



1897
Atomların bir yapısı olduğu bulundu ve daha sonra elektronlar, üzümli kek içindeki üzüm gibi yorumlandı.



1911
Atomların bir çekirdeği olduğu anlaşıldı ve elektronların çekirdek çevresinde yörüngeler çizdiği söylendi.

21. Yüzyıl Yaşamı için Kuantum Fizigi

"Kuantum teorisiyle ilgilenmeye ne gerek var, bırakalım bununla kuantum mekaniği konusunda ihtisaslaşmış fizikçiler ilgilenin." dersiniz yanılıyorsunuz. Bu bilgiye artık gereksiniminiz olacak, çünkü 21. yüzyılda kuantum mekaniği size ve çocuklarınıza iş demek. Bilimin çağdaş yaşama en önemli katkıları nelerdir; bilimsel gelişmenin yakın gelecekte bizlere sağlayacağı yararlar ya da getireceği zararlar neler olacaktır, sayımız dense, böylece oluşacak bir liste şunları mutlaka içerirdi: Bilgisayar teknolojisi (otomasyon, işsizlik sorunu, eğlence endüstrisi, robotlar), nükleer enerji (Atom bombası, güdümlü füzeler, nükleer santraller, çevre sorunları), gen mühendisliği (ilaç tasarımı, cloning, bitki türlerinin ıslahı), laserler (holografi, "yıldız savaşları", mikrocerrahi, uydu iletişimi). Bu listede yer alan konuların kaynağı şu ya da bu şekilde, pek çoğumuzun şimdiye dek ya hiç duymadığı ya da anlayamadığı kuantum teorisinde bulunmaktadır.



Tekin Dereli
ODTÜ Matematik Bölümü

ISITILAN cisimler ışıır. Fizikçiler kuantum teorisini 1900 yılında bu ışımının bazı niteliklerini açıklayabilmek için keşfettiler. Kuantum teorisinin ilk ve en önemli uygulamasını ise atomların iç yapısının anlaşılması oluşturdu. Yüzyılımızın büyük fizikçilerinden Ernest Rutherford(1871-1937), İngiltere'de Manchester'deki araştırma grubuyla birlikte yaptığı deneyler sonunda, atomların esas olarak, merkezde yer alan artı elektrik yüklü çekirdek ile bunun etrafında dönen eksi yüklü elektronların yer aldığı büyük boşluklardan ibaret olduklarını kanıtladı. O sırada Manchester'de bulunan Danimarkalı genç bilim adamı Niels Bohr(1885-1962), bu bulgulardan son derece etkilenmişti. Bohr'un atom modeli bugün bile okullarda öğretilen atom

modelidir. Bohr'un temel varsayımı; elektronların atom çekirdekleri etrafında ancak belli çembersel yörüngeler üzerinde bulunacaklarını söylemektedir. Kararlı bir yörüngedeki elektron, o yörüngeyi ancak bir enerji kuantumu ışıyarak veya soğurarak terkedebilir ve bir başka kararlı yörüngeye yerleşir. Atoma bağlı bir elektron sