarak bir de nötron bulunur. Trityumdaysa fazladan iki nötron olur; yani daha da ağırdır. Dolayısıyla en basit füzyon tepkimesi döteryum ile trityumun birleşip helyum ile serbest bir nötron oluşturmasıdır. En basiti bu olsa da bu tepkimeyi bile başlatabilmek için 800 milyon kelvin gibi olağanüstü bir sıcaklığa gereksinim duyulur.

Füzyon reaktörleri Fizikçiler bu olağanüstü koşulların benzerini Dünya'da füzyon reaktörlerinde güç üretmek için gerçekleştirmeye çalışıyorlar. Ne var ki pratik olarak kullanılabilecek bir füzyon reaktörü yapımına daha onlarca yıl var. En gelişmiş füzyon makinelerinde bile enerji üretimi için gereken enerji, üretilen enerjiden birkaç büyüklük mertebesi daha fazladır.

Füzyon enerjisi, enerji üretimindeki herkesin peşinde koştuğu bir şeydir. Fisyon teknolojisi ile karşılaştırıldığında füzyon tepkimeleri görece temiz ve (eğer çalışırlarsa) verimlidir. Muazzam miktarda enerji elde etmek için çok az miktarda atoma ihtiyaç vardır – Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre. Hem çok az atık oluşur hem de fisyon reaktörlerinde yan ürün olarak ortaya çıkan aşırı ağır elementler gibi istenmeyen atıklar oluşmaz. Ayrıca füzyon reaktörlerinde sera gazları da oluşmaz ve yakıt olarak kullanılan hidrojen

1939	1946/1954	1957
Hans Bethe yıldızlardaki füzyon sürecini tanımlar.	Fred Hoyle ağır elementlerin üretilişini açıklar.	Burbidge, Burbidge, Fowler ve Hoyle nükleosentez (çekirdek oluşumu) üzerine ünlü makalelerini yayımlarlar.

ile döteryum üretilebilen malzemeler olduğu için kendi kendine yeterli, güvenilir bir enerji kaynağıdır. Ama tabii ki o da mükemmel değildir ve ana tepkimede nötronlar salındıkça temizlenmesi gereken birtakım radyoaktif yan ürünler oluşur.

Başlıca zor iş yüksek sıcaklıklarda olağanüstü sıcak gazları kontrol etmektir. Yani füzyonu gerçekleştirmek mümkün olmuştur ama bu canavar makineler her seferinde yalnızca birkaç saniyeliğine çalıştırılır. Bir sonraki teknoloji duvarını aşmak için uluslararası biliminsanlarından oluşan bir ekip Fransa'da Uluslararası Deneysel Termonükleer Reaktörü (ITER –International Thermonuclear Experimental Reactor) adında daha büyük bir füzyon reaktörü yapmaya çalışıyor. Bununla füzyonun ticari olarak uygulanabilirliği sınanacak.

Yıldız tozu Yıldızlar doğanın füzyon reaktörleridir. Alman fizikçi Hans Bethe onların hidrojen çekirdeklerini (protonları) helyum çekirdeklerine (iki proton ve bir nötron) dönüştürerek ışıdığını açıklamıştır. İki protonun iki nötrona dönüştüğü bu süreçte başka parçacıklar da (pozitronlar ve nötrinolar) yer alır.

Yıldızların içindeki füzyon mutfağında ağır elementler sanki bir tarife uyarcasına yavaş yavaş oluşur. Birbirini izleyen bir dizi "yanma" ile –önce

Soğuk füzyon

1989'da bilim dünyası tartışmalı bir iddiayla sarsıldı. Martin Fleischmann ile Stanley Pons nükleer füzyonu büyük bir reaktörde değil de bir deney tüpünde gerçekleştirdiklerini duyurdular. Ağır su (hidrojen atomları yerine döteryum kullanılan) dolu bir deney kabından elektrik akımı geçiren ikili "soğuk" füzyonla enerji ürettiklerini iddia ediyordu. Gerçekleşen füzyon nedeniyle deneye verdiklerinden daha çok enerji elde ettiklerini ileri sürüyorlardı. Bilim dünyasında hemen bir çalkantı oluştu. Biliminsanlarının çoğu Fleischmann ile Pons'un enerji bütçesini yanlış hesaplamış olduğunu düşündü. Bu tartışma hâlâ dinmemiştir. Bundan sonra laboratuvarda füzyon gerçekleştirmeye yönelik başka iddialar da zaman zaman ortaya atıldı. 2002'de Rusi Taleyarkhan ultrason dalgalarıyla sürekli titreştirilen (ve ısıtılan) bir akışkandaki kabarcıkların ışık yaymasının (sesli ışıldama) arkasında da füzyon olduğunu ileri sürdü. Laboratuvar tüplerinde füzyonun gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceği konusunda hâlâ son söz söylenmiş değildir.

"Kazara soğumuş yıldız malzemesi kırıntılarıyız; sonu kötü biten yıldızların kırıntılarıyız."

Sir Arthur Eddington, 1882-1944

hidrojenin, sonra helyumun ve sırayla demire kadar olan elementlerin "yanması"yla– giderek daha ağır elementler oluşur. Daha sonra da demirden ağır elementler gelir. Bütün yıldızlar gibi Güneş'in de parlamasının nedeni ağırlıklı olarak hidrojeni helyuma dönüştüren füzyon tepkimeleridir. Bu süreç öyle yavaş ilerler ki ağır elementler çok az miktarlarda oluşabilir. Büyük yıldızlarda bu süreç daha sonraki tepkimelerde oluşan karbon, azot ve oksijenin de tepkimelere dahil olmasıyla hızlanır. Dolayısıyla daha çok miktarda ağır element daha hızlı üretilir. Ortamda helyum varsa, ondan karbon üretilir (üç helyum-4 atomu kararsız berilyum-8 atomu üzerinden kaynar). Ortamda karbon oluştuğunda helyum ile birleşerek oksijen, neon ve magnezyum üretilir. Bu yavaş dönüşümler yıldızın ömrünün büyük bir bölümünü alır. Demirden daha ağır elementler biraz farklı tepkimelerle, periyodik tablodaki çekirdek dizilişini izleyecek şekilde üretilir.

İlk yıldızlar En hafif elementlerin ilk birkaçı yıldızların içinde değil, Büyük Patlama sırasında oluşmuştur. İlk başta Evren o denli sıcaktı ki atomlar bile kararsızdı. Soğudukça ilk önce hidrojen atomları ile bir miktar helyum ve lityum, bir de eser miktarda berilyum oluştu. Yıldızların ve diğer her şeyin içeriği yalnızca bunlardan oluşuyordu. Bunlardan ağır diğer bütün elementler yıldızların içinde ve çevresinde yaratıldı ve süpernova denen yıldız patlamalarıyla da uzaya saçıldı. Ne var ki ilk yıldızların nasıl ışımaya başladığını hâlâ tam olarak bilemiyoruz. İlk yıldızda hiçbir ağır element yoktu; yalnızca hidrojen bulunuyordu. Dolayısıyla çöküp füzyon "motorunu" çalıştıracak kadar hızlı soğuyamazlardı. Kütleçekimin etkisiyle içe çökme, hidrojen gazının çok fazla ısınmasına ve genişlemesine neden olur. Ağır elementler ışık yayarak onun soğumasını sağlar. Bu nedenle ilk kuşak yıldızlar yaşadıktan ve içeriklerini süpernovalarla uzaya saçtıktan sonra yıldızların oluşumu kolaylaştı. Ama ilk yıldızların hızlı oluşumunu açıklamak teorisyenler için hâlâ zor bir iştir.

Füzyon Evren'deki temel güç kaynaklarından biridir. Eğer onu kullanmayı becerebilirsek, enerji sorunumuz ebediyen çözülür. Ama bu, yıldızların muazzam gücünü yeryüzünde kullanmamız demektir ve gerçekte hiç de kolay değildir.

» fikrin özü
Yıldızların gücü

36 Standart Model

Protonlar, nötronlar ve elektronlar aslında parçacık fiziği denen buzdağının yalnızca tepesini oluşturur. Protonlar ve nötronlar kuark denen daha da küçük parçacıklardan oluşurlar, elektronlara eşlik eden nötrinolar vardır ve temel kuvvetlere aralarında fotonların da bulunduğu bozonlar taşıyıcılık yapar. "Standart model" onlarca parçacığı tek bir soyağacında toplar.

Eski Yunanlara göre maddenin en küçük yapıtaşı atomlardı. Daha da küçük birtakım bileşenlerin –önce elektronun, sonra da proton ve nötronun– olduğu ancak 19. yüzyılın sonlarında anlaşılabildi. Peki, bunlar maddeyi oluşturan nihai yapıtaşları mıdır?

Hayır, değillerdir. Protonların ve nötronların bile taneli bir yapısı vardır. Onlar da kuark denen daha küçük parçacıklardan oluşurlar. Hepsi bu kadar da değil. Fotonların elektromanyetik kuvveti taşıması gibi diğer temel kuvvetleri de taşıyan birçok parçacık vardır. Bildiğimiz kadarıyla elektronlar bölünemez ama onlar da neredeyse kütlesiz nötrinolarla çiftler oluşturur. Ayrıca parçacıkların antimadde ikizleri de vardır. Bütün bunlar kulağa oldukça karmaşık geliyor ve gerçekten de öyledir. Ama bu parçacık bolluğu parçacık fiziğinin standart modeli denen bir çerçeve içinde kolayca anlaşılabilir.

Kazı 20. yüzyılın başlarında fizikçiler maddenin proton, nötron ve elektronlardan oluştuğunu biliyorlardı. Niels Bohr kuantum kuramına göre elektronların çekirdeğin çevresinde –tıpkı Güneş'in çevresindeki gezegenler gibi– birtakım kabuklarda nasıl dizildiğini açıklamıştı. Çekirdeğin özellikleri daha da garipti. Birbirini iten artı elektrik yüklerine rağmen, çekirdekte onlarca proton ve nötron bir arada minik bir hacimde güçlü

dönem

IÖ ~400	1930
Demokritus atom fikrini ortaya atar.	Wolfgang Pauli nötrinonun varlığını öngörür.

çekirdek kuvvetinin etkisiyle duruyordu. Ama radyoaktivite sayesinde çekirdeğin nasıl parçalandığına (fisyon) ve nasıl birleştiğine (füzyon) ilişkin yeni birçok şey öğrenildikçe açıklanması gereken daha birçok olgu olduğu netleşmeye başladı.

"Tek bir birleşik kuram olsa bile, bir dizi kural ve denklemden ibaret olacaktır. Bu denklemlere ateşi üfleyen ve onların tanımladığı Evren'i yapan şey nedir?"

Stephen Hawking, 1988

Önce füzyon tepkimesiyle Güneş'teki hidrojenin yanarak helyuma dönüşmesi, protonları nötronlara çeviren nötrino adlı yeni bir parçacığın olması gerektiğini düşündürdü. 1930'da nötrinonun varlığından bir nötronun bozunup bir proton ve bir elektrona dönüşümünü –radyoaktif beta bozunumu– açıklamada yararlanıldı. Neredeyse hiç kütlesi olmayan nötrino 1956'ya kadar keşfedilemedi. Yani daha 1930'lu yıllarda bile yanıtlanmayı bekleyen bazı sorular vardı. 1940'lı ve 1950'li yıllarda bunlardan bazılarının üzerine gidildiğinde yeni parçacıklar aranmaya başlandı ve böylece koleksiyon da genişledi.

Bu araştırmaların bir sonucu olarak da atomaltı parçacıkların soyağacı olan standart model doğdu. Üç tip temel parçacık vardır: Kuarklardan yapılan "hadron"lar, aralarında elektronun da bulunduğu "lepton"lar ve foton gibi temel kuvvet taşıyıcısı olan parçacıklar (bozonlar). Kuarkların ve leptonların karşı parçacıkları da vardır.

Kuark 1960'lı yıllarda elektronları protonlarla ve nötronlarla çarpıştıran fizikçiler kuark adını verdikleri çok daha küçük parçacıkların olduğunu gördüler. Kuarklar üçlüler halinde var olabiliyorlardı. Üç renkleri vardı: kırmızı, mavi ve yeşil. Tıpkı elektron ve protonun elektrik yükü olduğu gibi kuarkların da "renk yükü" vardı ve kuarklar bir tipten bir başkasına dönüştüğünde bu renk yükü korunuyordu. Renk yükünün bildiğimiz ışık renkleriyle hiçbir ilgisi yoktur. Bu yalnızca fizikçilerin kuarkların garip kuantum özelliklerini adlandırmak için bulduğu yaratıcı bir çözümdür.

Kuarklar

Kuark sözcüğü James Joyce'un *Finneganın Vahı* (*Finnegans Wake*) adlı eserinde martıların çığlıklarının betimlendiği bir mısradan alınmıştır. Yazar (martıların) "üç kuark" yani üç çığlık attığını yazmıştır.

1956
Nötrinolar gözlenir.

1960'lar
Kuarkların varlığı ortaya atılır.

1995
Üst kuark bulunur.

"İnsan aklının yaratıcı öğesi de ... temel parçacıklar misali, yani büyük çarpıştırıcılarda bir anlık var olma durumuna sıçrayıp sonra yine yok olan sonsuz küçük hayaletler gibi, gizemli bir biçimde ortaya çıkar."

Sir Arthur Eddington, 1928

Tıpkı elektrik yüklerinin bir kuvvet üretmesi gibi kuarkların renk yükleri de birbirlerine kuvvet uygular. Renklerin kuvvetleri "gluon" denen bir parçacıkla taşınır. Renk kuvveti kuarktan uzaklaştıkça şiddetlenir; dolayısıyla kuarklar sanki bir paket lastiğiyle birleştirilmiş gibi bir arada sımsıkı dururlar. Renk kuvvet alanı bu denli güçlü olduğu için kuarklar tek başlarına bulunamazlar; toplam renkleri nötr olacak kombinasyonlarda (yani renk yükü olmayacak şekilde) bir arada olabilirler. Bu tür olası üçlülere baryon ("bary" ağır demektir) denir. Bunlar arasında proton ve nötronun yanı sıra, mezon denen kuark-karşı kuark çiftleri de bulunur.

Renk yükleri olmasından başka kuarkların bir de "çeşnileri" vardır. Altı farklı çeşnili kuark bulunur. Üç çift, artan kütleli birer nesil oluşturur. En hafifleri "yukarı" ve "aşağı" kuark çiftidir; sonra "acayip" ve "tılsım" gelir; son olarak da "üst" ve "alt" kuarklar en ağır olanlardır. Yukarı, tılsım ve üst kuarkların elektrik yükleri $+^{2}/_{3}$; aşağı, acayip ve alt kuarkların da $-^{1}/_{3}$'tür. Yani protonların +1 ve elektronların da −1 olan elektrik yüklerine karşılık kuarkların elektrik yükleri kesirlidir. Bu nedenle bir proton oluşturmak için üç kuarka (iki yukarı ve bir aşağı) ve bir nötron oluşturmak için de yine üç kuarka (iki aşağı bir yukarı) gereksinim vardır.

Lepton İkinci grup parçacıklar yani leptonlar elektronla ilgilidir ve onu da içerirler. Yine artan kütleli üç nesil lepton vardır: elektron, müon ve tau. Müonlar elektronlardan 200 kat daha ağırdır, taular da 3.700 kat daha ağırdır. Leptonların hepsi de elektriksel olarak −1 yüklüdür. Her birinin bir de ilgili nötrinosu vardır – elektron, müon ve tau nötrinoları. Nötrinolar yüksüzdür ve hemen hemen hiç kütleleri olmadığından neredeyse hiçbir şeyle etkileşime girmezler. Dünya'nın içinden geçerler ve yakalanmaları çok zordur. Bütün leptonların bir de karşı parçacıkları vardır.

Etkileşimler Temel kuvvetler parçacık alışverişiyle taşınırlar. Tıpkı elektromanyetik dalgaların akan fotonlardan oluştuğu düşünüldüğü gibi zayıf çekirdek kuvvetinin de W ve Z parçacıklarıyla ve güçlü çekirdek kuvvetinin de gluonlarla taşındığı düşünülür. Tıpkı foton gibi bu parçacıklar da bozondur; yani hepsi aynı anda aynı kuantum durumunda bulunabilirler.

Ama kuarklar ile leptonlar fermiyondur ve aynı anda aynı kuantum durumunda bulunamazlar.



Parçacık çarpıştırma Bu atomaltı parçacıklar hakkında bu kadar çok şeyi nasıl biliyoruz? 20. yüzyılın ikinci yarısında fizikçiler atomlara ve parçacıklara kaba kuvvet uygulayarak yani onları çarpıştırarak iç yapılarını ve işleyişlerini ortaya çıkardılar. Parçacık fiziği karmaşık yapılı bir İsviçre saatini alıp onu çekiçle parçaladıktan sonra kırık parçalara bakarak saatin nasıl işlediğini anlamaya çalışan bir bilim dalı olarak tanımlanır. Parçacık hızlandırıcılarında kullanılan dev mıknatıslar sayesinde parçacıklar olağanüstü hızlara çıkarılır ve sonra parçacıklardan oluşan bu ışın bir hedefe ya da ters yönden gelen bir başka ışına çarptırılır. Pek yüksek olmayan hızlarda parçacıklar az parçalanır ve en hafif parçacık nesilleri ortaya çıkar. Kütle demek enerji demek olduğundan, sonraki (daha ağır) parçacık nesillerini ortaya çıkarabilmek için daha yüksek enerjili parçacık ışınları kullanmak gerekir.



Daha sonra, atom çarpıştırıcılarında ortaya çıkarılan parçacıklar tanımlanır. Parçacık fizikçileri bunu parçacıklar bir manyetik alandan geçerken bıraktıkları izlerin fotoğrafını çekerek yapar. Manyetik alan içinde artı ve eksi yüklü parçacıklar ters yönlere saparlar. Parçacığın kütlesi onun ne kadar hızlı ilerleyeceğini ve izleyeceği yolun manyetik alan tarafından ne kadar bükülebileceğini de belirler. Yani hafif parçacıklar çok az bükülürken ağır parçacıklar bazen bükülerek sarmallar bile oluşturabilir. Dedektördeki özellikleri eşleştiren ve teoriler doğrultusundaki beklentilerle karşılaştıran parçacık fizikçileri ortaya çıkan her parçacığın ne olduğunu söyleyebilir.

Şu an için standart modele dahil edilmeyen tek şey kütleçekimdir. Kütleçekim kuvvetini taşıyan parçacık, graviton, bir fikir olarak ortaya atılmıştır. Işığın tersine, kütleçekimde taneli bir yapının varlığını gösteren bir kanıta rastlanmamıştır. Bazı fizikçiler kütleçekimi de standart modele dahil etmeye ve dolayısıyla bir büyük bileşik kurama (BBK) ulaşmaya çalışıyorlar. Ama bunun için önümüzde daha uzun bir yol var gibi görünüyor.

» fikrin özü
Aile arasında

37 Feynman Diyagramları

Feynman diyagramları karmaşık parçacık fiziği denklemlerinde anlatılanları kısa yoldan göstermek için zekice tasarlanmış şemalardır. Her parçacık etkileşimi bir noktada buluşan üç okla gösterilir; bu oklardan biri gelen parçacığı, biri çıkan parçacığı ve biri de kuvvet taşıyan parçacığı ifade eder. Fizikçiler bunlardan birçoğunu birbirine ekler ve gerçekleşen etkileşimlerin olasılıkları üzerine çalışırlar.

Richard Feynman Kaliforniyalı karizmatik bir parçacık fizikçisiydi. Çok güzel ders anlatımıyla ün salmış bir hocaydı ve iyi bongo çalardı. Parçacıkların etkileşimlerini gösteren simgesel bir dil geliştirdi. Bu gösterim, basitliğinden dolayı hâlâ kullanılmaktadır. Feynman karmaşık matematik denklemlerini kısa yoldan göstermek için oklar kullandı. Buna göre her parçacık bir okla gösterilir. Gelen için bir ok, çıkan için bir ok ve etkileşimi göstermek için de dalgalı bir ok kullanılır. Yani parçacıklar arasında gerçekleşen her etkileşim bir noktada (yani köşe noktasında) buluşan üç okla gösterilebilir. Daha karmaşık etkileşimler de bu şekillerden birkaç tanesi birleştirilerek ifade edilir.

Feynman kendi diyagramlarını öyle seviyordu ki onları minibüsünün üzerine de çizmişti. Neden böyle yaptığı sorulduğunda basitçe "çünkü ben Richard Feynman'ım" diye yanıt verirdi.

Feynman diyagramları yalnızca bir grafik araç değildir. Atomaltı parçacıkların etkileşim mekanizmasını göstermenin yanı sıra bu diyagramlar, fizikçilere o etkileşimlerin gerçekleşme olasılıklarını hesaplamada da yardımcı olur.

Çizimler Feynman diyagramlarında parçacıkların etkileşimlerini anlatmak için parçacıkların güzergahlarını gösteren bir dizi ok kullanılır.

dönem

1927
Kuantum alan teorisi üzerine çalışmalar başlar.

1940'lar
Kuantum elektrodinamiği geliştirilir.

Diyagramlarda genellikle sağa gidildikçe zaman da ilerler; bu nedenle etkileşime giren ve çıkan elektronlar sağa yönelmiş oklarla gösterilir. Hareketi anlatmak için de genellikle hafif eğimli olurlar. Karşı parçacıkların (bunlar gerçek parçacıkların zamanda geriye giden karşılıkları olduğundan) okları geriye doğru yani sağdan sola olur. Burada birkaç örnek verilmiştir.



Bu diyagramda foton yayan bir elektron gösteriliyor olabilir. Gelen elektron (soldan gelen ok) üçlü kesişim noktasında elektromanyetik bir etkileşime girer ve yeni bir elektron (sağa devam eden ok) ile bir foton (dalgalı çizgi) üretir. Parçacıklar belirtilmemiştir – yalnızca etkileşimin mekanizması gösterilmiştir. Bu gösterim foton yayan bir proton için de kullanılabilir.



Burada gelen bir elektron (ya da başka bir parçacık) bir foton soğuruyor ve daha enerjili bir elektron üretiyor.



Bu diyagramda oklar ters yönlü, yani bunlar karşı parçacıklar olmalı. Burada bir karşı elektron ya da karşı proton (soldaki ok) bir foton soğuruyor ve yeni bir pozitron (sağdaki ok) üretiyor.



Burada da bir elektron ile bir pozitron birleşiyor ve yok oluyorlar. Bu sırada ortaya çıkan enerji de foton olarak yayılıyor.



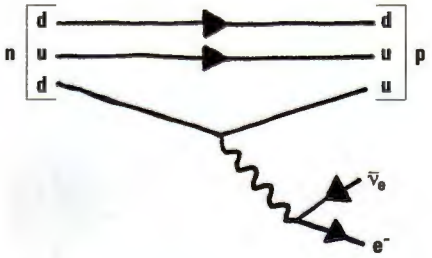
Üç uçlu köşe noktalarından ikisi ya da daha fazlası birleştirilerek bir dizi olay gösterilebilir. Burada bir parçacık ile bir karşı parçacığın birleşip yok olduğu ve ortaya çıkan fotonun da sonra bozunarak yine bir parçacık-karşı parçacık çiftine dönüştüğü gösteriliyor.

Bu köşeler birçok farklı etkileşim tipini göstermek için kullanılabilir. Her türlü parçacık için, kuarklar ve leptonların yanı sıra, bunlarla ilgili kuvvetlerin –elektromanyetik, zayıf ve güçlü çekirdek kuvvetlerinin– taşıyıcıları için de kullanılabilirler. Hepsi de aynı temel kuralları izler. Enerji korunmalıdır; diyagramda giren ve çıkan çizgiler gerçek parçacıkların (yalıtılmış olarak var olamayan serbest bir kuarkın değil de nötronun ya da protonun)

Richard Feynman 1918-88

Richard Feynman çok parlak ve delidolu bir fizikçiydi. Princeton öğrenci giriş sınavında kusursuz bir başarı elde etmiş ve Einstein gibi bazı biliminsanlarının dikkatini çekmişti. Manhattan Projesi'nde yardımcı fizikçi olarak yer alan Feynman'ın test patlamasını, camın morötesi ışınları engelleyeceği için, yeteri kadar güvenli olduğunu söyleyerek doğrudan izlediği söylenir. Los Alamos'ta çölde sıkışıp kalan ve sıkılan Feynman fizikçilerin dosya dolaplarının şifrelerini tahmin edip (örneğin doğal logaritma e = 2,71828) açıyordu. Dolaplara bıraktığı notlar çalışma arkadaşlarını, aralarında bir casus olduğunu düşündürüp kaygılandırmıştı. Ayrıca eğlenmek için davul çalmaya da başladı ve bu nedenle eksantrik biri olarak ün saldı. Savaştan sonra Feynman, Caltech'te çalışmaya başladı. Ders vermeyi seviyordu ve "büyük açıklayıcı" olarak anılmaya başladı. Aralarında ünlü *Feynman Fizik Dersleri*'nin de olduğu birçok kitap yazdı. *Challenger* faciasını araştıran kurulda yer aldı ve her zaman olduğu gibi açık sözlü açıklamalar yaptı. KED'in geliştirilmesi, süper akışkanlar fiziği ve zayıf çekirdek kuvveti üzerine çalıştı. Kariyerinin ileriki dönemlerinde bir konuşmasında "Aşağıda daha çok boş yer var" dediği kuantum bilgisayarlar ve nanoteknoloji alanlarına öncülük etti. Maceracı bir ruhu olan Feynman gezmeyi severdi. Simgelerle arası iyi olduğu için bir ara Maya hiyerogliflerini çözmeye bile el atmıştı. Arkadaşı fizikçi Freeman Dyson bir zamanlar Feynman'ın "yarı dâhi yarı şaklaban" olduğunu yazmış, sonra da bu ifadesini "tam dâhi, tam şaklaban" olarak düzeltmiştir.

olmalıdır. Ama bununla birlikte, sonuçta yalnızca gerçek parçacıklar kalacak şekilde bir temizlik yapıldığı sürece ara aşamalarda her türlü atomaltı parçacık ve sanal parçacık da yer alabilir.



Burada radyoaktif beta bozunumu anlatılıyor. Sol tarafta iki "aşağı" ve bir "yukarı" kuarktan oluşan bir nötron var. Etkileşime girip iki "yukarı" ve bir "aşağı" kuarktan oluşan bir proton ile bir elektron ve bir karşı nötrinoya dönüşüyor. İki etkileşim yer alıyor. Nötrinonun "aşağı" kuarklarından biri "yukarı" kuarka dönüşüyor ve zayıf kuvvetin taşıyıcısı olan bir W bozonu üretiyor (dalgalı çizgiyle gösterilen). W bozonu daha sonra bozunarak bir elektron ile bir karşı nötrinoya dönüşüyor. W bozonu etkileşimin ürünleri arasında yer almıyor, yalnızca ara aşamada yer alıyor.

Olasılık Bu diyagramlar yalnızca etkileşimleri kısa yoldan ve uygun biçimde gözümüzde canlandırmaya yaramıyordu, aynı zamanda etkileşimin olasılığı hakkında da fikir veriyordu. Dolayısıyla karmaşık denklemlerin güçlü birer matematiksel anlatımıydılar. Bir etkileşimin ne kadar olası olduğunu ortaya çıkarmak için oraya giden kaç değişik yol olduğunu bilmeniz gerekir. İşte, diyagramların kendini gösterdiği yer burasıdır. Etkileşimlerin her türlü olası varyasyonunu yani sizi başlangıçtan sonuca götüren ve birçok başka etkileşim daha içeren bütün yolları çizerek bunların gerçekleşme olasılıklarını hesaplayabilirsiniz.

Feynman'ın diyagramlarına benzeyen çizimleri parçacık fizikçisi John Ellis de kullanmıştı. Ellis bir barda öğrencisiyle girdiği bir iddia üzerine (dart oyununu kaybederse ilk makalesinde penguen sözcüğünü kullanacaktı) kendi çizimlerine penguen diyagramları adını vermişti. Onun diyagramları düşey olarak düzenleniyordu ve bu nedenle Ellis de onları biraz penguene benzetiyordu. Sonra bu ad onun diyagramlarına yapıştı kaldı.

KED Feynman bu diyagramları 1940'lı yıllarda kuantum elektrodinamiğini (KED) geliştirmeye çalışırken buldu. KED'in ardında yatan fikir "Fermat'nın ışığın yayılması ilkesi"ne oldukça benzer: Işık olası bütün yollardan ilerler ama en olası yol ışığın (büyük bölümünün aynı fazda ilerleyeceği) en hızlı ilerlediği yoldur. Aynı yaklaşımın elektromanyetik alanlara uygulanmasıyla 1927'den sonra kuantum alan teorisi geliştirilmiş ve o da zamanla KED'e dönüşmüştür.

KED, fotonların aracılık ettiği elektromanyetik etkileşimleri tanımlar; yani kuantum mekaniğini bir elektrik alan tanımı ve atomaltı parçacıklarla birleştirir. Feynman bütün olası etkileşimlerin olasılıklarını çözmeye çalışırken bu grafik notasyonu geliştirmiştir. KED'den sonra fizikçiler bu resmi daha da genişletip ona kuantum kromodinamik (KKD) denen, kuarkların renk kuvveti alanı teorisini de dahil ettiler. Sonra da KED zayıf çekirdek kuvveti ile birleşerek "elektrozayıf" kuvveti oluşturdu.

» fikrin özü
Üç çatallı yaklaşım

38 Tanrı Parçacığı

Fizikçi Peter Higgs 1964'te bir gün Kuzey İskoçya'da yürüyüş yaparken parçacıkların kütleli olmasına yol açan şeyi keşfetti. Ona göre bu, kendisinin "büyük fikri"ydi. Parçacıklar günümüzde Higgs alanı olarak bilinen bir kuvvet alanının içinde hareket ederken yavaşladıkları için daha kütleli görünürler. Bu kuvvet alanının taşıyıcısı olan Higgs bozonuna Nobel Ödüllü fizikçi Leon Lederman "Tanrı Parçacığı" adını takmıştır.

Nesnelerin neden kütlesi vardır? Bir kamyon her biri görece ağır atomlardan oluştuğu için ağırdır. Çelikte demir atomları vardır ve demir periyodik tablonun aşağılarında yer alır. Peki, atomların neden ağırlığı vardır? Sonuçta büyük bölümleri boşluktur. Neden bir proton elektrondan ya da nötrinodan ya da fotondan daha ağırdır?

Her ne kadar 1960'lı yıllarda dört temel kuvvet yani etkileşim iyi biliniyor olsa da bunların hepsi birbirinden farklı taşıyıcı parçacıklara dayanıyordu. Fotonlar elektromanyetik etkileşimlerdeki bilgiyi taşıyorlardı; gluonlar güçlü çekirdek kuvvetiyle kuarkları bir arada tutuyorlardı; W ve Z bozonları da zayıf çekirdek kuvvetini taşıyordu. Ama fotonların kütlesi yokken W ve Z bozonları protondan yüz kat daha kütleli parçacıklardı. Bu parçacıklar neden bu kadar farklıydılar? Elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin elektrozayıf kuvvet olarak birleştirilebildiği göz önüne alınırsa, bu uyuşmazlık kendini daha da gösterir. Ama bu teori zayıf çekirdek kuvveti parçacıklarının, yani W ve Z bozonlarının kütlesi olması gerektiğini söylemez. Kütlesiz fotonlar gibi de olabilirler. Büyük birleşik kuram için yapılan, temel kuvvetler arasındaki daha başka birleştirme girişimleri de aynı sorunla karşılaşmıştır. Kuvvet taşıyıcıların kütlesi olmamalıdır. Neden hepsi foton gibi değildir?

dönem

1687

Newton'ın *Principia*'sında kütle denklemleri yer alır.

"Yapılması gereken şey, onu, temel kuvvet teorileri arasında en basit olanıyla yani elektrodinamikle sınamaktı; gerçekten ne olup bittiğini anlamak için simetrisini bozmaktı."

Peter Higgs, d. 1929

Ağır çekim Higgs'in büyük fikri, kuvvet taşıyıcılarının bir kuvvet alanından geçerken yavaşlatılıyor olduğuydu. Artık Higgs alanı olarak anılan bu alan Higgs bozonu denen bozonların aktarımıyla çalışıyordu. Bardağa bir boncuk bıraktığınızı düşünün. Bardak suyla doluysa, boş yani hava dolu olduğu duruma göre boncuğun dibe inişi daha uzun sürer. Sanki boncuk suyun içindeyken daha kütleli gibidir – boncuk sudayken yerçekiminin onu kendisine çekmesi daha uzun sürer. Aynı şeyi suyun içinde yürürken bacaklarınızda da hissedersiniz – ağırlaşırlar ve yürüyüşünüz yavaşlar. Eğer bir bardak şerbete bırakılırsa, boncuğun dibe ulaşması daha da uzun sürer. Higgs alanı da aslında benzer bir şekilde yani tıpkı yoğun bir sıvı gibi davranır. Higgs kuvveti diğer kuvvetleri taşıyan parçacıkları, onlara birer kütle vererek yavaşlatır. Fotonlara göre W ve Z bozonları üzerindeki etkisi daha güçlüdür ve onların daha ağır görünmelerine yol açar.

Higgs alanının etkisi, bir metalin artı yüklü çekirdeklerinin oluşturduğu kristal kafes yapısının içinde bir elektronun ilerleyişine oldukça benzer. Elektron bütün artı yüklerce çekildikçe azar azar yavaşlar. Dolayısıyla bu iyonların çevresinde bulunmadığı duruma göre kütlesi artmış gibi görünür. Burada etkili olan kuvvet fotonlar aracılığıyla işleyen elektromanyetik kuvvettir. Gerçekte Higgs alanı da benzer şekilde işler ama onda kuvveti taşıyanlar Higgs bozonlarıdır. Bunu birçok Higgs'in bulunduğu bir kokteyle katılan bir film yıldızının ilerleyişi gibi düşünebilirsiniz. Film yıldızı salonun bir ucundan diğerine gitmekte zorlanır çünkü kendisiyle sürekli yapılan kısa sosyal etkileşimler onu yavaşlatır.

Diğer kuvvet taşıyıcısı olan bozonlara kütlelerini Higgs bozonu veriyorsa, Higgs bozonunun kendi kütlesi nedir? Ve kendine nasıl kütle

1964

Higgs'in aklına parçacıkları neyin kütleli yaptığına ilişkin ünlü fikri gelir.

2007

CERN'de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı yapılır.

Mıknatıslarda kırılan simetri

Çok yüksek sıcaklıklarda mıknatısların içindeki bütün atomlar düzensizleşir, içlerinde var olan manyetik alanlar gelişigüzel olur ve madde manyetiklik özelliğini yitirir. Ama sıcaklık belli bir noktanın altına düştüğünde –ki buna Curie Sıcaklığı denir– manyetik dipoller yeniden hizalanır ve hepsi birden bir manyetik alan oluştururlar.

kazandırıyordur? Bu da bir yumurta-tavuk durumu değil midir? Ne yazık ki eldeki teoriler parçacık fiziğinin standart modeli için Higgs bozonunun gerekli olduğunu öngörseler de onun kütlesine ilişkin bir şey söyleyemiyorlar. Bu nedenle fizikçiler onu görmek istiyor. Ama bunun ne kadar zor olacağını yani kendisini ne zaman ortaya çıkaracağını bilemiyorlar. [ÇN: 2012'de CERN'de yapılan deneyde saptandı.] Onun özelliğindeki parçacıklar üzerindeki araştırmalardan, kütlesinin deneysel olarak ulaşılan enerji düzeylerinden büyük olması gerektiği biliniyor. Yani çok ağır ama tam olarak ne kadar ağır olduğunu bulana dek beklemeliyiz. [ÇN: Higgs bozonu yaklaşık 125 GeV yani 133 proton kütlesindedir.]

Kesin kanıt Higgs parçacığını aramak için kullanılacak yeni makine İsviçre'de CERN'de (Conseil Européen pour la Recherce Nucléaire – Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi) inşa edilen Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC – Large Hadron Collider) aslında Cenevre yakınlarında kurulan dev bir parçacık fiziği laboratuvarıdır. Yerin 100 m altında, en büyüğü 27 km uzunluğunda olan halka şeklinde tünelleri vardır. LHC'de dev mıknatıslar protonları bu hat boyunca hızlandırarak bir ışın haline getirir. Halka şeklindeki dev tünelde ilerlerken bu ışının hızı sürekli artar. Önce ters yönde ilerleyen iki ışın oluşturulacak; sonra hızları en üst düzeye ulaştığında bu ışınlar birbirine doğru yönlendirilerek protonların kafa kafaya çarpışması sağlanacaktır. Ulaşılan çok yüksek enerjiler sayesinde çarpışma sırasında bir dizi ağır parçacık geçici olarak ortaya çıkacak ve bunlar –ve bunların bozunmasıyla ortaya çıkacak yan ürünleri de– dedektörlerce kaydedilecektir. LHC'nin amacı başka milyarlarca parçacığın bırakacağı izin arasından Higgs parçacığına ilişkin ipuçları bulmaktır. Fizikçiler neyi aradıklarını iyi biliyorlar ama onu yakalamak

yine de oldukça zor. Eğer ulaşılan enerji düzeyi yeterince büyük olursa, Higgs bozonu arka arkaya dönüşecek bir dizi parçacık şeklinde yok olmadan önce saniyenin çok küçük bir bölümü için ortaya çıkabilir. Bu nedenle Higgs'in kendisini gözlemektense fizikçiler onun varlığını gösterecek kesin kanıtlar arayacak ve sonra bütün parçaları birleştirip onun var olduğu sonucuna ulaşacaklar.

Simetri kırılması Higgs bozonu ne zaman ortaya çıkabilir? Ve buradan fotonlara ve diğer bozonlara nasıl ulaşırız? Higgs bozonu çok ağır olması gerektiğinden yalnızca aşırı yüksek enerjilerde ve Heisenberg belirsizlik ilkesi nedeniyle de (bkz. s. 104) çok kısa bir süre için ortaya çıkabilir. Teoriye göre Evren'in oluşumunun en başında bütün temel kuvvetler tek bir süper kuvvet şeklinde birleşik haldeydi. Evren soğudukça dört temel kuvvet, simetri kırılması denen bir süreçle birbirinden ayrıştı.

Her ne kadar simetri kırılması kulağa akılda canlandırması zor bir şeymiş gibi gelse de aslında basittir. Bir zamanlar simetrik görülen bir sistemden simetrinin kalktığı noktaları ifade eder. Örneğin peçetelerin ve çatal bıçakların aynı şekilde yerleştirildiği yuvarlak bir masa düşünün. Simetriktir yani nereye oturursanız oturun masa aynı görünür. Ama bir kişi peçetesini alırsa, simetri kaybolur ve o noktaya göre nerede bulunduğunuzu söyleyebilirsiniz. Yani simetri kırılması olmuştur. Tek başına bu olayın bazı zincirleme etkileri olabilir – yani şöyle olabilir: Herkes ilk olaya uymak için sol taraftaki peçetesini alabilir. Eğer ilk öteki taraftaki peçete alınsaydı o zaman tersi durum gerçekleşecekti. Ama örüntüyü başlatan şey rasgele bir olaydır. Benzer şekilde Evren soğudukça birtakım olaylar temel kuvvetlerin teker teker ayrışmasına yol açmıştır.

» fikrin özü
Akıntıya karşı yüzmek

39 Sicim Kuramı

Fizikçilerin çoğu her ne kadar eksik olsa da iyi işleyen standart modelle çalışmaktan memnundur. Ama küçük bir bölümü de standart modeli onaylayacak ya da onu yıkıma uğratacak testler yapılmadan önce bile yeni bir fizik arayışına girmiştir. Dalga-parçacık ikiliği üzerine yeni bir eğilimi benimseyen bazı fizikçiler temel parçacıkları katı birer küre olarak ele almak yerine bir sicimdeki dalgalar olarak düşünerek açıklamaya çalışıyor. Bu fikir medyanın da ilgisini çekmiştir ve sicim kuramı olarak bilinir.

Kuark, elektron ve foton gibi temel parçacıkların bölünemez madde veya enerji öbekleri olduğu düşüncesi sicim kuramcılarını tatmin etmiyor. Belli bir kütle, yük veya ilgili enerjiyi veren örüntüler onlarda bir başka organizasyon düzeyini akla getiriyor. Bu biliminsanları böylesi örüntülerin derin bir uyuma işaret ettiğine inanıyor. Buna göre her kütle ve enerji kuantumu aslında çok minik bir sicimin titreşmesiyle oluşan bir harmoniktir. Yani parçacıklar katı damlalar olarak değil de titreşen teller ya da sicim ilmekleri olarak düşünülebilir. Bu bir anlamda Kepler'in ideal geometrik nesnelere olan aşkının yeniden canlanmış bir halidir. Sanki parçacıklar tek bir sicimle çalınan notalardan oluşan birer örüntüdür.

Titreşimler Sicim kuramında sicimler bir gitarın üzerindeki teller gibi değildir. Gitar telleri uzayda üç boyutlu titreşir; eğer bir düzleme sınırlandırmamız gerekirse, uzunluğu boyunca aşağı-yukarı olacak şekilde iki boyutta titreştiğini de söyleyebiliriz. Ama atomaltı sicimler tek bir boyutta titreşir; yani noktasal parçacıklar gibi sıfır boyutlu değillerdir. Görebileceğimiz boyutlardan çok çok küçüktürler. Ama onlarla ilgili matematiği yaparken biliminsanları daha çok boyutla çalışır ve sicimlerin 10 ya da 11. boyutlardaki titreşimlerini hesaplarlar. Bizim dünyamız üç uzay boyutu ve bir zaman

dönem

1921

Elektromanyetizma ile kütleçekimi birleştirmek için Kaluza-Klein teorisi önerilir.

1970

Yoichiro Nambu kuantum mekaniksel sicimler kullanarak güçlü çekirdek kuvvetini tanımlar.

boyutundan oluşur. Sicim kuramcıları göremediğimiz, kıvrıldıkları için hiç fark edemediğimiz daha birçok boyut olduğunu düşünür. Parçacıkların sicimleri bu diğer dünyalarda titreşir.

Sicimler açık uçlu ya da ilmek şeklinde olabilir. Ama bunun dışında hepsi aynıdır. Yani temel parçacıkların bütün çeşitlilikleri sicimin yapıldığı malzemeden değil de sicimin titreşim örüntüsünden, harmoniklerden kaynaklanır.

Tuhaf fikir Sicim kuramı tümüyle matematiksel bir fikirdir. Kimse bir sicim görebilmiş değildir. Hatta kimsenin onların varlığından nasıl emin olunacağı hakkında bir fikri bile yoktur. Dolayısıyla teorinin doğru ya da yanlış olduğunu sınayabilecek herhangi bir deney dahi yapılabilmiş değildir. Sicim kuramcılarının sayısı kadar sicim kuramı olduğu söylenir. Bu da kuramı biliminsanları açısından tuhaf bir konumda bırakır.

Düşünür Karl Popper bilimin ağırlıklı olarak yanlışlamayla ilerlediğini düşünüyordu. Bir fikirle ortaya çıkarsınız ve onu bir deneyle sınarsınız. Eğer yanlış olduğu ortaya çıkarsa, bir şeyleri dışarıda bırakarak düşünmeniz gerektiğini öğrenmiş olursunuz ve bilim ilerler. Eğer gözlem modele uygun çıkarsa, yeni bir şey öğrenemezsiniz. Sicim kuramı gelişimini tamamlamış olmadığından yanlışlanabilir herhangi bir hipotezi de henüz yok. Kuramın birçok varyasyonu olduğu için de bazı biliminsanları onun gerçek bilim olmadığını düşünüyor. Kuramın yararlı olup olmadığına ilişkin savlar dergilerde hatta gazetelerde sayfalarca yer kaplıyor. Ama sicim kuramcıları her şeye rağmen, çalışmalarının değerli olduğunu düşünüyorlar.

"Tüm o ilave boyutlar ve dolayısıyla sicimlerin türlü türlü şekillerde pek çok farklı yönde titreşebilmesi, gördüğümüz bütün parçacıkları tanımlayabilmemizin anahtarıymış meğer."

Edward Witten d. 1951

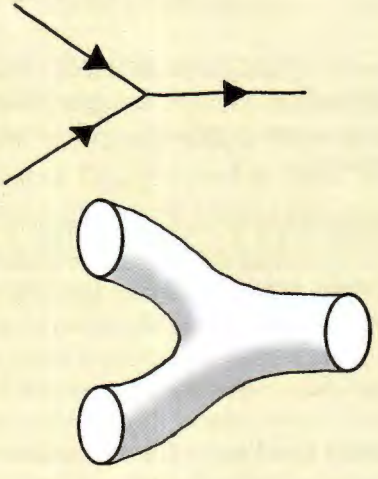
1970'lerin ortası
Bir kuantum kütleçekimi kuramı geliştirilir.

1984-6
Birden gelişen sicim kuramı bütün parçacıkları "açıklar".

1990'lar
Witten ve diğerleri 11 boyutlu M-kuramını geliştirir.

M-kuramı

Sicimler özünde çizgidirler. Ama çok boyutlu uzayda çok boyutlu birçok şekli içeren geometriler için bir sınır durumu oluştururlar. Genelleşmiş bu kurama M-kuramı denir. M'nin kendisinden geldiği söylenebilecek tek bir sözcük yoktur ama zar (membrane) ya da gizemden (mystery) geliyor olabilir. Uzayda ilerleyen bir parçacık bir çizgi çizer. Eğer nokta parçacık mürekkeple kaplı olsaydı doğrusal bir iz bırakırdı – ki ona dünya çizgisi deriz. Bir sicim de diyelim ki ilmek olsun, ilerlerken bir silindir oluşturur. Bu nedenle onun bir dünya düzlemi var deriz. Bu düzlemlerin kesiştiği ve sicimlerin koptuğu ve birleştiği yerlerde etkileşimler oluşur. Bu nedenle M-kuramı gerçekten de 11 boyutlu uzayda bütün bu düzlemlerin şekilleriyle ilgili bir çalışma alanıdır.



Her şeyin kuramı Bütün parçacıkları ve etkileşimleri tek bir çerçevede açıklamaya çalışan sicim kuramı, dört temel kuvveti (elektromanyetizma, kütleçekim, güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetleri) birleştiren ve parçacıkların kütleleri ile özelliklerini de açıklayan tek bir kurama "her şeyin kuramı"na yaklaşmaya çalışır. Bu, her şeyin temelinde yatacak derin bir kuram olacaktır. Einstein 1940'lı yıllarda kuantum kuramı ile kütleçekimi birleştirmeye çalışmış ama başaramamıştı – o tarihten beri bunu başarabilen de çıkmadı. Başarılması imkânsız, boşuna bir çaba olduğu düşünülerek Einstein'ın çalışmalarıyla dalga geçilmişti. Sicim kuramı kütleçekimi denklemlerine katabiliyor; barındırdığı bu potansiyel nedeniyle de insanlara çekici geliyor. Bununla birlikte, onanması bir yana tam olarak formüle edilmesi için bile uzun bir zaman lazım.

Sicim kuramı, matematiğinin güzelliği sayesinde bir yenilik olarak ortaya çıktı. 1920'li yıllarda Theodor Kaluza harmonikleri parçacıkların bazı sıra dışı özelliklerini tanımlamak için kullanmıştı. Fizikçiler aynı matematiğin bazı kuantum olgularını da tanımladığını fark ettiler. Aslında dalgalı matematik hem kuantum mekaniğinde hem de onun uzantısı olan parçacık fiziğinde kullanılabilir. Bu daha sonra geliştirilerek ilk sicim kuramlarına

"Hiçbir şeyi hesaplamamalarından hoşlanmıyorum. Fikirlerini gözden geçirmemelerinden hoşlanmıyorum. Deneyle uyuşmayan şeylere 'Evet ama hâlâ geçerli olabilir' demek için bir açıklama uydurmalarından hoşlanmıyorum."

Richard Feynman, 1918-88

doğru evrim geçirmiştir. Birçok varyasyonu vardır. Ayrıca tümüyle kuşatıcı bir kuram olmaktan da hâlâ biraz uzaktır.

Her şeyin teorisini bulmak genellikle indirgemeci olan ve yapıtaşlarının anlaşılmasıyla birlikte bütün dünyanın anlaşılacağını düşünen bazı fizikçilerin temel amacıdır. Eğer titreşen sicimlerden oluşan atomu çözerseniz, ondan yola çıkarak bütün kimyayı, biyolojiyi ve diğerlerini açıklayabilirsiniz. Bu yaklaşım diğer biliminsanlarına biraz komik gelir. Atomun bilgisi, sosyal kuram ya da evrim veya vergiler hakkında ne söyleyebilir ki? Her şeyin ölçeği kolayca büyütülemez. Böyle bir kuramın dünyayı atomaltı etkileşimlerin saçma gürültüsü olarak tanımlayacağını ve bunun nihilistçe ve yanlış olduğunu düşünürler. İndirgemecilerin bakış açısı kasırga örüntüleri ya da kaos gibi apaçık makroskobik davranışları göz ardı eder. Steven Weinberg bunu şöyle betimlemiştir: "Tüyler ürpertici ve duygusuz. Olduğu gibi kabul edilmeli. Onu böyle sevdiğimiz için değil ama dünyanın işleyişi böyle olduğu için kabul etmeliyiz."

Sicim kuramı ya da daha doğrusu kuramları hâlâ belirsizlik içindedir. Nihai bir kuram henüz ortaya çıkmış değildir. Fizik çok karmaşıklaşmış olduğundan kurama dahil edilecek de çok şey vardır ve dolayısıyla ortaya çıkması daha epey sürebilir. Evren'i çalmakta olan bir sürü harmonik olarak görmek çekicidir. Ama yandaşları bazen kendilerini ince ayrıntılara öylesine kaptırmaktadırlar ki daha büyük ölçekli örüntülerin önemini hafife almaktadırlar. Yani daha güçlü bir yaklaşım ortaya çıkana dek sicim kuramcıları kenarda oturabilirler. Ama bilimin doğası göz önüne alındığında araştırıyor olmaları –hem de alışılmadık bölgelerde– iyi bir şeydir.

» fikrin özü
Evrensel armoni

40 Özel Görelilik

Newton'ın hareket yasaları futbol toplarından, otomobillere ve kuyrukluyıldızlara kadar nesnelerin çoğunun hareketini tanımlar. Ama 1905'te Albert Einstein nesneler çok hızlı hareket ettiğinde birtakım garip etkilerin oluştuğunu göstermiştir. Hızı ışık hızına yaklaşan bir nesneyi izlerseniz, onun giderek daha ağırlaştığını, boyunun kısaldığını ve daha yavaş yaşlandığını görürsünüz. Bunun nedeni hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidemeyecek oluşudur. Bu nedenle evrensel hız sınırına yaklaştıkça zaman ve uzay deforme olmaya başlar.

"Evren ile ilgili en anlaşılmaz şey onun tümüyle anlaşılabilir oluşudur."

Albert Einstein
1879-1955

Ses dalgaları havada ilerler ama hiç atomun olmadığı boş uzayda titreşimleri yol alamaz. Bu nedenle "Uzayda çığlığınızı kimse duymaz" lafı doğrudur. Ama ışık boş uzayda da yayılabilir. Güneş'i ve yıldızları gördüğümüz için bunu iyi biliyoruz. Acaba uzay özel bir şeyle, elektromanyetik dalgaların içinde yayılabileceği bir tür elektriksel havayla mı doludur? 19. yüzyılın sonunda fizikçiler gerçekten de böyle olduğunu düşünüyordu. Uzay, ışığın içinde yayılmasını sağlayan bir tür gazla, "eter"le dolu olmalıydı.

Işık hızı Ne var ki 1887'de yapılan ünlü bir deneyle eter diye bir şeyin var olmadığı gösterildi. Dünya, Güneş'in çevresinde döndüğü için uzaydaki konumu sürekli değişir. Albert Michelson ve Edward Morley uzayda eterin sabit olduğunu varsayarak Dünya'nın onun içinde ilerleyişi sayesinde eteri saptayacak zekice bir deney tasarladılar. Birbirlerine göre dik açıyla gönderilen iki ışık ışını uzaktaki birer aynaya çarpıp yansıyıp geri döneceklerdi. Tıpkı bir yüzücünün önce akıntıya karşı yüzüp bir yere ulaştıktan sonra akıntıyla beraber geri yüzmesinde olduğuna benzer bir etkiyi ışıkta da gözlemeyi umuyorlardı. Burada akıntı Dünya'nın eter içindeki hareketine karşılık geliyordu. Ama ışınlar karşılaştırıldığında hiçbir fark gözlenmedi; başlangıç noktalarına aynı zamanda döndüler. Işığın hangi yönde gidiyor oluşunun ya

dönem

1881
Michelson ile Morley eterin varlığını kanıtlayamaz.

1905
Einstein özel görelilik kuramını yayımlar.

İkizler paradoksu

Zamanın genişlemesinin insanlara uygulandığını düşünün. Aslında olabilir de. Tek yumurta ikiziniz çok hızlı bir roketle ve uzunca bir süre için uzaya gönderilsin. Kardeşiniz, Dünya'da yaşayan size göre daha yavaş yaşlanır. Döndüğünde sizi yaşlanmış bulacaktır; halbuki kendisi genç kalmıştır. Bu imkânsız gibi görünebilir. Ama aslında ortada paradoks yoktur. Çünkü kardeşiniz uzayda yolculuk yaparken böylesi bir değişikliğe neden olan güçlü kuvvetlerin etkisinde kalmıştır. Böyle bir zaman kayması nedeniyle bir çerçevede gerçekleşen olaylar diğer çerçevede aynı anda gerçekleşmez. Zamanın yavaşlamasının yanında uzunluklar da kısalır. Böyle bir hızda ilerleyen bir nesne ya da insan her iki etkiyi de hissetmez ama diğer çerçevedekiler onu bu şekilde görür.

da Dünya'nın hareketinin hiçbir etkisi yoktu, ışığın hızı değişmiyordu. Işığın hızı hareketten etkilenmiyordu. Deney eter diye bir şeyin var olmadığını kanıtladı – ama bunun ortaya çıkması Einstein'ın hoşuna gitti.

Tıpkı Mach ilkesi (bkz. s. 4) gibi bu da Evren'de, nesnelerin içinde ilerlediği, arkaplanda yer alan bir ızgaranın olmadığını gösteriyordu. Su ve ses dalgalarının tersine ışık her zaman aynı hızda ilerliyordu. Bu oldukça garipti ve olağan deneyimlerimizde gözlemlediğimiz gibi hızların toplanması gerektiği anlayışından çok farklıydı. Otomobilinizle saatte 50 km'lik bir hızla gidiyorsanız ve saatteki hızı 65 km olan bir otomobil yanınızdan geçerse, siz duruyormuşsunuz da o otomobil saatte 15 km'lik bir hızla yanınızdan geçiyormuş gibi hissedersiniz. Ama isterseniz saatte yüzlerce kilometrelik hızlarda koşun ışık yine aynı hızda ilerler. Bir bisikletin üzerinde de olsanız, bir jetin koltuğunda oturuyor da olsanız elinizdeki feneri yaktığınızda çıkan ışık ışınları tam olarak saniyede 300 milyon metre hızla ilerler.

Işığın sabit hızlı oluşu Albert Einstein'ın aklını karıştırmış ve onun 1905'te özel görelilik kuramını geliştirmesine yol açmıştır. O zamanlar İsviçre patent bürosunda memur olarak çalışan ve hiç bilinmeyen Einstein, denklemlerini boş zamanlarında sıfırdan üretmişti. Özel görelilik Newton'dan bu

1971

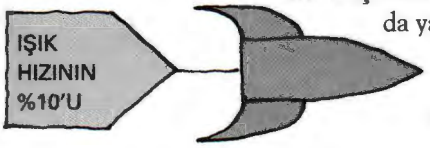
Uçaklara yerleştirilen hassas saatlerle zamanın genleştiği gösterilir.

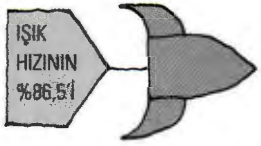
"Eteri dahil etmenin gereksizliği anlaşılacaktır zira ... ne mutlak durgun bir uzay özel birtakım özellikler sunabilir ne de boş uzayda elektromanyetik etkileşimin gerçekleştiği bir noktayla ilişkilendirilebilecek bir hız vektörü olabilir."

Albert Einstein, 1905

yana fizikteki en büyük atılımdı ve fiziği kökten değiştirdi. Einstein ışığın hızının sabit bir değer olduğu ve ne kadar hızlı hareket ederlerse, etsinler bütün gözlemciler için aynı görüneceği ön kabulüyle yola çıktı ve eğer ışığın hızı değişmiyorsa, o zaman bunu telafi etmek için birtakım başka şeylerin değişmesi gerektiği sonucuna vardı.

Uzay ve zaman Edward Lorenz, George Fitzgerald ve Henri Poincaré tarafından geliştirilen fikirleri izleyen Einstein ışık hızına yakın hızlarda giden gözlemcilerin farklı bakış açılarının bağdaşması için uzayın ve zamanın şeklinin bozulması gerektiğini gösterdi. Üç boyutlu uzay ve tek boyutlu zaman Einstein'ın güçlü hayal gücünün işlediği dört boyutlu bir evren oluşturuyordu. Hız, mesafenin zamana bölümüydü. Öyleyse ışık hızının aşılmasının önüne geçmek için mesafelerin kısalması ve zamanın da yavaşlaması gerekiyordu. Dolayısıyla sizden uzaklaşan ve ışık hızına yakın bir hızla ilerleyen bir roket size kısalmış gibi görünmeli ve roketin içindekiler için de zaman size göre daha yavaş geçmeliydi.





Einstein farklı hızlarda ilerleyen gözlemciler için hareketin yeni yasalarının nasıl olması gerektiğini çözdü. Eter gibi sabit referans çerçevelerinin varlığını reddetti. Herhangi bir özel bakış noktasının bulunmadığını ve bütün hareketlerin göreli olduğunu ileri sürdü. Eğer bir trendeyseniz ve yan perondaki trenin hareket ettiğini görürseniz, kendi treninizin mi yoksa ötekinin mi harekete geçtiğini bilemezsiniz. Dahası kendi treninizin peronda duruyor olduğunu görseniz bile hareketsiz olduğunuzu düşünemezsiniz, ancak platforma göre hareketsiz olduğunuzu düşünebilirsiniz. Dünya'nın Güneş'in çevresindeki ilerleyişini hissetmeyiz. Benzer bir şekilde Güneş'in de galaksimiz içindeki ilerleyişini ya da Samanyolu'nun dev Virgo galaksi kümesine doğru çekilişini fark edemeyiz. Bütün deneyimlenen şey aslında göreli harekettir – sizinle peron arasındaki hareket ya da yıldızlara göre Dünya'nın eksenindeki dönüştür.

Einstein bu farklı bakış noktalarına eylemsizlik çerçeveleri dedi. Eylemsizlik çerçeveleri birbirlerine göre sabit hızla hareket eden, hiç ivmelenme ya da bir kuvvet hissetmeyen uzay bölgeleridir. Yani otomobilinizde oturup saatte 50 km sabit hızla ilerlerken bir eylemsizlik çerçevesindesinizdir ve tıpkı saatte 100 km hızla giden bir trende (bir başka eylemsizlik çerçevesi) ya da saatte 500 km hızla uçan bir uçakta (bir başkası) hissettiklerinizi hissedersiniz. Einstein fizik yasalarının bütün eylemsizlik çerçevelerinde aynı olduğunu belirtmiştir. Otomobilde, trende ya da uçakta kaleminizi düşürürseniz, kalem yere aynı şekilde düşer.

"Işıktan daha hızlı gitmek imkânsızdır ve aslında şapkanız uçacağı için pek de arzu edilen bir şey değildir."

Woody Allen

Daha yavaş ve daha ağır Maddenin pratikte erişebileceği (ışık hızına yakın) en yüksek hızlardaki göreli hareketini anlayan Einstein zamanın da yavaşlayacağını öngörmüştür. Zamanın genişlemesi hareket halindeki farklı eylemsizlik çerçevelerinde saatlerin farklı hızlarda ilerleyeceğini ifade eder. Bu öngörü de 1971'de dünyanın çevresini iki kez dolanan ve ikisi batıya ikisi de doğuya doğru yapılan tarifeli dört uçak seferinde taşınan dört atom saatiyle kanıtlanmıştır. Dünya'nın yüzeyinde ABD'de bulunan bir başka saatle yapılan karşılaştırma, uçaklardaki saatlerin (Einstein'ın özel göreliliğine uygun olarak) yerdekine göre saliseler ölçüsünde geri kaldığını göstermiştir.

Nesnelerin ışık hızı duvarını aşmalarını engelleyen başka bir şey de ışık hızına yaklaştıkça $E=mc^2$ denklemine uyacak şekilde kütlelerinin büyümesidir. Işık hızında ilerleyen bir nesnenin kütlesi sonsuz olacağından daha fazla ivmelenmesi imkânsızdır. Ve kütlesi olan hiçbir şey ışık hızına ulaşamaz, yalnızca yaklaşabilir; hızı arttıkça kütlesi artar ve dolayısıyla ivmelenmesi daha da zorlaşır. Işık, kütlesiz fotonlardan oluşur ve onlar bu durumdan etkilenmez.

Einstein'ın özel göreliliği daha önceki fizikten radikal bir kopuştur. Zamanın ve kütlenin genişlemesinin bütün çıkarımlarının yanı sıra, madde ile enerjinin aynı şey oluşu da şok edicidir. Einstein çalışmasını yayımladığında hiç tanınmayan bir biliminsanıydı. Çalışmalarını Max Planck okudu ve muhtemelen onun Einstein'ın fikirlerini benimsemesi sayesinde Einstein bilim camiasında yer bulma fırsatı yakaladı. Planck, Einstein'ın denklemlerindeki güzelliği fark etti ve onu küresel şöhrete doğru fırlattı.

» fikrin özü
Hareket görelidir

41 Genel Görelilik

Kütleçekimi özel görelilik kuramına dahil eden Einstein genel görelilik kuramıyla uzay ve zamana bakışımızı kökten değiştirmiştir. Newton'ın yasalarının ötesine geçerek kara deliklerin, solucan deliklerinin ve kütleçekim merceklerinin olduğu yepyeni bir evrenin kapılarını açmıştır.

Yüksek bir binadan ya da uçaktan atlayan bir adam düşünün; yerçekimi nedeniyle yere doğru hızla düşer. Albert Einstein böyle bir serbest düşme durumunda düşen kişinin kütleçekimi hissetmeyeceğini fark etti. Yani düşen kişi ağırlıksızlaşıyor olmalıydı. Günümüzde astronot eğitimi alanlar için uzayın bu sıfır kütleçekim koşulu, içi boşaltılmış bir yolcu uçağının ("kusma kuyrukluyıldızı" gibi çekici bir adı da vardır) bir eğlence treninin ilerleyişini taklit eden uçuşu sırasında oluşturulur. Uçak yükselirken içindekiler yerçekimi kuvvetini daha ağır hisseder ve koltuklarına yapışırlar. Ama uçak baş aşağı uçmaya başladığında yerçekiminin etkisinden kurtulurlar ve uçağın içinde havada uçmaya başlarlar.

İvme Einstein bu ivmenin yerçekimi ivmesine eşit olduğunu fark etti. Yani tıpkı özel göreliliğin birbirlerine göre sabit hızlarla ilerleyen referans (yani eylemsizlik) çerçevelerinde ne olduğunu tanımlaması gibi kütleçekim de ivmelenen bir referans çerçevesinde olmanın bir sonucuydu. Einstein bunun, yaşamında kendisini en mutlu eden düşünce olduğunu söyler.

İzleyen birkaç yıl içinde Einstein bunun sonuçları üzerine düşündü. Yakın çalışma arkadaşlarıyla fikirlerini paylaştı ve son matematiksel yaklaşımları, onları özetleyecek biçimde kullanarak genel görelilik adını verdiği tam bir kütleçekim kuramı oluşturdu. Kuramını yayımladığı 1915'te Einstein çok meşguldü ve çok kısa sürede kuramını birkaç kez gözden geçirip yeniledi. Diğer fizikçiler onun gösterdiği ilerleme karşısında şaşkınlığa düştüler. Kuramın sınanabilir öngörüleri bile tuhaftı. Bunlar arasında kütleçekim

dönem

1687
Newton kütleçekim yasasını ortaya atar.

1915
Einstein genel görelilik kuramını yayımlar.

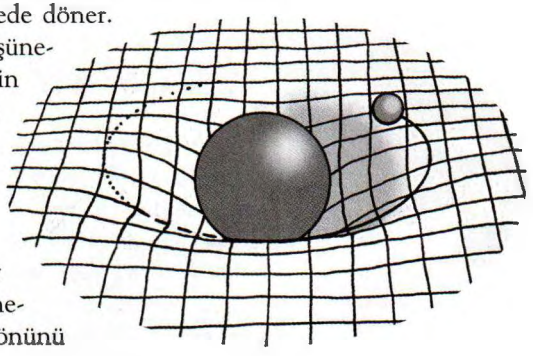
"Zamanın, uzayın ve kütleçekimin maddeden bağımsız birer varlığı yoktur."

Albert Einstein, 1915

alanının ışığı bükebileceği ve Merkür'ün elips şeklindeki yörüngesinin Güneş'in kütleçekimi nedeniyle daha yavaş döndüğü de vardı.

Uzay-zaman Genel görelilik kuramında üç uzay boyutu ile bir zaman boyutu birleşip dört boyutlu bir uzay-zaman ızgarası yani metriği oluşturur. Işığın hızı sabittir ve aşılması imkânsızdır. İlerlerken ve ivmelenirken ışık hızının sabitliğini korumak adına bu uzay-zaman metriği deforme olur.

Genel göreliliği akılda canlandırmanın en iyi yolu uzay-zamanı ortası boş bir masaya gerilmiş bir kauçuk örtü olarak düşünmektir. Kütlesi olan nesneler bu örtünün üzerine konan toplar gibidir. Çevrelerindeki uzay-zamanı bükerler. Kauçuk örtünün üzerine Dünya'yı temsilen bir top koyduğunuzu düşünün. Top kauçuk örtüde bir çöküntü oluşturur. Sonra bir kuyruklu yıldızı temsilen küçük bir bilye fırlatırsanız, kıvrılarak Dünya'ya doğru gidecektir. Bu onun kütleçekimi nasıl deneyimlediğini gösterir. Eğer bilye yeterince hızlı fırlatılırsa ve Dünya'nın oluşturduğu çukur da yeterince derinse, gözü pek bir bisikletçinin aşırı eğimli bir pistte bisiklet sürmesi gibi bilye de Ay'ınkine benzer dairesel bir yörüngede döner. Bütün Evren'i böyle bir kauçuk örtü olarak düşünebilirsiniz. Gezegenlerin, yıldızların ve galaksilerin hepsi benzer çukurlar oluşturur ve yakınlarından geçen küçük nesneleri, tıpkı topların golf sahasının yüzey şeklini izleyerek ilerlemesinde olduğu gibi, etkileyip yollarını değiştirirler.



Einstein, uzay-zamanın böyle bükülebiliyor olmasından dolayı ışığın büyük kütleli bir nesnenin, örneğin Güneş'in, yakınından geçerken yönünü

1919

Güneş tutulması gözlemleri Einstein'ın kuramını doğrular.

1960'lar

Uzayda kara deliklerle ilgili kanıtlar gözlenir.



değiştireceğini fark etti. Güneş'in arkasında kalan bir yıldızın gözlemlenen konumunun, ondan gelen ışık bükülmüş olacağından biraz kaymış olacağı öngörüsünde bulundu. 29 Mayıs 1919'da gökbilimciler Einstein'ın öngörüsünü sınayacak bir Güneş tutulması gözlemi yapmak için toplandılar. Bazıları tarafından çılgınca görülen kuramın gerçeğe çok yakın olduğunun ortaya çıktığı an Einstein için en önemli anlardan biriydi.

Eğrilikler ve delikler Işığın Evren'de yol alırken büküldüğü kanıtlanmış oldu. Çok uzaklardaki galaksilerden gelen ışık ışınları büyük bir galaksi ya da bir galaksi kümesi gibi büyük kütlelerin bulunduğu bir bölgeden geçerken açıkça bükülür. Arkada kalan noktasal ışık kaynakları sanki bir yay oluşturuyormuş gibi görünür. Bu olguya, mercek etkisine benzediği için "kütleçekimsel mercekleme" denir. Eğer galaksi aradaki nesnenin tam arkasında kalıyorsa, o zaman ondan gelen ışık tam bir çember oluşturacak şekilde yayılır; buna da Einstein halkası denir. Hubble Uzay Teleskopu'yla bu görüntünün birçok fotoğrafı çekilmiştir.

Einstein'ın genel görelilik kuramı günümüzde bütün Evren'i modellemede yaygın olarak kullanılıyor. Uzay-zaman; tepeleri, vadileri ve çukurları olan bir manzara gibi düşünülebilir. Genel görelilik yapılan bütün gözlemsel

Kütleçekim dalgaları

Genel göreliliğin bir başka özelliği, uzay-zaman örtüsünde dalgalanmaların olabileceğini öngörmesidir. Kütleçekim dalgaları özellikle kara deliklerden ve kendi ekseninde hızla dönen çok yoğun yıldızlar olan pulsarlardan yayılır. Gökbilimciler pulsarların dönüşünün yavaşladığını gözlemlemiş, yavaşlamadan dolayı meydana gelen enerji kaybının kütleçekim dalgalarına dönüştüğüne hükmetmişlerdir. Bunu gözlemlemek amacıyla Dünya'da ve uzayda dev dedektörler kurulmuş, böylece olağanüstü uzun lazer ışınlarındaki sallanma gözlemlenerek kütleçekim dalgalarının varlığı gerçek hayatta da saptanmıştır. Bu olay, Einstein'ın genel görelilik kuramının bir başka büyük başarısıdır.

"Bir kütleçekim alanının yarattığı ivme ile bir referans çerçevesinin aynı değerdeki ivmesinin birbirlerinin tam fiziksel karşılığı olduğunu kabul edeceğiz. Bu kabul, görelilik ilkesini, referans çerçevesinin düzgün ivmeli hareketini de kapsayacak şekilde genişletir."

Albert Einstein, 1907

testlerden başarıyla çıkmıştır. Kuramın sınandığı bölgeler genellikle kütleçekimin olağanüstü güçlü ya da çok zayıf olduğu bölgelerdir.

Kara delikler (bkz. s. 168) uzay-zaman örtüsündeki olağanüstü derin kuyulardır. Öyle derin ve diktirler ki onlara belli bir mesafenin ötesinde yaklaşan her şey, ışık bile, içlerine düşer. Kara delikler uzay-zaman içindeki delikler yani tekilliklerdir. Uzay-zaman bükülerek solucan delikleri yani tüneller de oluşturabilir ama şimdiye kadar kimse böyle bir şey gözlemlememiştir.

Ölçeğin öbür ucunda yani kütleçekimin çok zayıf olduğu durumda kütleçekimin en sonunda çok minik kuantumlara (ışığın yapıtaşı fotonlar gibi) parçalanması beklenebilir. Ama kütleçekimde henüz kimse böyle bir taneli yapı gözlemiş değildir. Kütleçekimin kuantum teorileri üretiliyor ama destekleyici kanıtlar henüz bulunamadı. Kuantum kuramı ile kütleçekimi birleştirmek pek de kolay değil. Einstein kariyerinin geri kalanını hep bunu gerçekleştirmeye çalışarak geçirdi. Ama o bile başaramadı. Bu zor iş olduğu gibi duruyor.

» fikrin özü
Eğri uzay-zaman

42 Kara Delikler

Bir kara deliğe düşmek hiç de hoş bir şey olmaz. Bütün uzuvlarınız gerilerek parçalanırken sizi dışarıdan izleyen arkadaşlarınıza da düşme anınız zamanda donmuş gibi görünür. Kara delikler ilk başta kaçış hızı ışık hızından büyük olan donmuş yıldızlar olarak düşünülmüştü. Artık Einstein'in uzay-zaman örtüsündeki delikler ya da tekillikler olarak ele alınıyorlar. Kesinlikle hayal ürünü değiller; galaksilerin merkezinde dev kara delikler gerçekten vardır. Bizimkinin merkezinde de var. Küçük olanları da ölü yıldızların hayaletleri olarak uzayda yer alıyorlar.

Bir topu havaya fırlattığınızda belli bir yüksekliğe kadar çıkar ve sonra düşmeye başlar. Ne kadar hızlı fırlatırsanız, o kadar yukarı gider. Eğer topu yeteri kadar hızlı fırlatırsanız, top Dünya'nın yerçekimini yener ve uzayda yol almaya başlar. Bunun gerçekleşmesi için gereken hıza "kaçış hızı" denir ve bu hız saniyede 11 km'dir (yani saatte yaklaşık 40.000 km'dir). Dünya'dan uzaklaşabilmek için roketlerin bu hıza çıkabilmesi gerekir. Eğer çok daha küçük olan Ay'ın yüzeyinde olsaydınız kaçış için gereken hız 2,4 km/s olurdu. Ama daha kütleli bir gezegende olsaydınız bu kez de kaçış hızı daha büyük olurdu. Eğer o gezegen çok çok kütleli olsaydı, o zaman kaçış hızı ışık hızını bile geçebilirdi ve bu durumda ışık bile onun kütleçekimsel çekişinden kaçamazdı. Böyle büyük kütleli ve yoğun olan, ışığın bile kaçamadığı nesnelere kara delik denir.

Olay ufku Kara delik fikri 18. yüzyılda jeolog John Michell ve matematikçi Pierre-Simon Laplace tarafından ortaya atılmıştır. Einstein'ın görelilik

"Tanrı yalnızca zar atmakla kalmaz, bazen onları görülemeyecekleri yerlere de fırlatır."

Stephen Hawking, 1977

dönem

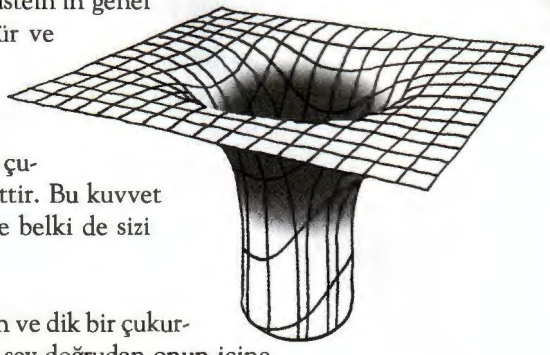
1784

Michell "karanlık yıldızların" bulunabilirliği sonucuna ulaşır.

1930'lar

Donmuş yıldızların varlığı öngörülür.

kuramlarını geliştirmesinden sonra Karl Schwarzchild kara deliklerin neye benziyor olabileceği üzerine çalışmıştır. Einstein'ın genel görelilik kuramında uzay ve zaman bir bütündür ve kauçuk bir örtü gibi davranır. Kütleçekim nesnelerin kütlesine göre bu örtüyü gerer, deforme eder. Ağır bir gezegen bir uzay-zaman çukurunda yer alır ve onun kütleçekim etkisi de çukura doğru yuvarlanırken hissedilen kuvvete eşittir. Bu kuvvet belki sizin uzayda ilerlediğiniz yönü değiştirir ve belki de sizi kendi çevresinde bir yörüngeye oturtur.



Öyleyse kara delik nedir? Kara delik öylesine derin ve dik bir çukurdur ki ona belli bir mesafeden fazla yaklaşan her şey doğrudan onun içine düşer ve geri dönemez. O, uzay-zaman örtüsünde bir deliktir; basketbol potasının filesi gibidir – ama topunuzu asla geri çıkaramayacağınız bir file.

Eğer bir kara deliğin uzağından geçerseniz, belki rotanız ona doğru sapar ama içine düşmeyebilirsiniz. Ama ona çok yakınsanız, sarmal bir rota izleyerek içine düşersiniz. Aynı kaderi bir ışık fotonu da yaşayabilir. Böyle iki sonucu birbirinden ayıran kritik mesafeye "olay ufku" denir. Olay ufkunun içindeki her şey, ışık bile kara deliğe düşmeye mahkumdur.

Bir kara deliğe düşme süreci "çubuk makarnalaşmak" şeklinde betimlenir. Kenarlar çok dik olduğundan kara deliğin içinde çok güçlü bir kütleçekim gradyanı vardır. Umarım başınıza gelmez ama olur da düşerseniz, kara deliğe önce giren ayağınız başınızdan uzaklaşır, vücudunuz sanki bir işkence sehpasındaymışçasına birden gerilir. Buna bir de dönme hareketini ekleyin; bedeniniz, çatala doladığınız makarnaya yapışmış bir sakız gibi uzar. Pek hoş bir durum değil. Bazı biliminsanları yanlışlıkla bir kara deliğe düşen şanssız bir insanın nasıl kurtulabileceği üzerine kafa yormuşlar ve bunun bir yolunun kurşundan bir cankurtaran simidinin içine girmek olabileceğini düşünmüşlerdir. Eğer simit yeteri kadar ağır ve yoğunsa, kütleçekim gradyanına karşı durabilir ve bedeninizin bütünlüğünü koruyarak yaşamınızı kurtarabilir.

1965
Kuasarlar keşfedilir.

1967
Wheeler donmuş yıldızlara kara delik adını verir.

1970'ler
Hawking kara deliklerin buharlaştığını ileri sürer.

Donmuş yıldızlar Kara delik adı donmuş yıldızları tanımlayan daha akılda kalıcı bir ad olarak 1967'de John Wheeler tarafından takılmıştır. Donmuş yıldızların varlığı 1930'lu yıllarda Einstein ve Schwarzchild'ın teorilerinde öngörülüyordu. Olay ufkunun yakınlarında uzay ve zamanın garip davranışı nedeniyle, içeri düşerken parlayan nesneler aynı zamanda yavaşlamış gibi görünmeliydi – çünkü ışık dalgalarının dışarıdan bakan gözlemciye ulaşması giderek daha uzun zaman alacaktı. Bir nesne olay ufkunu geçtiğinde dışarıdaki gözlemci zamanı gerçekten de durmuş gibi görür ve nesne olay ufkunu geçtiği anda zamanda donmuş gibi kalır. Buradan da kara deliklere (olay ufkunu geçme anında zamanda donmuş gibi kalındığı için) ilk başta donmuş yıldız deniyordu. Astrofizikçi Subrahmanyan Chandrasekhar, kütlesi Güneş'in kütlesinden 1,4 kat daha büyük olan yıldızların en sonunda birer kara delik olacağını ileri sürmüştü. Ne var ki Pauli dışlama ilkesi (bkz. s. 120) nedeniyle beyaz cücelerin ve nötron yıldızlarının kuantum basıncından aldıkları destekle ayakta kaldıklarını artık biliyoruz. Kara delik olması için yıldızların kütlelerinin Güneş'in kütlesinin en az 3 katı olması gerekir. Donmuş yıldızlara yani kara deliklere ilişkin kanıtlar 1960'lı yıllara kadar gözlenememiştir.

Eğer kara delikler ışığı emiyorsa, onları nasıl görebiliriz? Bunun iki yolu vardır. Birincisinde başka nesneleri kendilerine çektikleri için onları saptayabiliriz. İkincisinde kara deliklere düşerken gazlar ısınır ve yok olmadan

Buharlaşma

Kulağa çok garip gelebilir ama kara delikler buharlaşır. 1970'li yıllarda Stephen Hawking kara deliklerin tümüyle kara olmadığını ve kuantum etkileri nedeniyle parçacık yaydığını ileri sürdü. Bu şekilde giderek kütle kaybeden kara delikler, büzüşür, küçülür ve sonunda yok olurlar. Kara deliğin enerjisi sürekli parçacık çiftleri ve onların karşı parçacık ikizlerini yaratır. Eğer bu olay ufkuna yakın gerçekleşirse, bazen parçacıklardan biri kara deliğe düşerken diğeri kaçabilir. Dışarıdan bakan birine kara delik (Hawking ışıması denen) parçacık yayıyor gibi görünür. Bu enerji yayımı kara deliğin küçülerek yok olmasına neden olur. Bu fikir hâlâ kuramsaldır ve kimse sonunda kara deliklere ne olduğu hakkında bir şey bilmiyor. Görece yaygın oluşları, bu sürecin uzun sürdüğünü –ki hâlâ varlıklarını devam ettiriyorlar– düşündürüyor.

"Doğanın kara delikleri Evren'deki en mükemmel makroskobik nesnelerdir. Yapımları için gereken iki öğe vardır: bizim uzay ve zaman kavramlarımız."

Subrahmanyan Chandrasekhar, 1983

önce parlar. İlk yöntem galaksimizin merkezindeki dev kara deliğin saptanmasında kullanılmıştır. Yakınından geçen yıldızların onun etkisine girerek yörüngelerinin basıklaşıp uzadığı gözlenmiştir. Samanyolu'nun merkezindeki dev kara deliğin yarıçapı yaklaşık 10 milyon kilometre (30 ışık saniyesi) ve kütlesi de bir milyon Güneş kadardır. Galaksilerin merkezlerinde yer alan böyle dev kara deliklere süper kütleli kara delik denir. Nasıl oluştuklarını bilemiyoruz. Ama galaksilerin gelişimlerini etkiledikleri biliniyor. Bu nedenle galaksilerin oluştukları andan itibaren var olabilirler ama belki de milyonlarca yıldızın zaman içinde düşmesiyle oluşmuşlardır.

Bir kara deliği görmenin ikinci yolu ona düşen sıcak gazların parlayıp yaydığı ışıkları saptamaktır. Evren'deki en fazla ışık yayan nesneler olan kuasarlar aslında çok uzaklarda bulunan ve merkezlerindeki süper kütleli kara deliklerin yuttuğu gazlar nedeniyle parlayan galaksilerdir. Yalnızca birkaç Güneş kütlesinde olan daha küçük kara delikler de içlerine düşen gazların yaydığı X-ışınları sayesinde saptanabilir.

Solucan delikleri Uzay-zaman örtüsündeki bir kara deliğin dibinde ne vardır? İddialara göre tek bir noktada sona ererler ya da gerçekten örtüdeki birer deliktirler. Ama kuramcılar iki deliğin birleştiğinde ne olabileceğini merak edip üzerine düşünmüşlerdir. Birbirine yakın iki kara deliği uzay-zaman örtüsünde asılı duran iki uzun tüp olarak zihninizde canlandırabilirsiniz. Eğer tüpleri alttan birleştirirseniz, kara deliklerden oluşan iki ağzıyla bir solucan deliğinin oluştuğunu düşünebilirsiniz. "Cankurtaranınızla" bir kara deliğe atlayıp diğerinden çıkabilirsiniz. Bu fikir bilimkurgu yapıtlarında uzay ve zamanda yolculuk yapmada sıkça kullanılır. Belki de solucan deliği tümüyle başka bir evrene açılır. Evrenleri birbirlerine bağlama olasılıkları sonsuzdur ama yanınıza "cankurtaran" simidinizi almayı unutmayın.

» fikrin özü
Işık kapanı

43 Olbers Paradoksu

Gece gökyüzü neden karanlık olur? Eğer Evren sonsuz büyüklükte olsaydı ve ebediyen var olsaydı, bütün gökyüzü Güneş gibi parlak olurdu ama öyle değildir. Gece gökyüzüne baktığınızda gerçekte Evren'in geçmişine bakarsınız. Parlayan sınırlı sayıda yıldız gerçektir ve bunlar Evren'in hem boyutlarının hem de yaşının sınırlı olduğunu gösterir. Modern kozmoloji ve Büyük Patlama için gereken zemini Olbers paradoksu hazırlamıştır.

Bütün Evren'in haritasını çıkarmanın ve onun tarihine göz atmanın çok zor olacağını ve dağların tepelerinde dev teleskoplara, uzayda pahalı uydulara ve Einstein gibi dehalara gerek olacağını düşünebilirsiniz. Ama gerçekte gökyüzünün açık olduğu bir gece dışarı çıkıp gökyüzüne bakarak genel görelilik kadar derin bir gözlem yapabilirsiniz. Geceleri gökyüzü karanlık olur. Bu, her ne kadar bize çok doğal bir şeymiş gibi gelse de gökyüzünün Güneş gibi parlak değil de karanlık oluşu aslında Evren'e ilişkin çok şey anlatır.

Yıldız ışığı yıldız parlaklığı Eğer Evren sonsuz büyüklükte olsaydı ve her yöne doğru sonsuza kadar uzasaydı, o zaman gökyüzünde baktığımız her noktada bir yıldız görmemiz gerekirdi. Bütün görüş hatlarımız sonunda bir yıldızın yüzeyine ulaşırdı. Bu, ağaçların arasından ormanın içlerine bakmak gibidir – yakınlardaki ağaç gövdelerini ayırt edebilirsiniz, yakın olanlar büyük görünür ama uzaklardaki ve daha uzaklardaki ağaçlar görüşümüzü tümüyle kapatır. Dolayısıyla eğer orman gerçekten büyükse onun ardındaki manzarayı göremezsiniz. Eğer Evren sonsuz büyüklükte olsaydı, olması gereken tam da buydu. Her ne kadar yıldızlar ağaçlardan çok daha aralıklı duruyorlarsa da en sonunda bütün görüşümüzü gerçekten kapatacak kadar çok olmalıdırlar.

dönem

1610

Kepler gece gökyüzünün karanlık olduğuna işaret eder.



Eğer bütün yıldızlar Güneş'imiz gibiyse gökyüzünün her noktası yıldız ışığıyla dolu olmalıdır. Uzaktaki bir yıldız sönük görünebilir ama o uzaklıkta daha birçok yıldız vardır. Eğer bu yıldızlardan gelen bütün ışıkları toplarsanız, Güneş'ten gelen kadar ışık geldiğini ve dolayısıyla gece bütün gökyüzünün Güneş kadar parlak olması gerektiğini görürsünüz.

Böyle olmadığı apaçıktır. Gece gökyüzünün karanlık oluşu paradoksunu Johannes Kepler 17. yüzyılda fark etmişti. Ama bu paradoks ancak 1823'te Alman gökbilimci Heinrich Olbers tarafından formüle edilebildi. Paradoksun çözümleri bizi derin sonuçlara götürür. Birkaç açıklaması vardır. Bunların her birindeki gerçekler artık modern gökbilimcilerce iyice anlaşılmış ve benimsenmiştir. Yine de böyle basit bir gözlemin bu kadar çok şey anlatması şaşırtıcıdır.

Karanlık gökyüzü

Kentlerimizin parlak ışıkları nedeniyle karanlık bir gökyüzünün güzelliğini görmek giderek daha da zorlaşıyor. Tarih boyunca havanın açık olduğu gecelerde insanlar yukarıya bakıp gökyüzünün bir ucundan diğerine uzanan, yıldızlardan oluşan parlak bir kemeğini görebilmiştir. Buna Samanyolu deriz. Ona baktığımızda galaksimizin merkezi düzlemine baktığımızı artık biliyoruz. 50 yıl önce büyük kentlerde bile Samanyolu'ndaki parlak yıldızlardan bazılarını görmek mümkündü. Ne yazık ki günümüzde birkaç yıldız görebilmek gökyüzünü örten sarı dumanlı sisten dolayı kasabalarda hatta taşrada bile zor hale geldi. Bizden önceki bütün kuşaklara esin kaynağı olan görüntü artık kararıyor. Bunun başlıca sorumlusu sodyum buharlı sokak lambalarıdır – özellikle yalnızca yere doğru değil, yukarıya doğru da ışık verenleri. İçlerinde birçok astronotun da yer aldığı Uluslararası Karanlık Gökyüzü Birliği (International Dark-Sky Association) gibi gruplar ışık kirliliğini önlemek ve Evren manzaramızı korumak için kampanyalar düzenlemektedir.

1832

Olbers kendi adıyla anılan paradoksu formüle eder.

1912

Vesto Slipher galaksilerin kırmızıya kaymalarını ölçer.

Eureka!

Edgar Allan Poe, 1848'de yazdığı *Eureka* adlı süslü nesirde şu gözlemlerine yer veriyordu:

"Yıldız silsileleri sonsuz olsaydı, arkaplanda kalan gökyüzü bize tıpkı Galaksi'nin sergilediği gibi tekdüze bir parlaklık olarak görünürdü. Böyle parlak bir arkaplanda hiçbir nokta olamayacağı için yıldızlar da görünemeyecekti. Dolayısıyla bu şartlar altında teleskoplarımızın gökyüzünde her yönde bulduğu boşlukları açıklamanın tek yolu şöyle düşünmektir: Karanlık görünen bu arkaplanın bize olan uzaklığı o kadar muazzamdır ki ondan bize henüz hiçbir ışın ulaşamamıştır."

Ufkun sonu İlk açıklama Evren'in sonsuz büyüklükte olmadığıdır. Bir yerlerde sonu olmalıdır. Bu nedenle içinde de sınırlı sayıda yıldız olmalı ve her görüş hattında bir yıldız bulunamamalıdır. Bu durum, tıpkı bir ormanın kıyısında ya da küçük bir korunun içinde durup baktığınızda arkada kalan manzarayı görebilmeye benzer.

Bir başka açıklama da uzaktaki yıldızların sayıca az olduğu ve dolayısıyla toplamda bu kadar ışık yayamayacakları olabilir. Işık belli bir hızla yol aldığından uzaktaki yıldızların ışığının bize ulaşması yakındakilere göre daha uzun sürer. Işık bize Güneş'ten 8 dakikada, en yakın yıldız olan Alfa Centauri'den 4 yılda ulaşır. Galaksimizin öteki ucundaki yıldızların ışığı yüz bin yıldan önce ulaşmaz. Yakınımızdaki Andromeda galaksisinin ışıklarının bize ulaşması 2 milyon yıl sürer. Andromeda çıplak gözle görebildiğimiz en uzak nesnedir. Dolayısıyla gözlerimizle Evren'i tararken aslında zamanda gerilere doğru bakarız. Uzak yıldızları yakın olanlara göre daha gençkenki halleriyle görürüz. Eğer bu genç yıldızlar yakınımızdaki Güneş benzeri yıldızlara göre zamanda gitgide daha nadirleşiyorsa, bunun bize Olbers paradoksu açısından bir yararı olabilir. Güneş benzeri yıldızlar yaklaşık 10 milyar yıl yaşar (daha büyük olanlar daha az ve daha küçük olanlar da daha çok yaşar). Dolayısıyla yıldızların belli bir ömrü oluşu da paradoksu açıklamaya yardımcı olabilir. Bir yıldızı görebilmemiz için, en azından ışığının bize ulaşmasına yetecek süre kadar önce doğmuş olması gerekir. Yıldızlar ezelden beri var olmamıştır.

Kırmızıya kayma etkisi de uzak yıldızların Güneş'ten daha sönük görünmesine yol açabilir. Evren'in genişlemesi ışıkların dalgaboylarını da genişletir

ve uzak yıldızlardan gelen ışığın daha kırmızı görünmesine neden olur. Bu nedenle uzaktaki yıldızlar yakındakilere göre biraz daha soğuk görünür. Bu durum aynı zamanda Evren'in en uzak köşelerinden bize ulaşan ışık miktarını da sınırlandırır.

Uzaklardan gelen ışığın uzaylı uygarlıklar yarattığı is tabakası tarafından, demir iğneler tarafından ya da tuhaf gri bir tuz tarafından engellendiği gibi saçma fikirler de ortaya atılmıştır. Ama soğurulan ışıkların sıcaklık olarak yeniden yayılması ve dolayısıyla ışık tayfının başka bölgelerinde ortaya çıkması gerekir. Gökbilimciler gece gökyüzündeki ışıkları, radyo dalgalarından gama ışınlarına dek bütün dalgaboylarında kontrol etmiş ve görünür ışığın engellendiğini gösteren hiçbir işarete rastlamamışlardır.

İkisinin ortası Evren Sonuç olarak gece gökyüzünün karanlık olduğunu saptamak gibi basit bir gözlem bile bize Evren'in sonsuz olmadığını gösterir. Yalnızca belli bir süredir vardır, boyutları sınırlıdır ve içindeki yıldızlar da ezelden beri var değildir.

Modern kozmoloji bu fikirler üzerine kuruludur. Gördüğümüz en yaşlı yıldızlar yaklaşık 13 milyar yaşındadır. Dolayısıyla Evren'in bundan daha önce doğmuş olması gerektiğini biliyoruz. Olbers paradoksu bu tarihten çok da uzak bir geçmiş olamayacağını söylüyor, aksi takdirde daha birçok eski yıldız kuşağı görmemiz gerekirdi ama görmüyoruz.

Uzak galaksiler yakınlardakilere göre kırmızıya kayma nedeniyle gerçekten de daha kırmızı görünürler. Bu nedenle onları optik teleskoplarla görmek daha zordur. Kırmızıya kayma Evren'in genişlediğini gösterir. Günümüzde bilinen en uzak galaksiler öylesine kırmızıdır ki artık görünmez olmuşlardır ve yalnızca kızılötesi dalgaboylarında seçilebilirler. Bütün bu kanıtlar da Büyük Patlama'yı, yani Evren'in 14 milyar yıl önce başlayan olağanüstü bir patlamayla oluştuğu fikrini destekler.

» fikrin özü
Bizim sınırlı Evren'imiz

44 Hubble Yasası

Kendi galaksimiz dışındaki galaksilerin bizden uzaklaştığını ilk fark eden kişi Edwin Hubble olmuştur. Hubble'ın keşfettiği yasaya göre galaksiler ne kadar uzaktaysalar o kadar hızlı uzaklaşıyorlardı. Galaksilerin bu şekilde yayılıyor olması, Evren'in genişlediğine yönelik ilk kanıttı. Bu, Evren'e ve onun kaderine ilişkin bakış açımızı sonsuza dek değiştirecek şok edici bir keşifti.

Kopernik'in 16. yüzyılda vardığı sonuç, yani Dünya'nın Güneş'in çevresinde dönüyor oluşu büyük bir şaşkınlık yaratmıştı. Bundan böyle insanlar kozmosun merkezinde yer almayacaktı. Ama 1920'li yıllarda Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble'ın teleskoplu ölçümlerinin sonuçları çok daha sarsıcıydı. Hubble, Evren'in sabit olmadığını, sürekli genişlediğini gösterdi. Galaksilerin bize olan uzaklıklarını ve galaksimiz Samanyolu'na göre hızlarını hesapladı. Bulduğu sonuca göre bütün galaksiler bizden uzaklaşıyordu. Kozmik açıdan aslında hiç de popüler değildik; yalnızca birkaç komşumuz yavaş yavaş bize yaklaşıyordu. Bir galaksi bize ne kadar uzaksa bizden o kadar hızlı uzaklaşıyordu; yani uzaklaşma hızı uzaklığıyla orantılıydı (Hubble yasası). Galaksilerin hızlarının uzaklıklarına oranı hep aynı sayıyı veriyordu. Buna Hubble sabiti deniyor. Gökbilimcilerin günümüzdeki hesapları bu değerin yaklaşık 75 kilometre/saniye/megaparsek olduğunu gösteriyor – bir megaparsek yani bir milyon parsek 3.262.000 ışık yılına yani 3×10^{22} m'ye karşılık gelir.

"Gökbilimin tarihi giderek uzaklaşan ufukların tarihidir."
Edwin Hubble, 1938

Büyük tartışma 20. yüzyıldan önce gökbilimcilerin galaksimiz Samanyolu hakkında çok az fikri vardı. Yüzlerce yıldıza yönelik ölçümler yapmışlar ve içinde bulutsu (nebula) dedikleri birçok beyaz, bulanık leke saptamışlardı. Bu bulutsulardan bazıları yıldızların doğumlarıyla ve ölümleriyle ilgili gaz bulutlarıydı. Ama bazıları biraz farklı görünüyordu. Bazılarının sarmal ya da elips şeklindeki yapısı onların bilinen bulutsulardan daha düzenli olduğunu gösteriyordu.

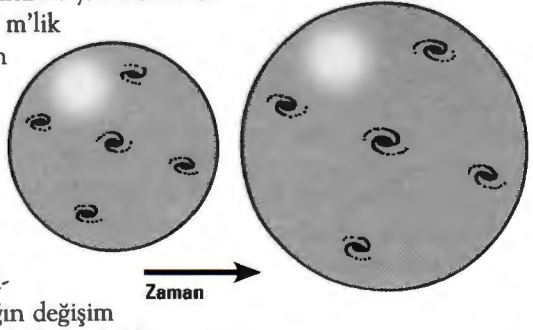
dönem

1918
Vesto Slipher bulutsuların kırmızıya kaymalarını ölçer.

1920
Shapley ile Curtis Samanyolu'nun büyüklüğü üzerine tartışırlar.

1920'de iki ünlü gökbilimci bu bulutsuların kökenine ilişkin bir tartışmaya tutuştu. Harlow Shapley gökyüzünde görülen her şeyin Samanyolu'nun bir parçası olduğunu ve onun da bütün Evren'imizi oluşturduğunu iddia ediyordu. Buna karşın Heber Curtis, bulutsulardan bazılarının bağımsız "ada evrenler" yani galaksimiz Samanyolu dışındaki "evrenler" olduğunu ileri sürüyordu. Galaksi terimi (bu bulutsu evrenleri tanımlamak için) kullanılmaya daha sonra başlandı. Her iki gökbilimci de kendi iddialarını destekleyecek kanıtlar ileri sürdüler ve tartışma o gün sonlanmadı. Hubble'ın sonraki çalışmaları Curtis'in savının doğru olduğunu gösterdi. Bu sarmal bulutsular gerçekten de başka galaksilerdi ve Samanyolu'nun dışında yer alıyorlardı. Evren bir anda engin bir büyüklüğe erişmişti.

Aranın açılması Hubble, Andromeda bulutsusundaki yıldızların titreşen ışıklarını ölçebilmek için Wilson Dağı'ndaki 2,5 m'lik Hooker Teleskopu'nu kullandı. Artık Andromeda'nın Samanyolu'na çok benzeyen sarmal bir galaksi olduğu ve bizim de içinde yer aldığımız bir grup galaksinin üyesi olduğu biliniyor. Bu titreşen yıldızlara Sefe takımyıldızında keşfedilen bir yıldızdan dolayı Sefeid değişken yıldızları denir ve günümüzde bile uzaklık ölçümünde kullanılan paha biçilmez gökcisimleridir. Bunların ışığının titreşme miktarı ve zaman aralığı yıldızın mutlak parlaklığıyla orantılıdır. Bu nedenle ışığın değişim düzenini bilirseniz, yıldızın parlaklığını da bilirsiniz. Parlaklığını bildiğinizde de ne kadar uzakta olduğunu hesaplayabilirsiniz; çünkü uzaklıkla ışığın nasıl sönükleştiğini bilirsiniz. Bu, uzaktaki 100 Watt'lık bir ampulün ne kadar uzakta olduğunu, yakındaki 100 Watt'lık bir ampulün parlaklığına bakarak hesaplamaya benzer.



Hubble bu yolla Andromeda'ya olan uzaklığı ölçtü. Ölçülen uzaklık Shapley'nin verdiği Samanyolu'nun boyutlarına göre çok daha büyüktü; dolayısıyla bulutsunun Samanyolu'nun dışında olması gerekiyordu. Gerçek basit ama devrimseldi. Evren'in tıpkı Samanyolu gibi başka galaksilerle dolu engin büyüklükte bir yer olduğu anlamına geliyordu. Güneş'i Evren'in merkezine yerleştirmek insanın duygularını sarsmış ve kiliseyi de rahatsız

1922
Alexander Friedmann büyük patlama modelini yayımlar.

1924
Sefeid değişken yıldızları keşfedilir.

1929
Hubble ile Milton Humason Hubble yasasını keşfeder.

Hubble Uzay Teleskopu

Hubble Uzay Teleskopu gelmiş geçmiş en popüler uzay gözlemevidir. Onun çektiği, yıldızları saran disklerin, bulutsuların ve uzak galaksilerin fotoğrafları 20 yıldır birçok gazetenin ilk sayfasında yer almıştır. Uzay mekiği *Discovery* tarafından 1990'da yörüngeye yerleştirilen uzay aracı yaklaşık iki katlı bir otobüs büyüklüğündedir: 13 m boyunda, 4 m çapında ve 11.000 kg ağırlığındadır. Aynası 2,4 m olan bir teleskop ile görünür ışığın yanı sıra, morötesi ve kızılötesi ışıkta da çok net fotoğraflar çekmesini sağlayan elektronik dedektörler ve kameralar taşır. Hubble'ın gücü atmosferin üstünde bulunuyor olmasından gelir – bu nedenle fotoğraflarında bulanıklaşma olmaz. Artık yaşlanmış olan Hubble'ın kaderi belirsizdir. NASA onun aygıtlarını yenileyebilir ama bu, astronotların bir kez daha uzay mekiğiyle Hubble'a gitmesi demektir. Belki de programı sonlandırılır; gelecek kuşaklara göstermek için yere indirilir ya da güvenli bir şekilde okyanusa düşürülür.

etmişse, Samanyolu'nu milyonlarca galaksi arasında sıradan bir galaksi seviyesine indirmek, insan egosuna çok daha büyük bir darbe vurmuştur.

Hubble sonra da çevremizdeki galaksilerle aramızdaki uzaklıkları ölçmeye başladı. Onlardan gelen ışıkların çoğunlukla aradaki uzaklıkla orantılı miktarlarda kırmızıya kaydığını buldu. Kırmızıya kayma, hızlanan nesnelerde gözlenen Doppler kaymasına (bkz. s. 76) benzer bir şeydir. Gelen ışıkların frekanslarının beklenenden daha kırmızı oluşu –tıpkı çok sayıda ambulansın sirenlerinin uzaklaşırken tizleşmesi gibi– bütün bu galaksilerin bizden kaçıyor olduğunu ortaya koyuyordu. Bütün galaksilerin bizden kaçıyor oluşu, yalnızca "yerel" olanların bize doğru yaklaşıyor oluşu çok garipti. Ne kadar uzağa bakılırsa, o kadar hızlı uzaklaşan galaksiler görülüyordu. Hubble galaksilerin, bizim Evren'deki konumumuzu çok ayrıcalıklı yapacak şekilde yalnızca bizden uzaklaştıklarını gözlemedi; birbirlerinden de uzaklaştıklarını gözledi. Hubble Evren'in tıpkı şişen dev bir balon gibi, genişliyor olduğu sonucuna vardı. Galaksiler balonun üzerindeki noktalar gibiydi; balon şiştikçe birbirlerine olan uzaklıkları artıyordu.

Ne kadar uzak ne kadar hızlı? Bugün bile gökbilimciler Evren'in yakın çevremizdeki genişlemesini hesaplamak için Sefeid değişken yıldızlarını kullanırlar. Hubble sabitini kesin olarak hesaplamak artık başlı başına bir amaç olmuştur. Bunun için bir şeyin ne kadar uzak olduğunu ve hızını,

"Giderek artan sayıda daha küçük ve daha sönük olanlarını buluyoruz ve uzayda giderek daha uzaklara eriştiğimizi fark ediyoruz. Öyle ki en güçlü teleskoplarla en sönük bulutsuları saptadıkça bilinen Evren'in sınırlarına ulaştığımızı anlıyoruz."

Edwin Hubble, 1938

yani kırmızıya kaymasını bilmek gerekir. Kırmızıya kaymalar gelen ışıkların atom tayfından doğrudan ölçülür. Yıldız ışığının içindeki belli bir atomun geçişinin frekansının laboratuvar ortamındaki bilinen frekansıyla karşılaştırması yapılır; aradaki fark kırmızıya kayma miktarını verir. Yıldızların uzaklığını saptamak daha zordur. Çünkü uzak bir galaksideki gerçek uzaklığını ya da gerçek parlaklığını bildiğiniz bir şeyden, bir "standart mum"dan yararlanmanız gerekir.

Uzayda uzaklıkları ölçmek için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Yıldızları bağımsız olarak görebildiğimiz yakın galaksiler için sefeid yıldızları kullanışlıdır. Ama uzaklık arttıkça yeni yöntemlere gerek duyulur. Bütün değişik yöntemler "uzaklık merdiveni" denen tek bir büyük ölçüm çubuğu oluşturacak şekilde birbirine eklenir. Ama her yöntemin kendine özgü bazı garip yanları olduğu için bu uzatılmış merdivenin doğruluğunda hâlâ birçok belirsizlik vardır.

Hubble sabiti artık yüzde 10 hata payıyla biliniyor. Bunu ağırlıklı olarak kozmik mikrodalga arkaplan ışımasına yönelik gözlemlere ve Hubble Uzay Teleskopu'yla yürütülen galaksi gözlemlerine borçluyuz. Evren'in genişlemesi Evren'i oluşturan Büyük Patlama ile başladı ve o zamandan beri galaksiler birbirlerinden uzaklaşıyorlar. Hubble yasası Evren'in yaşına da bir sınır getiriyor. Evren sürekli genişlediği için genişleme geriye, başlangıç noktasına doğru izlendiğinde aradan ne kadar zaman geçtiği bulunabiliyor. Bu sürenin yaklaşık 14 milyar yıl olduğu ortaya çıktı. Neyse ki bu genişleme hızı Evren'i parçalamak için yeterli değil. Kozmos, içerdiği madde miktarıyla sonunda içine çökmek ile şişerek parçalanmak arasında ince bir dengededir.

» fikrin özü
Genişleyen Evren

45 Büyük Patlama

Bütün uzay, madde ve bildiğimiz şekliyle zaman Evren'in doğuşundaki olağanüstü patlamayla yaratıldı. Genel göreliliğin denklemlerinde de öngörülebilen Büyük Patlama'ya ilişkin kanıtları bütün galaksilerin bizden uzaklaşıyor olmasında, hafif elementlerin Evren'deki miktarında ve gökyüzünü kaplayan mikrodalga ışımasında görüyoruz.

Büyük Patlama en büyük patlamadır – Evren'in doğuşudur. Bugün çevremize baktığımızda Evren'imizin genişliyor olduğunun bazı işaretlerini görüyoruz. Bunlardan da Evren'in geçmişte daha küçük ve daha sıcak olduğu sonucunu çıkarıyoruz. Bunun mantıksal sonucu bütün kozmosun tek bir noktadan çıktığıdır. Patlamanın ilk anında uzay, zaman ve madde, kozmik bir ateş topunda bir arada yaratıldı. 14 milyar yıl içinde bu sıcak, yoğun bulut yavaş yavaş şişti ve soğudu. Sonunda küçük parçalara ayrılarak bugün gökyüzünde gördüğümüz yıldızları ve galaksileri oluşturdu.

Şakaya gelmez Büyük Patlama terimi gerçekte dalga geçmek için ortaya atılmıştı. Ünlü gökbilimci Fred Hoyle, bütün Evren'in tek bir tohumdan çıktığı fikrini saçma buluyordu. Hoyle ilki 1949'da radyoda yayınlamaya başlayan bir dizi derste Belçikalı matematikçi Georges Lemaître'in Einstein'ın genel görelilik denklemlerinden yola çıkarak ulaştığı bu sonucun akılalmaz olduğunu söyleyip onunla dalga geçti. Hoyle kozmosun sürekliliği olan bir görüntüsü olduğuna inanmayı yeğliyordu. Onun ebedi "kararlı durum" evreninde madde ve uzay sürekli olarak yaratılıp yok ediliyordu; böylece sınırsız bir süreden beri var olabiliyordu. Ne var ki kanıtlar giderek birikiyordu ve 1960'lı yıllarda Büyük Patlama'yı destekleyen kanıtların ağırlığı karşısında Hoyle'un durgun resmi daha fazla dayanamadı.

Genişleyen Evren Büyük Patlama modelinin başarısının altında çok önemli üç gözlem yatar. Bunlardan ilki Edwin Hubble'ın 1920'li yıllarda yaptığı ve galaksilerin çoğunun bizden uzaklaştığını ortaya koyan

dönem

1927
Friedmann ve Lemaître Büyük Patlama kuramını ortaya atarlar.

1929
Hubble Evren'in genişlediğini keşfeder.

1948
Kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının varlığı öngörülür.
Alpher ve Gamow Büyük Patlama nükleosentezini hesaplar.

gözlemdir. Uzaktaki bütün galaksiler uzay-zamanın, Hubble yasasının öngördüğü biçimde genişlemesinden ve gerilmesinden dolayı birbirlerinden uzaklaşırlar. Bu gerilmenin bir sonucu da (uzaklıkların sabit olduğu bir evrene göre) genişleyen bir evrende yol alan ışığın bize biraz daha geç ulaşmasıdır. Bu etki, ışığın frekansında bir kayma olarak kendini gösterir ve buna "kırmızıya kayma" denir. Çünkü ulaşan ışık uzaktaki yıldızdan ya da galaksiden çıktığı haline göre daha kırmızı algılanır. Kırmızıya kaymalar Evren'deki uzaklıkların ölçümünde kullanılır.

"Televizyonunuzu boş bir kanala ayarlayın; gördüğünüz karlı görüntünün %1'ine neden olan şey Büyük Patlama'dan geriye kalan ışımadır. Bir daha televizyonda hiçbir şey yok diye yakınmadan önce Evren'in doğuşunu izlemenizin mümkün olduğunu unutmayın."
Bill Bryson, 2005

Hafif elementler Zamanda geriye, Büyük Patlama'dan sonraki ilk saatlerde Evren'e gidildiğinde her şeyin süper sıcak bir kazanda sıkışık bir halde kaynadığını görülür. İlk saniyenin içinde Evren o kadar sıcak ve yoğundur ki atomlar bile oluşmamıştır. Genişleyip soğudukça önce ortaya kuarklardan, gluonlardan ve diğer parçacıklardan oluşan bir çorba çıkmıştır (bkz. s. 144). Bir dakika sonra kuarklar birbirine yapışıp protonları ve nötronları oluşturmuştur. Ardından ilk üç dakika içinde kozmik kimya protonlarla nötronları sayılarına göre atom çekirdekleri oluşturacak şekilde birleştirmiştir. Böylece hidrojen dışındaki ilk elementler nükleer füzyon ile oluşmuştur. Evren soğuyarak füzyon sınırının altına indiğinde berilyumdan ağır elementlerin oluşma olanağı da ortadan kalkmıştır. Dolayısıyla ilk başta Evren'de Büyük Patlama'yla yaratılan hidrojen ve helyumun yanı sıra, eser miktarda döteryum (ağır hidrojen), lityum ve berilyum da vardı.

1940'lı yıllarda Ralph Alpher ile George Gamow Büyük Patlama'yla yaratılan hafif elementlerin oranlarını tahmin etmişlerdi. Bu temel resim birçok kez ve son olarak da yavaş yanan yıldızlara ve Samanyolu içindeki ilkel gaz bulutlarına yönelik ölçümlerle doğrulanmıştır.

Mikrodalga parıltısı Büyük Patlama'yı destekleyen önemli bir başka kanıt da Büyük Patlama'nın 1965'te keşfedilen zayıf yankısıydı. Arno Penzias ile Robert Wilson, Bell Laboratuvarları'nın New Jersey'deki radyo

1949
Hoyle "Büyük Patlama" terimini ortaya atar.

1965
Penzias ve Wilson kozmik mikrodalga arkaplan ışımasını saptar.

1992
COBE uydusu kozmik mikrodalga arkaplanın haritasını çıkarır.

Büyük Patlama zaman çizelgesi

13,7 milyar yıl [Büyük Patlama'dan sonraki] Şimdi (Sıcaklık, T = 2,726 K)

200 milyon yıl "Reiyonizasyon": ilk yıldızlar hidrojen gazını ısıtır ve iyonize eder (T = 50 K)

380 bin yıl "Yeniden birleşme": hidrojen gazı soğur ve molekül oluşturur (T = 3.000 K)

10 bin yıl Işınımın egemen olduğu dönemin sonu (T = 12.000 K)

1000 saniye Yalnız nötronların bozunumu (T = 500 milyon K)

180 saniye "Nükleosentez": helyumun ve diğer elementlerin hidrojenden oluşumu (T = 1 milyar K)

10 saniye Elektron-pozitron çiftlerinin yok oluşu (T = 5 milyar K)

1 saniye Nötrinoların ayrışması (T ~10 milyar K)

100 mikrosaniye Pionların yok olması (T ~1 trilyon K)

50 mikrosaniye "KKD faz geçişi": kuarklar birbirlerine bağlanarak proton ve nötronları oluşturur (T = 2 trilyon K)

10 pikosaniye "Elektrozayıf faz geçişi": elektromanyetik ve zayıf kuvvet ayrışır (T ~1-2 katrilyon K)

Bu andan önce sıcaklıklar o kadar yüksektir ki fizik bilgimiz, tespit etmede yetersiz kalır.

Zaman

Büyük Patlama

anteni üzerinde çalışıyorlardı. Bir türlü engelleyemedikleri zayıf bir gürültü sinyali karşısında şaşkın durumdaydılar. Sanki gökyüzünün her bölgesinden, bilinmeyen bir kaynaktan antene ulaşan ve birkaç derece sıcaklığa denk gelen mikrodalgalar geliyor gibiydi.

Yakındaki Princeton Üniversitesi'nden astrofizikçi Robert Dickie ile konuştuktan sonra yakaladıkları sinyalin Büyük Patlama'dan arta kalan bir ışıma olduğunu anladılar. Çok sıcak, bebek Evren'den kalan bir foton denizine, kozmik mikrodalga arkaplan ışımasına toslamışlardı. Bu arkaplan ışımasını aramak için benzer bir anten yapan Dickie biraz buruk bir şekilde ve şaka yollu şöyle demişti ekibine: "Çocuklar atlatıldık."

Büyük Patlama'dan arta kalan mikrodalga arkaplan ışımasının varlığı 1948'de George Gamov, Ralph Alpher ve Robert Herman tarafından öngörülmüştü. Her ne kadar atom çekirdekleri ilk üç dakika içinde oluştuysa da atomlar ancak 400.000 yıl sonra oluşabildi. Eksi yüklü elektronlar bu kadar süre sonra artı yüklü çekirdeklerle birleşip hidrojeni ve diğer hafif elementleri oluşturdular. Ortama saçılmış ve fotonların ilerlemesini engelleyen yüklü parçacıkların ortamdan çekilmesi, sisin dağılmasına neden oldu ve Evren'i saydamlaştırdı. O zamandan beri ışık Evren'de serbestçe dolaşır ve zamanda o kadar gerileri görmemizi sağlar.

Genç Evren'deki sis ilk başta sıcaktı (3.000 K dolaylarındaydı) ama genişleme nedeniyle parıltı kırmızıya kaydı; öyle ki bugün onu 3 K'den (mutlak sıfırın üç derece üstünde) biraz düşük bir sıcaklık olarak algılıyoruz. Penzias ve Wilson'ın keşfettiği işte buydu. Oldukça sağlam bu üç temel sayesinde Büyük Patlama kuramı astrofizikçilerin çoğu tarafından genel kabul gördü. Çok az bir bölümü Fred Hoyle'a çekici gelen durgun durum modelinin peşini bırakmış değil. Ama bütün bu gözlemleri bir başka kuramla açıklamak da zor.

"Her ne kadar ne için olduğunu anlayamasam da Evren'de tutarlı bir plan işliyor."
Fred Hoyle, 1915-2001

Kader ve geçmiş Büyük Patlama'dan önce ne oldu? Uzay-zaman da onunla birlikte ortaya çıktığından bu aslında sorulması pek de anlamlı olmayan, tıpkı "Dünya'nın başlangıç noktası neresi?" ya da "Kuzey Kutbu'nda kuzey neresidir?" gibi bir sorudur. Bununla birlikte matematiksel fizikçiler M-kuramının ve sicim kuramının matematiğiyle Büyük Patlama'nın nasıl başladığı üzerine (genellikle 11 boyutlu uzayda) kafa yoruyorlar. Sicimlerin ve zarların bu çok boyutlu uzaydaki enerjilerini ve fiziğini inceliyor ve böyle bir olayın başlangıcını çözebilmek için parçacık fiziğini ve kuantum mekaniğini de dahil etmeye çalışıyorlar. Kuantum fiziğindeki fikirlere benzer bir şekilde bazı kozmologlar paralel evrenlerin varlığını da tartışıyor.

Büyük Patlama modelinde, durgun durum modelinin tersine, Evren evrim geçirir. Kozmosun kaderi onu çekerek bir arada tutmaya çalışan kütleçekim kuvveti ile genişlemenin de aralarında bulunduğu ve Evren'i ayrıştırıp parçalamaya çalışan diğer kuvvetler arasındaki denge tarafından belirlenir. Eğer kütleçekim kazanırsa, Evren'in genişlemesi bir gün duracaktır. Evren kendi içine çökmeye başlayacak Büyük Patlama geri sarılacak ve Büyük Çatırdama'yla sona erecektir. Bu doğum-ölüm çevrimini izleyen daha birçok Evren gelebilir. Buna alternatif olarak eğer genişleme ve diğer itici kuvvetler (karanlık enerji gibi) galip gelirse, bunlar sonunda bütün galaksileri, yıldızları ve gezegenleri parçalayacaklardır. Evren'imiz kara deliklerden ve parçacıklardan oluşan ve "Büyük Donma" denen karanlık bir çöl halinde sona erecektir. Son olarak da "olması gereken Evren" olasılığı vardır; bunda çekici ve itici kuvvetler dengededir ve Evren sonsuza dek genişlemesini sürdürecektir ama genişlemenin hızı giderek düşecektir. Modern kozmolojinin en olası gördüğü son budur. Evren'imiz tam olması gerektiği gibidir.

» fikrin özü
En büyük patlama

46 Kozmik Şişme

Evren neden bütün yönlerde aynı görünür? Paralel ışık ışınları uzayda ilerlerken neden paralel kalırlar ki biz de ayrı yıldızları görürüz? Bu soruların yanıtının kozmik şişme –bebek Evren'in bir anda olağanüstü bir hızla şiştiği, bu sayede kırışıklıklarının düzleştiği ve onu izleyen genişlemenin de kütleçekimi tam olarak dengelediği fikri– olduğu düşünülüyor.

İçinde yaşadığımız evren çok özeldir. İçlerine doğru baktığımızda hiçbir çarpıklığın olmadığı yıldız dizilerini ve uzak galaksileri görürüz. Aslında kolaylıkla bunun tam tersi olabilirdi. Einstein'ın genel görelilik kuramı kütleçekimi buruşuk bir uzay ve zaman çarşafı olarak betimler. Işık ışınları bunun içinde sürekli kıvrılan güzergahlarda ilerler (bkz 164. sayfa). Yani ışık ışınlarının birbirine karışmış olması ve içlerine doğru baktığımız Evren'in de aynalı koridorlardaki yansımalar gibi çarpılmış görünmesi aslında olanak dahilindedir. Ama genelde, bir galaksinin yakınından geçerken yaptıkları garip sapma bir yana bırakılırsa, ışık ışınları Evren boyunca düz doğrular halinde ilerler. Görüş açımız görünürlük sınırına kadar açıktır.

"Bedava yemek yoktur diye bir deyim var. Halbuki Evren bedava yemeğin kendisidir."

Alan Guth, d. 1947

Düzlük Her ne kadar görelilik kuramına göre uzay-zaman eğri büğrü bir yüzey olsa da gökbilimciler Evren'i zaman zaman "düz" olarak tanımlar. Yani paralel giden ışınlar ne kadar yol alırsa alsınlar, tıpkı düz bir zeminde gidermiş gibi, paralelliklerini korurlar. Uzay-zaman ağır nesnelerin aşağı doğru esnettiği (kütleçekimi temsilen) kauçuk bir kumaş gibi düşünülebilir. Gerçekte uzay-zamanın daha çok boyutu (en azından dört: üç uzay ve bir zaman) vardır ama hepsini birden akılda canlandırmak zordur. Bir yandan Evren'in dokusu da Büyük Patlama'dan beri sürekli genişler. Evren'in geometrisi de, tıpkı bir masanın yüzeyi gibi –birtakım küçük çukurlar ve madde örüntüleri nedeniyle oluşmuş bazı öbekler dışında– genellikle

dönem

1981

Guth kozmik şişmeyi ortaya atar.

1992

COBE uydusu bebek Evren'in sıcak ve soğuk bölgelerini saptar ve onların sıcaklıklarını ölçer.

Evren'in geometrisi

En son mikrodalga arkaplan gözlemleri (Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası'nın [WMAP – Wilkinson Microwave Anisotropy Probe] 2003'te ve 2006'da yaptıkları) sayesinde fizikçiler Evren boyunca uzay-zamanın şeklini ölçebildiler. Mikrodalga arkaplanındaki sıcak ve soğuk bölgelerin boyutlarını Büyük Patlama kuramının onlar için öngördüğü uzunluklarla karşılaştırarak Evren'in "düz" olduğu sonucuna vardılar. Yani ışık ışınları Evren'in bir ucundan diğerine milyarlarca yıl süren bir yolculuk bile yapsalar paralel kalırlar.

düzdür. Dolayısıyla Evren'de ışık ışınlarının ilerlediği yollar büyük kütleli nesnelerin saptırmasını saymazsak, etkilerden görece uzaktır.

Çok fazla madde olsaydı, her şey örtüyü aşağı doğru gererdi ve en sonunda örtü kendi üzerine kapanırdı yani genişleme tersine dönerdi. Bu senaryoda ilk başta birbirine paralel ilerleyen ışınlar en sonunda yakınsayarak bir noktada buluşurlar. Eğer çok az madde olsaydı, o zaman uzay-zaman örtüsü kendi kendine genişler ve gerilirdi. Paralel ışınlar ilerledikçe birbirlerinden uzaklaşırdı. Ne var ki gerçek Evren'imiz sanki bunların arasında bir yerdeymiş gibi görünüyor; Evren'in sabit olarak genişlemesine izin veren ama aynı zamanda onu bir arada tutmaya yetecek miktarda madde var gibi. Yani Evren hassas bir dengede görünüyor (bkz. kutucuk).

Aynılık Evren'in bir başka özelliği de bütün yönlerde yaklaşık olarak aynı görünmesidir. Galaksiler belli bir bölgede yoğunlaşmış değildir, bütün yönlere dağılmışlardır. Bu ilk başta o kadar şaşırtıcı gelmeyebilir ama aslında beklenmeyen bir durumdur. Kafa karıştırıcı olan şey Evren'in çok büyük oluşu ve zıt uçları arasında ışık hızında bile bir iletişim kurulamıyor oluşudur. Evren yalnızca 14 milyar yaşında olabilir ama Evren'in çapı 14 milyar ışık yılından daha büyüktür. Dolayısıyla ışık her ne kadar ulaşılabilecek

2003

Wilkinson Mikrodalga Anizotropi Sondası (WMAP) kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının haritasını çıkarır.

Mikrodalga arkaplan

Tek bir gözlem, kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının gözlenmesi, bütün bu sorunların üstünü örtüverdi. Bu arkaplan ışıması Büyük Patlama'nın ateş topundan arta kalan ve kırmızıya kayarak günümüzde 2,73 K sıcaklığa düşmüş olan parlamaydı. Bütün gökyüzünde tam 2,73 kelvindi; sıcak ve soğuk bölgeler birbirlerinden yalnızca 100.000'de 1 oranında farklıydılar. Bu sıcaklık ölçümü, bugüne dek tek bir sıcaklığa yönelik yapılmış en kesin ölçümdür. Bu tekdüzelik şaşırtıcıdır çünkü daha çok gençken Evren'in uzak bölgeleri arasında, ışık hızında olsa bile iletişim kurulamıyordu. Bu nedenle her şeye rağmen, bütün bölgelerin neredeyse aynı sıcaklıkta olması kafa karıştırıcıdır. Sıcaklıktaki minik farklar genç Evren'deki kuantum çalkalanmalarından kalan fosillerdir.

en yüksek hızla ilerliyor olsa da ışıkla iletilmek istenen bir iletinin Evren'in bir ucundan diğerine ulaşması için yeteri kadar zaman geçmemiştir. Öyleyse Evren'in bir tarafı diğer tarafının neye benzediğini nasıl bilebilir? Buna "ufuk problemi" denir. Ufuk, ışığın Evren'in doğumundan bu yana gidebildiği en uzak sınırdır ve aydınlatılmış bir küre oluşturur. Yani aslında Evren'in göremediğimiz ve hiçbir zamanda göremeyeceğimiz bölgeleri vardır; çünkü oralardan yola çıkan ışıklar henüz bize ulaşmamıştır.



Pürüzsüzlük Evren çok da pürüzsüzdür. Galaksiler Evren'de çok düzgün dağılmıştır. Gözlerinizi kısarak baktığınızda galaksilerin çeşitli bölgelerde öbekler oluşturduğunu değil, tekdüze bir parıltı verdiğini görürsünüz. Yine bunun da aslında böyle olması gerekmezdi. Galaksiler kütleçekimin etkisiyle zamanla oluşmuşlardır. Yaşamlarına, Büyük Patlama'dan kalan gazın içindeki yalnızca biraz daha yoğun bölgeler olarak başlamışlardır. Bu azıcık daha yoğun bölgeler kütleçekim nedeniyle içine çökmeye başlamış, yıldızlar ortaya çıkmış ve sonunda da birer galaksiye dönüşmüştür. Galaksilerin kökenindeki bu hafif daha yoğun tohumlar kuantum etkileri (sıcak, embriyon Evren'deki parçacıkların enerjilerindeki çok küçük kaymalar) nedeniyle oluşmuştur. Bu süreç pekâlâ, bugün gördüğümüz galaksi denizi yerine zaman içinde, tıpkı ineklerin derilerindeki büyük benekler gibi, büyük galaksi kümelerine –ve aralarındaki boşluklara– doğru da gelişebilirdi. Ne var ki

"Fizik yasalarının tüm bunları açıklayabilmesi fantastik değil mi? Her şeyin rassal kuantum çalkalanmayla nasıl yoktan var olduğunu, 15 milyar yıl boyunca maddenin nasıl bu kadar karmaşık bir şekilde organize olup da bugün burada oturan, konuşan, kasıtlı eylemlerde bulunan biz insanların ortaya çıktığını."

Alan Guth, d. 1947

galaksilerin Evren'deki dağılımında birkaç büyük dağ silsilesi yerine yalnızca birçok köstebek yuvası vardır.

Büyüme atağı Evren'in düzlük, ufuk ve pürüzsüzlük problemleri tek bir fikirle çözülebilir: kozmik şişme. Bu fikir 1981'de Amerikalı fizikçi Alan Guth tarafından geliştirilmiş bir çözümdür. Evren'in, her ne kadar çok büyük olsa da bütün yönlerde aynı görünmesi yani ufuk problemi Evren'in bir zamanlar, içinde ışığın bütün bölgelere ulaşıp bilgi taşıyacak kadar küçük olması gerektiğine işaret eder. Artık böyle olmadığı için, bir ara çok hızlı bir şekilde bugün gördüğümüz oransal olarak daha büyük Evren'i oluşturacak şekilde şişmiş olmalıdır. Ama bu şişmenin gerçekleştiği sürenin olağanüstü kısa ve şişmenin hızının da ışık hızından çok büyük olması gerekir. Boyutları ikiye katlayan, sonra tekrar tekrar ikiye katlayan ve bir anda gerçekleşen bir şişme, kuantum çalkantılarının yol açtığı minik yoğunluk farklarını yaymıştır – tıpkı bir balonun üzerindeki resmin balonun şişmesiyle birlikte giderek soluklaşması gibi. Evren böylece pürüzsüzleşmiştir. Şişme süreci ayrıca sonra ortaya çıkacak olan kütleçekim ile (şişmeden sonra çok daha yavaş ilerleyen) genişleme arasındaki dengeyi de kurmuştur. Şişme, Büyük Patlama'nın hemen ardından (10^{-35} saniye sonra) gerçekleşmiştir.

Ne şişme henüz kanıtlanabilmiş ne de ona neyin yol açtığı anlaşılabilmiştir. Bunun üzerine çalışan kuramcı sayısı kadar çok model vardır. Onu çözmeye çalışmak, aralarında kozmik mikrodalga arkaplan ışımasının ve onun polarizasyonunun haritasını çıkarmanın da olduğu yeni kuşak kozmoloji deneylerinin amaçlarından biridir.

» fikrin özü
Kozmik büyüme atağı

47 Karanlık Madde

Evren'deki maddenin yüzde doksanı ışımıyor, kapkaranlık. Karanlık madde yalnızca kütleçekim etkisi nedeniyle saptanabiliyor. Işık dalgaları ve madde ile çok az etkileşimi oluyor. Biliminsanları onun MACHO'lardan yani yıldızlaşamamış nesneler ile dev gaz gezegenlerinden ya da WIMP denen gizemli atomaltı parçacıklardan meydana geldiğini düşünüyor. Karanlık maddenin ne olduğunu çözmek fiziğin bilinmezlerle dolu yeni bir sahasıdır.

Karanlık madde kulağa oldukça egzotik geliyor ve kendisi de gerçekten öyle olabilir ama tanımı da bir o kadar gerçekçidir. Evren'de gördüğümüz şeylerin çoğu parlar çünkü ya kendileri ışık yayarlar ya da çarpan ışıkları yansıtırlar. Yıldızlar ışır çünkü sürekli foton pompalarlar. Gezegenler de parlar çünkü Güneş'ten gelen ışınları yansıtırlar. Eğer o ışık olmasa onları göremezdik. Ay, Dünya'nın gölgesinden geçerken kararır; yıldızlar yakıtları bitip sönünce geriye görülemeyecek denli sönük bir kalıntı bırakırlar. Hatta Jüpiter kadar büyük bir gezegen bile Güneş'ten kurtulup serbestçe uzaklaşsa ve uzayda dolaşmaya başlasa görünmez olur. Bu nedenle ilk bakışta Evren'deki şeylerin çoğunun parlamıyor oluşu o kadar da şaşırtıcı gelmeyebilir. Bunlar karanlık maddelerdir.

Karanlık taraf Her ne kadar karanlık maddeyi doğrudan göremiyor olsak da uzaydaki diğer nesnelere ve ışık ışınlarına olan kütleçekim etkisi nedeniyle onu saptayabiliyoruz. Ay'ı görmesek ve orada olduğunu bilmesek de onun var olduğu çıkarımını yapabiliriz; çünkü onun kütleçekim etkisi Dünya'nın yörüngesini çok hafif çeker ve kaydırır. Bu kütleçekimsel yalpalama etkisi çok uzaktaki yıldızların çevresinde dönen gezegenleri keşfetmekte bile kullanılır.

dönem

1933

Zwicky, Coma galaksi kümesindeki karanlık maddeyi hesaplar.

1975

Vera Rubin karanlık maddenin galaksilerin dönüşünü etkilediğini gösterir.

Enerji bütçesi

Bugün Evren'deki maddenin ancak %4'ünün baryonlardan (proton ve nötronlardan oluşan normal maddeden) meydana geldiğini biliyoruz. %23'lük bölümünü egzotik karanlık madde oluşturuyor. Ama bunun da baryonlardan oluşup oluşmadığını henüz bilmiyoruz. Nelerden oluştuğunu söylemek zor ama WIMP denen parçacıklardan oluşuyor olabilir. Evren'in enerji bütçesinin geri kalanı da tümüyle farklı bir şeyden, karanlık enerjiden oluşuyor.

1930'lu yıllarda İsviçreli gökbilimci Fritz Zwicky, yakınlarındaki dev bir galaksi kümesinin (içindeki bütün galaksilerdeki yıldızların toplam kütlesinden) sanki daha büyük bir kütlesi varmış gibi davrandığını fark etmişti. Zwicky bilinmeyen bir karanlık maddenin bütün galaksi kümesindeki görünür maddenin yani ışıyan yıldızların ve sıcak gazların toplam kütlesinin 400 katı olması gerektiği sonucuna ulaştı. Karanlık maddenin bu kadar çok olması büyük bir şaşkınlık yarattı; çünkü bu, Evren'in büyük bölümünün yıldızlardan ve gazlardan değil de bir başka şeyden oluştuğu anlamına geliyordu. Peki, bu karanlık şey neydi? Ve nerede saklanıyordu?

Sarmal galaksilerde de belli miktarda kütle kayıptı. Galaksilerin dış kesimlerindeki gazlar, (galaksiler yalnızca içerdikleri yıldızların toplamı kadar kütleli olsalar) dönmeleri gerektiği hızlardan daha hızlı dönüyorlardı. Dolayısıyla galaksiler aslında yalnızca ışıklarına bakarak tahmin edilen kütlelerinden daha kütleliydiler. Yine görünen yıldızların ve gazların kütlesinden yüzlerce kat daha bol ek bir karanlık maddenin olması gerekiyordu. Karanlık madde yalnızca galaksilerin her yanına yayılmış olarak bulunmuyordu; kütlesi o kadar büyüktü ki galaksi içindeki bütün yıldızların hareketlerini baskın bir şekilde etkiliyordu. Karanlık madde yıldızların da ötesine yayılmıştı; her sarmal galaksinin çevresinde bir "kabarcık" şeklinde bulunan küresel "hale"yi dolduran yıldızların bile ötesinde bulunuyordu.

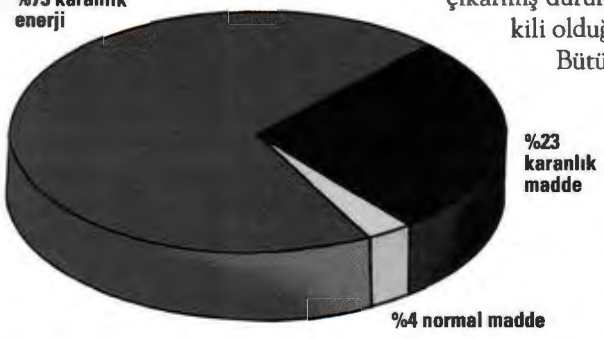
1998

Nötrinoların çok küçük bir kütlesi olması gerektiği öngörülür.

2000

Samanyolu'ndaki MACHO'lar gözlenir.

Kilo artışı Gökbilimciler artık karanlık maddenin yalnızca galaksilerin içindeki değil, kütleçekim etkisiyle birbirine bağlı binlerce galaksiden oluşan kümeler içindeki ve bütün Evren'e yayılmış engin bir ağ oluşturan süper kümelerin (küme zincirlerinin) içindeki varlığının bile haritalarını çıkarmış durumdalar. Karanlık madde kütleçekimin etkili olduğu her yerde ve her ölçekte ön plana çıkar. Bütün karanlık maddeleri toplarsak, ışık yayan maddeden bin kat daha çok olduklarını görürüz.



Evren'in kaderi onun toplam ağırlığına bağlıdır. Kütleçekimin maddeyi bir araya getirme çabası Büyük Patlama'yla başlayan genişlemeyi dengeler. Evren'in üç olası sonu vardır. Eğer Evren çok ağırsa, kütleçekim galip gelir ve Evren sonunda içine çöker (Büyük Çatırdama'yla sona eren kapalı bir Evren). Kütle çok azsa, Evren sonsuza dek genişlemesini sürdürür (açık Evren). Son olarak da Evren tam denge durumundaysa genişleme sürer ama hızı kütleçekim tarafından zamanla azaltılır. Evren'imiz için en iyisi sonuncusu gibi görünüyor: Genişlemeyi yavaşlatacak ama durdurmayacak kadar maddenin bulunması.

WIMP'ler ve MACHO'lar Karanlık madde neyden oluşuyor olabilir? Birincisi karanlık gaz bulutları, sönük yıldızlar ya da yıldız olamamış gezegenler olabilir. Bunlara kısaca MACHO'lar (MAssive Compact Halo Objects – Büyük Kütleli Yoğun Hale Nesneleri) denir. Buna alternatif olarak karanlık madde belki de WIMP (Weakly Interacting Massive Particles – Zayıf Etkileşimli Kütleli Parçacıklar) denen yeni bir tür atomaltı parçacıktan oluşuyordur. Bunların normal madde ve ışık üzerinde neredeyse hiçbir etkisi olmuyordur.

Gökbilimciler Samanyolu'nun içinde dolaşan bazı MACHO'ları saptadılar. Bunlar Jüpiter'e yakın kütleli, büyük nesneler olduklarından kütleçekim etkileri sayesinde teker teker belirlenebiliyorlar. Dev bir gaz gezegen ya da yıldızlaşamamış bir gökcismi arkaplanında bir yıldız kalacak şekilde geçerken kütleçekimi yıldızın ışığını büker. MACHO tam yıldızın önündeyken

bükülen ışıklar odaklanır ve böylece yıldız bir an için olduğundan çok daha parlak görünür. Bu olaya kütleçekimsel mercekleme denir.

Görelilik kuramına göre MACHO gezegen, tıpkı ağır bir topun kauçuk örtüyü aşağı doğru germesi gibi, uzay-zamanı eğer. Bu da ışığın dalga cephesinin onun çevresinde bükülmesine neden olur (bkz. s. 164). Gökbilimciler arkaplanda duran milyonlarca yıldızın önünden bir MACHO geçişiyle parlaklaşacak yıldızlar aramışlardır. Böyle birkaç parlama da saptamışlardır. Ancak bunlar Samanyolu'ndaki kayıp kütleyi açıklayamayacak kadar az sayıda olmuştur. MACHO'lar normal maddeden, baryonlardan yapılmıştır yani proton, nötron ve elektronlardan oluşurlar. Evren'deki baryon miktarı üzerindeki en sıkı sınırlamayı bize ağır hidrojen izotopu döteryum söyler. Evren'deki döteryumun tamamı Büyük Patlama sırasında üretilmiştir. Döteryum yıldızların içinde yanabilir ama oralarda döteryum oluşamaz. Dolayısıyla gökbilimciler uzayda çok eskiden kalma gaz bulutlarındaki döteryum miktarını ölçerek Büyük Patlama'yla ne kadar proton ve nötron üretildiğini de söyleyebilirler; çünkü döteryumun oluşum mekanizması çok iyi bilinmektedir. Bu da bütün Evren'in kütlesinin yalnızca yüzde birkaçı olarak ortaya çıkar. Bu nedenle Evren'in geri kalanının WIMP'ler gibi gerçekte tümüyle farklı bir şeyden oluşuyor olması gerekir.

"Evren'in büyük bölümü karanlık madde ile karanlık enerjiden oluşur ve biz her ikisi hakkında da bir şey bilmiyoruz."

Saul Perlmutter, 1999

Dikkatler şimdi WIMP araştırmalarına odaklanmıştır. Zayıf etkileşimli olduklarından bu parçacıkların saptanması yapıları gereği zordur. Adaylardan biri nötrinolardır. Geçtiğimiz on yıl içinde fizikçiler onun da kütlesini ölçebildiler, çok küçüktü ama sıfır değildi. Nötrinolar Evren'in kütlesinin bir bölümünü oluştururlar; ancak bu çok büyük bir bölümü değildir. Dolayısıyla hâlâ Evren'de keşfedilmeyi bekleyen birtakım egzotik parçacıklar –aksiyon ve fotino olarak adlandırılan yeni parçacıklar– vardır. Karanlık maddenin sırrını çözmek bütün fizik dünyasını aydınlatabilir.

» fikrin özü
Evren'in karanlık tarafı

48 Kozmolojik Sabit

Einstein bulduğu kozmolojik sabitini genel görelilik denklemlerine eklemenin hayatının en büyük hatası olduğunu söylemiştir. Bu sabit, kütleçekimi dengeleyecek şekilde Evren'in genişleme hızını arttırıp yavaşlatabiliyordu. Einstein'ın bu sayıya gereksinimi yoktu ve onu terk etti. Ne var ki 1990'lı yıllarda ortaya çıkan yeni kanıtlar bu sabitin yeniden oyuna girmesini gerektiriyor. Gökbilimciler gizemli karanlık enerjinin Evren'in genişleme hızını arttırdığını keşfettiler ki bu da modern kozmolojinin baştan yazılması anlamına geliyor.

Albert Einstein Büyük Patlamalı bir evrende değil de durağan bir evrende yaşadığını düşünüyordu. Ona yönelik denklemler üretmeye çalışırken bir sorunla karşılaştı. Kütleçekim olduğu için Evren'deki her şey en sonunda tek bir noktaya, belki bir kara deliğe çökmek zorundaydı. Ama gerçek Evren apaçık bir şekilde böyle değildi ve oldukça kararlı gözüküyordu. Bunun üzerine Einstein da kuramına kütleçekimi dengeleyen bir terim (bir tür itici "karşı-kütleçekim" terimi) ekleyiverdi. Bunu böyle bir kuvvetin varlığını bildiğinden değil de yalnızca denklemleri doğru görünsün diye yaptı. Ama böyle bir formülasyonun sorunlu olduğu hemen ortaya çıktı.

Eğer kütleçekime karşı bir kuvvet olsaydı, tıpkı engellenemez kütleçekimin çökmeye yol açacağı gibi, bu karşı-kütleçekimin de Evren'in kütleçekim yapıştırıcısıyla sıkıca bir arada tutulmayan tenha bölgelerinde büyük parçalanmalara, boşlukların oluşmasına yol açması gerekirdi. Einstein, Evren'in böyle parçalanmasına izin vermektense, eklediği itici terimi kaldırmayı ve onu dahil etmekle hata yaptığını kabul etmeyi tercih etti. Diğer fizikçiler de onu çıkarma taraftarıydı. Ya da öyle olması gerektiğini sanıyorlardı. Terim unutulmadı – görelilik denklemlerinde korundu ama değerini (kozmolojik sabiti) yok saymak için hep sıfır kabul edildi.

dönem

1915

Einstein genel görelilik kuramını yayımlar.

1929

Hubble uzayın genişlediğini gösterir ve Einstein sabitini denklemlerinden çıkarır.

İvmelenen Evren 1990'lı yılların sonunda iki ayrı gökbilim ekibi uzayın geometrisini ölçmek için uzak galaksilerdeki süpernovaların haritasını çıkarıyordu. Süpernovaların gerçekte görünmeleri gerektiğinden daha sönük olduğunu fark ettiler. Süpernovalar, yani ölmekte olan yıldızların görkemli patlamaları birkaç şekilde gerçekleşebilir. Tip Ia süpernovaların öngörülebilir bir parlaklıkları olur ve bu nedenle de uzaklık ölçümlerinde kullanılırlar. Hubble yasasını oluşturmak için yakın galaksilerin uzaklıklarını ölçerken Sefeid değişken yıldızlarından yararlanılması gibi, Tip Ia süpernovalardan gelen ışıkların tayfları üzerine çalışarak bizden ne kadar uzakta oldukları anlaşılır. Bu yöntem yakındaki galaksiler için çok iyi işliyordu. Ancak süpernovalar uzaklaştıkça gereğinden fazla sönükleşiyorlardı. Sanki olmaları gerektiği yerlerden daha uzaktaymış gibi görünüyorlardı.

"70 yıl boyunca Evren'in genişleme hızındaki yavaşlamayı ölçmeye çalıştık. Sonunda ölçtük ve hızlandığını ortaya çıkardık."

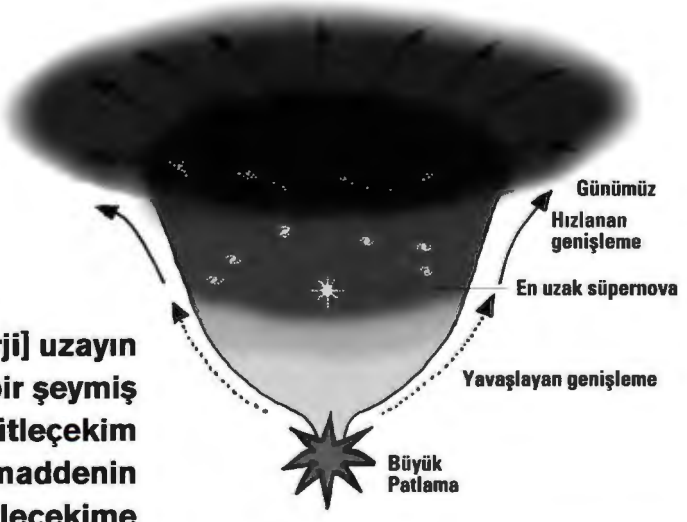
Michael S. Turner, 2001

Giderek daha çok süpernova keşfedildikçe uzaklıkla birlikte sönükleşmenin örüntüsü Evren'in, Hubble yasasının söylediği gibi, sabit bir hızla ilerlemiyor olduğunu, aslında hızının arttığını ortaya çıkarmaya başladı. Bu kozmoloji camiasında büyük bir şok etkisi yarattı ve bugün bile bu şoktan çıkılabilmiş değil.

Süpernovaların ortaya koyduğu yeni sonuçlar, Einstein'ın denklemleriyle çok iyi örtüştü ama bu örtüşme, kozmolojik sabiti sıfırdan 0,7'ye yükselterek denkleme eksi bir terim eklenmesiyle oldu. Süpernova sonuçları kozmik mikrodalga arkaplan ışıması gibi bazı başka kozmoloji verileriyle birlikte değerlendirildiğinde kütleçekime karşı işleyen yeni bir itici kuvvete gerek olduğu ortaya çıktı. Bu çok zayıf bir kuvvetti. Bunun neden bu denli zayıf olduğu bugün bile akıl karıştırıcı bir durumdur; çünkü daha büyük bir değerde, kütleçekimi bastırıp uzaya egemen olacak bir değerde olmaması için hiçbir neden yoktur. Bunun yerine kütleçekimin gücüne çok yakındır; bu nedenle şu an gördüğümüz gibi uzay-zaman üzerinde pek fark edilmeyen bir etkisi vardır. Bu eksi enerji terimine "karanlık enerji" adı verilmiştir.

1998

Süpernova verileri kozmolojik sabite ihtiyaç olduğunu gösterir.



"[Karanlık enerji] uzayın kendisiyle ilişkili bir şeymiş gibi görünüyor. Kütleçekim etkisi olan karanlık maddenin tersine, bunun kütleçekime ters yönde olan etkisi Evren'in kendisi tarafından itilmesine neden oluyor."

Brian Schmidt, 2006

Karanlık enerji Karanlık enerjinin kökeni hâlâ bilinemiyor. Bütün bildiğimiz onun uzayın boşluğuyla ilgili bir enerji türü olduğu ve uzayın kütleçekim oluşturacak maddeden yoksun bölgelerinde negatif bir basınç yarattığıdır. Yani boş uzay bölgelerinin genişlemesine yol açar. Süpernova gözlemlerinden gücünü kabaca biliyoruz ama daha fazla şey de bilmiyoruz. Tam olarak sabit olduğundan emin değiliz. Yani Evren'in her yanında ve her zaman aynı değeri mi aldığını (kütleçekim ve ışık hızı gibi) yoksa değerinin zamanla değişiyor mu olduğunu (yani bugünkü değeri ile Büyük Patlama'dan sonraki ya da gelecekteki değerinin farklı olup olmadığını) bilmiyoruz. Daha genel biçimiyle (ve gücünün zaman içinde değişebileceği bütün olası yolları kapsadığı için) beşinci kuvvet diye de adlandırılmıştır. Ama bu gizli kuvvetin kendini nasıl ortaya koyduğu ya da Büyük Patlama fiziği içinde nasıl ortaya çıktığı hâlâ bilinmiyor. Fizikçilerin üzerinde çalışacağı sıcak bir gündem maddesidir.

Bugünlerde Evren'in geometrisini ve içeriğini çok daha iyi anlıyoruz: karanlık enerjinin keşfi, bütün Evren'in enerji bütçesindeki açığı kapatarak kozmolojinin hesap dengelerini sağlamıştır. Yani artık bu bütçenin %4'ünün normal maddeden (baryonlardan), %23'ünün baryonlardan meydana gelmeyen egzotik bir maddeden ve %73'ünün de karanlık enerjiden

"Tamamlayıcı terim (kozmolojik sabit) dahil edilmese bile sonuçların pozitif bir uzay eğriliği verdiğini vurgulamak gerekir. Bu terime yalnızca yarı-durağan bir madde dağılımını olanaklı kılmak için ihtiyaç vardır."

Albert Einstein, 1918

oluştuğunu biliyoruz. Bu sayıların toplamı, Evren'i açık ya da kapalı yapacak olan kritik kütleye yakın, dengeli bir "olması gereken Evren" için gereken değer civarında çıkıyor.

Bununla birlikte karanlık enerjinin gizemli özellikleri yüzünden Evren'in toplam kütlesini bilsek dahi geleceğini tahmin etmemiz zordur. Çünkü her şey karanlık enerjinin etkisinin gelecekte artmasına ya da azalmasına bağlıdır. Eğer Evren'in genişleme hızı artarsa, günümüzde Evren'e egemen olma açısından ancak kütleçekim kadar etkili olan karanlık enerji ileride belli bir noktada etkisini arttıracaktır; hızlanacak olan genişleme kütleçekime baskın gelecektir. Böylece Evren'in kaderi, gittikçe hızlanarak sonsuza kadar genişlemek olabilir. Bu yönde birtakım korkunç senaryolar da üretilmiştir: Kütleçekim yenildiğinde zayıf bir biçimde bir arada duran büyük kütleli yapılar dağılıp parçalanacaklardır. Bir süre sonra galaksiler çözülecek ardından yıldızlar buharlaşıp bir atom sisi oluşturacaktır. En sonunda negatif basınç atomları da parçalayacak ve geride yalnızca atomaltı parçacıklardan oluşan sıkıcı bir deniz kalacaktır.

Her ne kadar kozmoloji yapbozunun parçaları artık yerine oturmuş olsa ve Evren'in geometrisini tanımlayan sayılardan çoğunu ortaya çıkarmış olsak da hâlâ yanıtlanamamış bazı büyük sorular vardır. Evren'i oluşturan şeylerin %95'ini bilmiyoruz. Ayrıca bu yeni beşinci kuvvetin ne olduğu hakkında da bir fikrimiz yok. Yani zaman, arkamıza yaslanıp oturma ve elimizdekilerle yetinme zamanı değildir. Evren gizemini korumayı sürdürmektedir.

» fikrin özü

Beşinci kuvvet

49 Fermi Paradoksu

Bütün zamanların en büyük keşfi kuşkusuz Evren'in bir başka yerinde yaşamın izlerini bulmak olacaktır. Enrico Fermi, Evren'in yaşı ve büyüklüğü ile milyarlarca yıldızın ve gezegenin milyarlarca yıldır var olduğu göz önüne alındığında uzaylı uygarlıklarla hâlâ neden bir temas kurulamadığını merak etmişti. Onun paradoksu da buydu.

1950'de bir öğle yemeğinin ardından çalışma arkadaşlarıyla sohbet eden fizik profesörü Enrico Fermi'nin şöyle sorduğu iddia edilir: "Neredeler?" Galaksimiz Samanyolu'nda milyarlarca yıldız vardır ve Evren'de de milyarlarca galaksi bulunur. Dolayısıyla trilyonlarca yıldız var demektir. Bunların küçük bir kesrinde gezegenler olsa, bu bile muazzam sayıda gezegene karşılık gelir. Eğer bu gezegenlerin küçük bir kesrinde yaşam ortaya çıkmış olsa Evren'de milyonlarca uygarlık olması gerekir. Öyleyse onları neden şimdiye dek görmedik? Neden bizimle hâlâ temasa geçmediler?

Drake denklemi Frank Drake 1961'de Samanyolu'ndaki bir başka gezegende yaşayan, iletişim kurulabilecek bir uzaylı uygarlığının bulunma olasılığını gösteren bir denklem yazdı. Bu denklem artık onun adıyla Drake denklemi olarak anılıyor. Denklem bir başka uygarlığın bulunma şansını veriyor ama bu olasılık hâlâ oldukça belirsiz. Bir zamanlar Carl Sagan, Samanyolu'nda milyonlarca değişik uzaylı uygarlık olabileceğini ileri sürmüş ama sonra bu tahminini aşağıya çekmiştir. Başkaları da o değerin yalnızca 1 olduğunu, yani sadece insan uygarlığının olduğunu ileri sürmüşlerdir. Fermi'nin bu soruyu sormasının üzerinden yarım asırdan çok geçmiş olmasına karşın hâlâ bir ses işitmiş değiliz. İletişim sistemlerimize rağmen, bizi henüz kimse aramadı. Yakın çevremizdeki keşiflerimiz arttıkça, kendimizi o denli yalnız buluyoruz. Ay'da, Mars'ta, asteroitlerde, Güneş Sistemi'nin dış gezegenlerinde ya da onların uydularında yaşama ilişkin hiçbir sağlam kanıt, en ufak bir bakteri bile bulunamamıştır. Yıldızlardan gelen ışıklarda yıldızların

dönem

1950
Fermi uzaylılarla temasın neden hâlâ kurulamamış olduğunu sorar.

1961
Drake, denklemini oluşturur.

çevresindeki yörüngelerde dönen ve onların enerjisini toplayan dev makinelerin varlığını işaret eden hiçbir iz yoktur. Yoktur çünkü kimse böyle bir şeye bakmamıştır. İddialar göz önüne alınırsa, Dünya dışı zeki yaşam araştırmalarına büyük bir ilgi vardır.

"Kimiz biz? Bildiğimiz şey, insanlardan çok daha fazla galaksinin bulunduğu bir evrenin unutulmuş bir köşesinde gizlenmiş sıradan bir yıldızın önemsiz bir gezegeninde yaşadığımızdır."

Werner von Braun, 1960

Yaşam arayışları Peki, yaşamın izlerini aramak için nasıl bir yol izlenmelidir? İlk yol kendi Güneş Sistemi'miz içinde mikrop aramaya başlamaktır. Biliminsanları Ay'dan gelen kayaları çok dikkatle incelediler ama ne yazık ki hepsi de yaşam içermeyen bazalt kayalar çıktı. Bir ara Mars'tan gelen meteoritlerin bakteri kalıntıları içerdiği öne sürülmüştü. Ama o kayaların içindeki boş kabarcıkların uzaylı yaşam biçimlerine ev sahipliği mi yapmış olduğu yoksa Dünya'ya düştükten sonra buradan onlara yaşamın mı bulaşmış olduğu ya da doğal jeolojik süreçlerle kendiliğinden mi oluştukları hâlâ kanıtlanabilmiş değildir. Kaya örnekleri olmasa da uzay araçlarındaki ve yüzey araçlarındaki kameralarla Mars'ın, asteroitlerin ve hatta dış Güneş Sistemi'ndeki bir uydunun –Satürn'ün uydusu Titan'ın– bile yüzeyi sıkı bir şekilde taranmıştır.

Mars'ın yüzeyi volkanik kayalardan ve topraktan oluşan kuru bir çöldür yani Atacama çölünden pek bir farkı yoktur. Titan'ın yüzeyinde sıvı metan ve nem vardır ama şu ana kadar yaşam izine rastlanmamıştır. Jüpiter'in uydularından Europa'nın gelecekte Güneş Sistemi'ndeki yaşam araştırmaları için uygun bir hedef olduğu dile getirilmektedir. Çünkü donmuş yüzeyinin altında sıvı sudan denizler olabileceği tahmin ediliyor. Biliminsanları bu uyduya, buzdan kabuğu delip altına bakacak bir uzay aracı göndermeyi planlıyorlar. Dış Güneş Sistemi'nde jeolojik olarak oldukça aktif başka bazı uydular da keşfedilmiş durumda. Bunlar dev gaz gezegenlerin yörüngelerinde dönerken maruz kaldıkları kütleçekim torkları nedeniyle sıkıştırılıp gevşetildiklerinden sürekli ısı yayıyorlar. Dolayısıyla sıvı su aslında dış Güneş Sistemi'nde öyle pek de nadir bulunan bir şey değil. Bu da oralarda bir gün yaşamın izlerine rastlanacağı umutlarını ayakta tutuyor. Ancak bu bölgeye gönderilecek uzay aracı çok iyi sterilize edilmiş olmalı; çünkü Dünya'dan gidecek birtakım "yabancı" mikropları oralara bulaştırmamamız gerek.

1996

Antarktika'da bulunan meteoritlerde Mars'ta ilkel yaşamın olduğunu gösteren ipuçlarına rastlanır.

Drake denklemi

$N = N_* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_j \times f_c \times f_L$

burada:
N Samanyolu'nda saptanabilir elektromanyetik yayınlar yapan uygarlık sayısı
N_* galaksimizdeki yıldız sayısı
f_p gezegen sistemi olan yıldızların oranı
n_e gezegen sisteminde koşulları yaşama uygun gezegenlerin sayısı
f_l yaşamın gerçekten ortaya çıkabileceği gezegenlerin oranı
f_j yaşam barındıran gezegenler içinde zeki yaşamın ortaya çıkabileceği gezegenlerin oranı
f_c kendi varlıklarını gösteren saptanabilir sinyalleri uzaya yayma teknolojisi geliştirmiş uygarlıkların oranı
f_L uzaya saptanabilir sinyal gönderen uygarlıkların ömrü (Dünya için bu oran şu an için oldukça küçüktür)

Ama mikroplar iletişim kuramaz. Daha gelişmiş bitki ve hayvanlar kurabilir mi? Artık uzak yıldızların çevresinde dönen gezegenler keşfediliyor. Gökbilimciler onlardan gelen ışıkları çok dikkatle inceleyerek oralarda yaşamı destekleyecek ya da varlığını gösterecek bir "kimya"nın olup olmadığını araştırıyorlar. Işık tayflarında ozonun ya da klorofilin izine rastlanabilir. Ama bu tür keşifler ancak NASA'nın Karasal Gezegen Kaşifi gibi yeni kuşak uzay araçlarının yapabileceği keskin gözlemlerle mümkün olacaktır. Bu uzay araçları bir gün Dünya'ya çok benzeyen bir gezegen keşfedebilir. Eğer öyle olursa acaba o gezegen insanlarla, balıklarla ya da dinozorlarla mı dolu olur yoksa yalnızca içinde yaşam olmayan kıtalardan ve denizlerden mi ibaret olur?

Temas Diğer gezegenlerde, hatta Dünya benzeri olanlarda bile yaşam Dünya'dakinden çok farklı bir evrim geçirmiş olabilir. Bu nedenle oralardaki uzaylıların bizimle iletişim kurup kuramayacağı pek de kesin değildir. Radyo ve televizyon yayınlarının başlamasıyla birlikte bu yayınların sinyalleri Dünya'nın dışına da çıkıyor ve uzayda ışık hızıyla ilerliyor. Yani Alfa Centauri'deki (4 ışık yılı ötede) bir TV izleyicisi Dünya kanallarında 4 yıl önce yayınlanan programları izliyor ve belki de *Mesaj* filminin tekrar gösterimlerinden çok hoşlanıyor olabilir. Siyah-beyaz filmler Arcturus yıldızına ulaşmıştır ve Charlie Chaplin belki de Aldebaran'da da çok sevilen bir film yıldızıdır. Yani eğer onları yakalayacak bir anten varsa, aslında Dünya uzaya bol miktarda sinyal yaymaktadır. Diğer gelişmiş uygarlıklar da aynı şeyi

yapmıyorlar mıdır? Radyoastronomlar uzun zamandır yakın yıldızlardan gelebilecek doğal olmayan sinyalleri yakalamaya çalışıyorlar.

"Güneş'imiz galaksimizdeki 100 milyar yıldızdan biridir. Galaksimiz de Evren'deki milyarlarca galaksiden biridir. Böyle muazzam bir enginlikte tek canlılar olduğumuzu düşünmek çok cüretkârca olurdu."

Carl Sagan, 1980

Radyo dalgalarının çok geniş bir tayfı vardır. Bu nedenle gökbilimciler belli başlı doğal enerji geçişlerininkine yakın frekanslara, örneğin Evren'in her yanında aynı olan hidrojeninkilere yoğunlaşıyorlar. Düzenli ya da belli bir yapısı olan ama bilinen gökcisimlerinin hiçbirinin üretemeyeceği sinyalleri arıyorlar. Cambridge'de yüksek lisans öğrencisi olan Jocelyn Bell 1961'de bir yıldızdan düzenli radyo dalgaları geldiğini keşfettiğinde oldukça korkmuştu. Bazıları bunun uzaylıların kullandığı bir tür mors alfabesi olduğunu ileri sürdü ama kaynağın kendi ekseninde dönen ve sonra pulsar adı verilen yeni bir tür nötron yıldızı olduğu anlaşıldı. Binlerce yıldızı tarama işlemi çok zaman aldığı için ABD'de SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence – Dünya Dışı Zeki Yaşam Araması) adlı bir program başlatılmıştır. Bu programda, yıllardır gelen verilerin çözümlenmesine karşın dikkat çekici hiçbir sinyale rastlanamamıştır. Aramaya zaman zaman başka teleskoplar da katılır ama onlar da doğal kaynaklı olmayan hiçbir şeye rastlamamışlardır.

Beceriksiz Yani hem iletişim kurmak için hem de yaşamın izlerini saptamak için birçok yöntem düşünebildiğimiz göz önüne alındığında acaba neden hiçbir uygarlık çağrılarımıza yanıt vermiyor ve kendi iletilerini göndermiyor olabilir? Neden Fermi paradoksu hâlâ geçerliliğini koruyor? Bu konuda birçok görüş var. Belki de yaşam iletişim kuracak denli gelişmiş bir düzeyde yalnızca çok kısa süreliğine kalabiliyordur. Bu neden böyle olabilir? Belki de zeki yaşam her zaman kendisini çok hızlı yok ediyor olabilir. Belki de kendi kendini yok eden bir yapısı vardır ve uzun süre hayatta kalamıyordur. Bu nedenle de iletişim kurma şansı ve yakınlarda iletişim kurabilecek birilerinin bulunma olasılığı gerçekten de çok düşüktür. Bunun yanında paranoyakça senaryolar da yok değildir. Örneğin uzaylılar kasıtlı olarak bizimle iletişime geçmiyor ve bizi özellikle izole tutuyor olabilirler. Belki de çok meşguldürler ve zaman ayıramıyorlardır.

» fikrin özü
Kimse yok mu?

50 Antropi İlkesi

Antropi ilkesi kısaca, Evren olduğu gibidir çünkü eğer farklı olsaydı, bizler onu gözlemlemek için burada bulunuyor olamazdık der. Bu, çekirdek kuvvetlerinin büyüklüğünden karanlık enerjiye ve elektronun kütlesine kadar fizikteki her parametrenin neden o değeri taşıdığının açıklamalarından biridir. Bu parametrelerden herhangi biri çok az bile farklı olsaydı, Evren yaşam için uygun olmayabilirdi.

Eğer güçlü çekirdek kuvveti çok az daha farklı olsaydı, o zaman protonlar ile nötronlar birbirine yapışarak çekirdeği oluşturamazlardı ve atomlar da oluşamazdı. Kimya var olmazdı. Karbon olmazdı ve dolayısıyla biyoloji ve insanlar da var olamazdı. Eğer biz olmasaydık, Evren'i kim gözlemlerdi ve onun yalnızca bir kuantum olasılık çorbası şeklinde var olmasını engellerdi.

Ya da eğer atomlar var olsa ve Evren de bildiğimiz bütün yapıları oluşturacak şekilde gelişseydi ama karanlık enerji birazcık daha güçlü olsaydı, galaksiler ve yıldızlar çoktan parçalanmaya başlamış olurdu. Yani fizik sabitlerinin değerlerindeki, temel kuvvetlerin gücündeki ve parçacıkların kütlelerindeki en küçük değişikliklerin bile korkunç sonuçları olabilir. Bunu şöyle de düşünebiliriz: Evren aslında çok ince ayarlıdır. Kuvvetler tam da insanların ortaya çıkması için "gerektiği gibi"dir. 14 milyar yaşında, karanlık enerji ile kütleçekimin birbirini dengelediği ve atomaltı parçacıkların bu halleriyle oluştuğu bir Evren'de yaşıyor olmamız şans eseri mi gerçekleşmiştir?

Tam da böyle Antropi ilkesi kibirli bir şekilde insanlığın özel olduğunu ve bütün Evren'in bizim için var olduğunu düşünmek yerine, aslında bunda hiç de şaşırtıcı bir yan olmadığını gösterir. Eğer temel kuvvetlerden herhangi biri birazcık farklı olsaydı, onun sonuçlarına tanıklık etmek için burada olamazdık. Tıpkı birçok gezegenin olması ama bildiğimiz kadarıyla yalnız birinde yaşam için uygun koşulların bulunması gibi Evren

dönem

1904

Alfred Wallace insanın Evren'deki yerini tartışır.

1957

Robert Dicke Evren'in biyolojik etkenlerle sınırlandırıldığını yazar.

"Bütün fizik ve kozmoloji niceliklerinin gözlemlenen değerleri eşit derecede olası değildir ve şu gerekçenin sınırlandırdığı değerleri alabilirler: Karbon temelli yaşamın ortaya çıkacağı bölgelerin var olması ve ... Evren'in onlara zaten sahip olacak kadar yaşlı olması."

John Barrow ve Frank Tipler, 1986

de aslında olası birçok şekilde oluşabilirdi ama biz ancak şu anki Evren'de var olabilirdik. Aynı şekilde eğer annemle babam tanışmamış olsaydı, yani eğer yanmalı motor, icat edildiği zamanda değil de bir başka zamanda icat edilseydi ve babam da annem ile tanışacağı kuzeye yolculuk etme olanağı bulamasaydı ben burada olamazdım. Tabii bu, bütün Evren'in yalnızca ben var olayım diye bu haliyle oluştuğu anlamına gelmez. Ama "benim var oluşum" gerçeği tabii ki birçok başka şeyin yanında motorun önceden icat edilmiş olmasını gerektiriyor ve böylece içinde bulunacağım evrenler yelpazesini daraltıyor.

Her ne kadar filozofların argümanlarına benzese de antropi ilkesi Robert Dicke ve Brandon Carter tarafından fizikte ve kozmolojide kullanılmıştır. Zayıf antropi ilkesi diye bilinen versiyonu şöyle der: Parametreler farklı olsaydı, burada olamazdık; dolayısıyla "var oluşumuz gerçeği" aslında bizim içinde kendimizi bulabileceğimiz, yaşama olanak tanıyan fiziksel evrenlerin özelliklerini sınırlandırır. Diğer güçlü versiyonda bizim varlığımızın önemi daha güçlü vurgulanır ve yaşamın, Evren'in var olmasının gerekli bir sonucu olduğu ifade edilir. Örneğin bir kuantum evrenini gözlemleyerek onu somutlaştırmak için gözlemcilere gerek vardır. John Barrow ve Frank Tipler bir başka versiyon daha geliştirmiştir. Buna göre enformasyon işleme Evren'in temel amaçlarından biridir; bundan dolayı Evren enformasyon işleyecek yaratıklar üretmek zorundadır.

Çoklu dünyalar İnsanın oluşabilmesi için Evren'in yaşlı olması gerekir. Yani ilk kuşak yıldızların karbon üretebilmesi için yeterince zaman geçmesi, güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin nükleer fizik ve kimya tepkimelerine

1973

Brandon Carter antropi ilkesini ileri sürer.

Antropik kabarcıklar

Eğer içinde yaşadığımız Evren'e paralel (ya da balon) başka evrenler de varsa, o zaman antropik ikilemden kaçınabiliriz. Her kabarcık evrende fiziksel parametreler birazcık farklıdır. Bu farklı parametreler her evrenin kendi gelişimini ve herhangi birinde yaşamın ortaya çıkabileceği uygun bir niş sağlanıp sağlanamayacağını belirler. Bildiğimiz kadarıyla yaşam çok titizdir ve ancak birkaç tane evrende ortaya çıkabilecektir. Ama o kadar çok kabarcık evren vardır ki var olma olasılığımız aslında pek de küçük olmayabilir.



olanak tanıyacak "ayarda" olması gerekir. Kütleçekim ile karanlık enerji de Evren'i parçalayacak şekilde değil, yıldız oluşumunu sağlayacak bir dengede olmalıdır. Dahası yıldızlar, gezegenlerin oluşmasını sağlayacak kadar uzun yaşamalı ve gezegen sistemleri de bizim su, azot, oksijen ve yaşamı başlatacak diğer bütün molekülleri içeren, ılık bir gezegen bulabileceğimiz kadar büyük olmalıdır.

Fizikçiler bu niceliklerin farklı olduğu evrenleri düşleyebildiği için kimileri bunların da tıpkı bizim Evren'imiz gibi kolayca yaratılabileceğini ileri sürmüştür. Bunlar paralel evrenler yani çoklu evrenler olarak var olabilirler ve biz bunlardan yalnızca birinde var olabiliriz. Paralel evrenler fikri bizim olamayacağımız başka evrenlere olanak verdiği için antropi ilkesiyle uyumludur. Bunlar çok boyutlu olabilir ve kuantum kuramının gözlemlerin sonuçlara etki etmesi gerekliliği ile örtüşecek şekilde bölünebilirler (bkz. s. 115).

Öte yandan Antropi ilkesine yönelik de eleştiriler vardır. Kimileri onun zaten herkesçe bilinen bir gerçek olduğunu –bunun gibi olduğu için bunun gibi– ve yeni bir şeyler ortaya koymadığını düşünür. Bazıları da test edebileceğimiz bir tek bu özel Evren'imiz olduğu için pek mutlu değildir ve Evren'imizi denklemlerin dışına düşürebilecek şekilde otomatik olarak ayarlamanın yollarını gösterecek matematiği aramayı yeğler. Çoklu evren fikri, sonsuz seçenek sunduğu için buna yaklaşır. Aralarında sicim kuramcılarının ve M-kuramını destekleyenlerin de bulunduğu bazı başka teorisyenler de parametrelere ince ayar yapmak için Büyük Patlama'nın da ötesine geçmeye çalışıyorlar. Büyük Patlama'dan önce, bir tür enerji manzarası halindeki kuantum denizine bakıyorlar ve kıvrılıp açıldığında bir evrenin ortaya çıkması en olası yeri araştırıyorlar. Örneğin bir topu bayır aşağı yuvarladığınızda onun sonunda vadi tabanı gibi bazı özel yerlerde durma olasılığı başka yerlere göre daha yüksek olur. Dolayısıyla enerjisini en aza indirmeye çalışan Evren de (milyarlarca yıl sonra bizim ortaya çıkabileceğimizi hiç hesaba katmadan) doğal olarak belli bazı "parametre kombinasyonları"nı aramış olabilir.

"Sıfırdan bir elmalı turta yapmak için önce Evren'i oluşturmanız gerekir."

Carl Sagan, 1980

Antropi ilkesini savunanlar ile bildiğimiz Evren'in oluşmasını sağlayan daha matematiksel araçların peşinde koşan diğerleri, bulunduğumuz yere nasıl gelmiş olabileceğimiz konusunda ve hatta bunun sorulması gereken ilginç bir soru olup olmadığı konusunda anlaşamıyorlar. Bir kez Büyük Patlama'nın ve gözlenebilir Evren'in ötesine, paralel evrenler ve önceden mevcut enerji alanlarının alemine geçtiğimizde artık gerçekten de felsefi bir zemindeyiz demektir. Ama Evren'in şu anki kıyafetleriyle ortaya çıkması için onu ne tetiklemiş olursa olsun, milyarlarca yıl sonunda ortaya çıkmış olduğu için şanslıyız. Yaşamın ihtiyacı olan kimyanın gelişmesinin zaman alması anlaşılabilir. Ama Evren'in tarihinde karanlık enerjinin görece merhametli ve kütleçekimle dengeli olduğu böyle özel bir zamanda, burada yaşıyor olmamız şanstan öte bir şeydir.

» fikrin özü
Olması gerektiği gibi Evren

Terimler Sözlüğü

Alan Uzaktan kuvvet iletimini sağlayan şey. Elektrik ve manyetizma birer alandır. Kütleçekim de öyle.

Atom Maddenin yalıtılmış olarak var olabilen en küçük birimi. Atomlarda merkezdeki (artı yüklü) protonlar ile (yüksüz) nötronlardan oluşan sert çekirdeğin çevresini saran (eksi yüklü) elektron bulutları olur.

Basınç Birim alana uygulanan kuvvet. Bir gazın basıncı, gaz atomlarının ya da moleküllerinin içinde bulundukları kabın iç çeperlerine uyguladığı kuvvettir.

Bozon Simetrik dalga fonksiyonlu parçacık; iki bozon aynı kuantum durumunda olabilir. (*ayrıca bkz.* Fermiyon)

Çekirdek Atomun, güçlü çekirdek kuvvetinin bir arada tuttuğu proton ve nötronlardan oluşan katı merkezi.

Çoklu dünya hipotezi Kuantum kuramı ve kozmolojide, olaylar meydana geldikçe paralel evrenlerin oluştuğu ve bizim herhangi bir anda bu evrenlerden bir tanesinde bulunduğumuz fikri.

Dalga cephesi Bir dalganın tepe noktalarından geçen hat.

Dalga fonksiyonu Kuantum kuramında, bir parçacık veya nesnenin özelliklerini ihtimallere bağlı olarak betimleyen matematiksel fonksiyon.

Dalga-parçacık ikiliği Zaman zaman dalga gibi, zaman zaman da parçacık gibi davranma özelliği. En belirgin şekilde ışıkta görülür.

Dalgaboyu Bir dalga tepesinden bir sonraki dalga tepesine olan uzaklık.

Dolanıklık Kuantum kuramında, zamanın bir noktasında birbiriyle ilişkili parçacıkların daha sonra kendileriyle birlikte enformasyon taşıması ve bunun anında haberleşmede kullanılması düşüncesi.

Elektrik Elektrik yükü akışı. Dirençle yavaşlatılabilen bir akım (akış) oluşturan bir gerilimi (enerji) vardır.

Enerji Bir şeyin değişim potansiyelini belirleyen özellik. Birçok türe dönüşebilir ama her zaman korunur.

Entropi Düzensizliğin bir ölçüsü. Bir şey ne kadar düzenliyse entropisi o kadar düşüktür.

Esneklik Esnek malzemeler Hooke yasasına uyar. Yani kendilerine uygulanan kuvvetle orantılı gerilen malzemeler.

Evren Bütün uzay ve zaman. Tanımı gereği her şeyi kapsar ama bazı fizikçiler bizimkinden ayrı paralel evrenler olabileceğini ileri sürmektedir. Genişlemesine ve içindeki yıldızların yaşına bakılarak yapılan hesaplara göre Evren'imiz 14 milyar yaşındadır.

Evren'in yaşı *bkz.* Evren

Eylemsizlik *bkz.* Kütle.

Faz Bir dalga ile bir başka dalga arasındaki, dalgaboyu oranlarıyla ölçülen göreli kayma. Bir tam dalgaboyluk kayma 360 derece olur; eğer göreli kayma 180 dereceyse iki dalga tam faz dışıdır. (*ayrıca bkz.* Girişim)

Fermiyon Pauli'nin dışlama ilkesine uyan parçacıklar (iki fermiyon aynı kuantum durumunda bulunamaz). (*ayrıca bkz.* Bozon)

Foton Işığın parçacık hali.

Frekans Düzenli aralıklarla meydana gelen bir olayın meydana gelme sıklığı.

Galaksi Kütleçekimin bir arada tuttuğu milyonlarca yıldızdan oluşan grup. İçinde yer aldığımız Samanyolu, sarmal bir galaksidir.

Gaz Birbirine bağlı olmayan atom veya element bulutu. Gazların sınırları yoktur ve bir kaba sıkıştırılabilirler.

Gerilim Bir katının, kendisine yük uygulandığında içinde hissettiği birim alan başına düşen kuvvet miktarı.

Gerinim Bir şey çekildiğinde birim uzunluk başına uzama miktarı.

Girişim Değişik fazlardaki dalgaların birbirinin içine geçerek (aynı fazdayken) güçlenmesi veya (farklı fazdayken) zayıflaması.

Gözlemci Kuantum kuramında gözlemci, deney yapan ve sonuçları ölçen kişidir.

Hız Belli bir yöndeki sürat. Bir şeyin o yönde belli bir sürede aldığı mesafe.

İvme Bir şeyin belli bir sürede hızındaki değişim.

İzotop Aynı kimyasal elementin farklı bir biçimi. İzotopların çekirdeklerinde aynı sayıda proton ama farklı sayıda nötron bulunur; dolayısıyla atom kütleleri farklıdır.

Kara cisim ışıması Bir kara cisimden yayılan ve özgün bir tayfı olan, belli sıcaklıktaki hafif parlama.

Kırılma Dalgaların genellikle bir ortamdan başka bir ortama geçerken yavaşlaması nedeniyle bükülmesi. Prizmadan geçen ışık ışınları da böyle kırılır.

Kırınma Dalgaların keskin bir kenardan geçerken dağılması. Limana doğru ilerleyen dalgalar duvardaki bir boşluktan geçerken kırınır.

Kırmızıya kayma Uzaklaşan bir nesneden gelen ışığın dalgaboyunda Doppler etkisi ya da Evren'in genişlemesi nedeniyle oluşan kayma. Gökbilimde çok uzaktaki yıldızların ve galaksilerin mesafelerini ölçmede kullanılır.

Kozmik mikrodalga arkaplan ışıması Bütün Evren'i kaplayan zayıf bir mikrodalga ışıması. Büyük Patlama'dan arta kalan bu ışıma, soğuyarak ve kırmızıya kayarak 3 K sıcaklığa kadar düşmüştür.

Kuanta Enerjinin en küçük alt birimi.

Kuark Üçlüler halinde birleşerek protonları ve nötronları oluşturan temel parçacık. Kuarklar tarafından oluşturulan maddelere hadron denir.

Kubit Kuantum bit. Bilgisayar "bit"lerine benzerler ama kuantum bilgisi taşırlar.

Kuvvet Bir şeyin hareketinde değişime yol açan kaldırma, çekme ya da itme. Newton'ın 2. Yasası'na göre kuvvet, yol açtığı ivmelenme ile orantılıdır.

Kütle Bir şeyin içerdiği atom sayısına ya da enerji miktarına bağlı bir özellik. Eylemsizlik de kütleyi, cismin harekete karşı gösterdiği dirençle tanımlayan benzer bir fikirdir. Kütlesi daha fazla olan cisimleri harekete geçirmek daha zordur.

Kütleçekim Kütlelerin birbirini etkilemesine neden olan temel kuvvet. Kütleçekim Einstein'ın genel görelilik kuramıyla tanımlanır.

Momentum Hız ile kütlenin çarpımı. Hareket eden bir şeyi durdurmanın zorluk miktarını ifade eder.

Rassallık Rasgele (rassal) bir sonuç yalnızca şansa bağlıdır. Hiçbir sonuç bir diğerinden daha yüksek ihtimalde değildir.

Süpernova Belli bir kütlenin üstündeki yıldızların yaşamlarının sonunda gerçekleşen patlama.

Tayf Radyo dalgalarından başlayıp görünür ışığı ve X-ışınlarını da içine alarak gama ışınlarına kadar uzanan elektromanyetik dalgalar dizisi.

Türbülans Akışkanların akarken hızlarının çok artması nedeniyle kararsızlaşıp düzensizleşmesi ve çalkantılı halde akmaya ve burgaçlar oluşturmaya başlaması.

Uzay-zaman metriği Genel görelilikte geometrik uzay, zaman ile birleşerek tek bir fonksiyon oluşturur. Zihinde canlandırabilmek için sık sık kauçuk bir örtüye benzetilir.

Vakum Hiçbir atom içermeyen; tam boşluk. Doğada görülmez. Boş uzayda bile santimetreküp başına birkaç atom bulunur. Ama biliminsanları laboratuvarda vakum oluşturmaya oldukça yaklaşmıştır.

Yansıma Bir yüzeye çarpan bir dalganın geri dönüşü. Aynaya çarpan bir ışık ışınının sekmesi bir yansımadır.

Dizin

A

aerodinamik 53-4
Airy, George, Airy halkaları 74
akışkanlar
  Bernoulli denklemi 52-5
  kaos kuramı 51
  Navier-Stokes denklemleri 55
  süper akışkanlar 125, 150
alfa ışınımı 130
antimadde 132-5, 144-6
atomlar 204
  atomaltı parçacıklar 128-31, 144-6, 148-50
  dışlama ilkesi 121
  enerji seviyeleri 100-2, 109
  güçlü kuvvet 131, 140, 146, 200
  manyetik alan 91
  nükleer füzyon 140
  parçalamak 136-9
Avogadro sayısı 32, 33

B

baryon 146, 189, 191
basınç 32, 34-5, 204
belirsizlik ilkesi 104-7, 108, 110
Bernoulli, Daniel 54
  Bernoulli denklemi 52-5
beta ışınımı 130, 145, 150
Büyük Patlama 175, 179, 180-3, 186-7
Bohr, Niels 101-2, 108, 109, 137
Bose, Satyendra Nath 123, 126
boylam 30-1
bozon 123, 126, 135, 145, 146, 147, 153-5, 204
Bragg, William L. 69, 103
  Bragg yasası 68-71
Broglie, Louis-Victor de 99, 102
Brown hareketi 44-7, 98
bungee jumping 30

C

cam 64, 65, 66, 74-5
cep telefonu 89, 90-1

D

dalgaboyu 60-1, 89, 99, 204
dalgalar
  dalga-parçacık ikiliği 75, 96-9, 100-3, 109, 111, 204
  Doppler etkisi 76-9
  elektromanyetik 22, 57-8, 71, 88-91, 96, 100
  girişim 70, 73, 75, 98-9, 204
  Huygens ilkesi 60-3
  ışık 57-8
  kırılma 66
  kırınım 68
  kütleçekimsel 166
  Schrödinger denklemi 100-3, 205
deniz feneri 74-5, 86
difüzyon 45-6
Dirac, Paul 91, 114, 132, 134
DNA'nın çifte sarmal yapısı 68, 70, 71
Doppler, Christian 77
  Doppler etkisi 76-9, 178
Dünya'nın dönüşü 25

E

Einstein, Albert 98
  Bose-Einstein yoğuşması 126
  Brown hareketi 45, 98
  enerji ve kütle 5, 22
  EPR paradoksu 116-9
  görelilik kuramları 7, 91, 98, 160, 162-7, 192
  ışık 57, 96, 97-9
  kozmolojik sabit 192-5
esnek enerji 21, 28-31
elektrik 204
  akım 82, 83, 84, 87
  devreler 26, 83
  direnç 82, 83
  durgun 80
  fotoelektrik etki 96-9
  kapasitör 86-7
  nükleer füzyon 141-2
  nükleer güç 137, 138
  ohm yasası 83
  sağ el kuralı 84-7
  süper iletkenlik 124-7
  transformatörler 87
  voltaj (gerilim) 82, 83, 86
  yalıtkan 81, 82
  yarı iletken 81, 99
elektromanyetizma
  dalgalar 22, 57-8, 71, 88-91, 96, 100
  indüksiyon 84-7, 91
  ışıma 95
elektromotif kuvvet 85
elektronlar
  antimadde 132, 144
  Cooper çiftleri 125-7
  dalga denklemi 100-3
  dışlama ilkesi 120-1, 126
  fotoelektrik etki 97, 99
  leptonlar 146
  Rutherford deneyi 128-31
  yük 80, 81, 84
enerji 204
  dalgalar 60, 63
  entropi 37-8
  korunumu 20-3, 64-5
  ve kütle 5, 22
entropi 37-8, 39, 94, 204
ergodik kuram 51
evren
  ayrıca bkz. gezegenler; yıldızlar
  antimadde 135
  antropi ilkesi 200-3
  Büyük Patlama 175, 179, 180-3, 186-7
  Doppler etkisi 78-9
  Drake denklemi 196, 198
  durgun durum 180, 183, 192
  entropi 37, 38
  genişleme 176-9, 181, 184, 187, 192-5
  ışık ışınları 184-7
  kaos kuramı 51
  karanlık enerji 192, 194-5, 200, 202
  karanlık madde 188-91
  kozmolojik sabit 192-5
  Mach ilkesi 4-7
  mikrodalga ışıması 179, 182-3, 185-6, 187
  Olbers paradoksu 172-5
  paralel 115, 202-3
  sıcaklık 41-2, 94
  uzay-zaman 165-7, 168
  yaşam arayışı 196-9
eylemsizlik 5-6, 7, 8

F

Faraday, Michael 85-6
Fermat, Pierre 66, 67
Fermi, Enrico 121, 137-8
  Fermi paradoksu 196-9
Fermiyonlar 121, 122, 126, 146, 147, 204
Feynman, Richard 150, 159
  Feynman diyagramları 148-51
Fleming, John Ambrose, sağ el kuralı 84-7
fotoelektrik etki 96-9
fotonlar 86-7, 96-9, 101, 105, 204
fraktal 46-7, 50
Franklin, Benjamin 81
frekans, dalga 61, 204

G

Galileo, Galilei 5-6, 20-1
gama ışınları 59, 89, 105, 130
Gauss yasası 90-1
gaz 204
  ideal gaz yasası 32-5
  Maxwell'in cini 39
  sıvı 42
gerinim 29, 204
gezegenler
  kaos kuramı 51
  Kepler yasaları 12-5, 17
  Neptün 18, 51
  Satürn 61, 62, 63
girişim 70, 73, 75, 98-9, 204
gluonlar 146, 147
Goethe, Johann Wolfgang von 59
gökkuşağı 56, 58-9
görelilik kuramları 91
  genel 98, 164-7, 184, 192
  kuantum kuramı 132, 134
  özel 98, 160-3

H

hadron 145, 154
hareket
  basit harmonic 24-7
  Brown 44-7, 98
  devridaim 38-9, 124
  Doppler etkisi 76-9
  kaos kuramı 51
  Mach ilkesi 4-7
  Newton yasası 8-11
  özel görelilik 162-3
hava durumu 48-50, 51, 55
Heisenberg, Werner 106, 108
  belirsizlik ilkesi 104-7, 108, 110
hız
  hareket yasaları 8-9
  ışığın 22, 160-3
  sesin 7, 160
hidrojen 101-2, 130, 133, 140-3, 181, 182, 191
Higgs bozonu 147, 152-5
Hooke, Robert 29, 31, 57
  Hooke yasası 28-31
Hubble yasası 176-9, 181
Huygens, Christiaan 61
  Huygens ilkesi 60-3, 68

I

ısı
  enerji 21-2
  termodinamik 36-9
  ve ışık 92-5
  ve renk 92-4
ışık
  bükülme 57, 58, 64-7, 165, 166, 190
  dalga-parçacık ikiliği 97-9
  dalgalar 57-8, 88-9, 95
  fotoelektrik etki 96-9
  gaz ortam 43

hız 22, 60-3
ısınma 64-7
kanma 58, 72-5
kozmoloji 59
morötesi 59, 94, 95, 96-9
özel görelilik 60-3
ve ısı 92-5
ve renk 11, 31, 56-7, 58-9, 93-4
yansıma 66
ışıma 130, 138-9
ışınlanma 117, 119

İ

ivmelenme 9-10, 16, 18, 205

K

kan akışı 53, 54, 78
kaos kuramı 48-51
kara cisim ışıması 43, 93-5, 205
kara delikler 166, 167, 168-71, 183
karanlık enerji 192, 194-5, 200, 202
karanlık madde 188-91
kelebek etkisi 48, 50
Kelvin, Lord 43, 55
Kelvin ölçeği 40-1
Kepler, Johannes 13, 173
Kepler yasası 12-5
kırılma 64-7, 205
kırınım 68, 72-5, 99, 205
kırmızıya kayma 79, 175, 178-9, 181, 205
kinetik enerji 21, 22-3, 25
Kopenhag yorumu 108-11, 112, 116
kuanta 95, 97, 100, 167, 205
kuantum mekaniği
antimadde 132-5
belirsizlik ilkesi 104-7
Bose-Einstein yoğuşmaları
çoklu dünya hipotezi 115, 204
dışlama ilkesi 120-3
dolanıklık 116, 118, 119, 204
EPR paradoksu 116-9
Kopenhag yorumu 108-11, 112, 116
kriptografi 116, 118-9
kuantum elektrodinamik (KED) 150, 151
kütleçekim teorileri 167
matris mekaniği 106-7
Schrödinger'in kedisi 112-5
sicim kuramı 159
ve elektromanyetizma 91
ve görelilik 132, 134
kuarklar 144, 145-7, 181, 205
kuvvet 205
esnek 29
elektromanyetik 89, 153
elektromotif 85
elektrozayıf 151, 152
güçlü çekirdek kuvveti 131, 140, 146, 149, 200
Higgs alanı 153
Newton yasaları 8-11, 16
zayıf çekirdek kuvveti 146, 149, 150, 151, 152, 202
kütle 5, 9-10, 16, 22, 23, 205
kütleçekim 205
dalgalar 166
Galileo'nun deneyi 10
Genel görelilik 164-7, 184, 192
graviton 147
kaos kuramı 51
kara delikler 169
ve karanlık enerji 195, 202
ve karanlık madde 188, 190
Mach ilkesi 4, 5
Newton yasası 16-9
potansiyel enerji 21, 25

L

Leibniz, Gottfried 4, 22
leptonlar 145, 146, 147
Lorenz, Edward 49, 50

M

M-kuramı 158, 183, 203
Mach, Ernst 7
Mach ilkesi 4-7, 134
MACHO'lar 190-1
manyetizma 89, 91
ayrıca bkz. elektromanyetizma
Maxwell, James Clerk 86, 90
Maxwell'in cini 39
Maxwell denklemi 88-91, 94
mercekler 65, 66, 67, 74-5, 81
meta-malzemeler 66-7
mezonlar 131, 146
mikrodalgalar 59, 89
kozmik 94, 179, 182-3, 185-6, 205
mol 32, 33
momentum 23, 55, 205
momentum ve hız 23
mutlak sıfır 40-3, 124, 126
müonlar 146

N

Navier-Strokes denklemi 55
nötrino 122, 134-5, 144, 145, 191
nötron 80, 99, 105, 121, 122, 128, 130-1, 133
Newton, Isaac 11, 31
hareket 8-11
kütleçekim 6, 16-9
renk kuramı 56-9
nükleer füzyon 136-9, 150
nükleer füzyon 140-3, 181, 182
nükleer silahlar 106, 138-9, 150
nükleon 131
nükleus (çekirdek) 128-31, 136-7, 144-5, 205

O

Ohm kanunu 83
Olbers paradoksu 172-5

P

parçacık fiziği
Feynman diyagramları 148-51
Higgs bozonu 152-5
sicim kuramı
standart model
parçacık hızlandırıcı 127, 133, 147, 154
Pauli, Wolfgang 122
dışlama ilkesi 120-3, 170
Plank, Max 93, 163
Plank yasası 92-5, 100
Podolsky, Boris 116-9
polen 44-5
pozitronlar 132, 133, 134
protonlar 80, 99, 121, 128, 129, 131, 133
pulsar 166, 199

R

radyo dalgaları 89
renk
ışığın 11, 31
Newton'ın kuramı 56-9
ve sıcaklık 92-4
rezonans 26-7
Rosen, Nathan 116-9
Röntgen, Wilhelm 71
Rutherford, Ernest 128-31

S

saatler 26, 30-1, 61
Samanyolu 171, 173, 176-7, 178, 181, 191, 196
sarkaçlar 20-1, 22, 24-5, 61
Schrödinger, Erwin 114
dalga denklemi 100-3, 106, 108, 114
Schrödinger'in kedisi 112-5
ses 7, 58, 62, 76-9
sıcaklık
ayrıca bkz. ısı
evren 41-2, 94, 186
mutlak sıfır 40-3, 124, 126
süper iletkenlik 124
termodinamik 36, 37
sıcım kuramı 156-9, 183, 203
Snell yasası 64-7
soğuk füzyon 142
solucan delikleri 167, 171
su 58, 60-3, 64-6
süper akışkanlar 125, 150
süper iletkenlik 43, 124-7
Szilárd, Léo 137, 138, 139

T

tau 146
teleskop 166, 178, 179
termodinamik 36-9, 94
theremin 26
titreşimler 24-7, 156-7

U

uranyum 136-7, 139
uzay yolculuğu
COBE uydusu 94
Hubble teleskopu 166, 178, 179
mikrodalga sondası 185
Titan sondası 62, 63
zamanın genişlemesi 161-2
uzay-zaman metriği 165-6, 168, 205

V

vakum 35, 88-9, 205
venture borusu 54

W

WIMP'ler 189, 190-1

X

X ışınları 59, 68-71, 89

Y

yansıma 66, 93-4, 205
yarı iletkenler 81, 99
yıldırım 80, 81, 82
yıldızlar
beyaz cüce 122
donmuş 170
kütleçekim dalgaları 166
renk 92-3
nötron 122-3
nükleer füzyon 142-3
Olbers paradoksu 172-5
Young, Thomas 22, 75
yükseklik 34-5, 41

Z

zaman 161-3, 165-6, 168

domingo

GERÇEKTEN BİLMENİZ GEREKEN 50 FİZİK FİKRİ
JOANNE BAKER

Özgün ismi: 50 Physics Ideas You Really Need to Know
© 2009, Joanne Baker

Bu kitabın Türkçe yayın hakları Anatolialit Telif Ajansı aracılığıyla
Quercus Editions Ltd (UK)'den alınmıştır.

Türkçe yayın hakları:
© 2016 Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Sertifika No: 46105
Domingo, Bkz Yayıncılık markasıdır.

Çeviri: Çağlar Sunay
Editör: Cem Duran
Sayfa ve Kapak Uyarlama: Bahadır Erşık

ISBN: 978-605-4729-67-8
1. Baskı: Nisan 2016
VI. Baskı: Eylül 2021
Levent Ofset Basım ve Ambalaj San. Tic. A. Ş.
Fatih Caddesi Karadal Sokak No:13 34169 Merter İstanbul
Tel: (212) 637 15 30 Sertifika No: 45163

Tüm hakları saklıdır. Bu kitabın tümünün veya içeriğinin herhangi bir bölümünün yayıncının yazılı izni olmadan, fotokopi yöntemi dahil, elektronik ya da mekanik herhangi bir yolla çoğaltılması yasaktır.

Bkz Yayıncılık Ticaret ve Sanayi Ltd. Şti.
Şahkulu Mah. Büyük Hendek Cad. Brot Apt. No: 4/10 Beyoğlu İstanbul Tel: (212) 245 08 39
e-posta: domingo@domingo.com.tr
www.domingo.com.tr



Mach İlkesi
Newton'ın Hareket Yasaları
Kepler Yasaları
Newton'ın Kütleçekim Yasası
Enerjinin Korunumu
Basit Harmonik Hareket
Hooke Yasası
İdeal Gaz Yasası
Termodinamiğin İkinci Yasası
Mutlak Sıfır
Brown Hareketi
Kaos Kuramı
Bernoulli Denklemi
Newton'ın Renk Kuramı
Huygens İlkesi
Snell Yasası
Bragg Yasası
Fraunhofer Kırınımı
Doppler Etkisi
Ohm Yasası
Fleming'in Sağ El Kuralı
Maxwell Denklemleri
Planck Yasası
Fotoelektrik Etki
Schrödinger Dalga Denklemi

Heisenberg Belirsizlil
Kopenhag Yorumu
Schrödinger'in Kedis
EPR Paradoksu
Pauli Dışlama İlkesi
Süper İletkenlik
Rutherford Atomu
Antimadde
Nükleer Fisyon
Nükleer Füzyon
Standart Model
Feynman Diyagramla
Tanrı Parçacığı
Sicim Kuramı
Özel Görelilik
Genel Görelilik
Kara Delikler
Olbers Paradoksu
Hubble Yasası
Büyük Patlama
Kozmik Şişme
Karanlık Madde
Kozmolojik Sabit
Fermi Paradoksu
Antropi İlkesi

domingo
ISBN 978-605-4729-67-8
9 786054 729678

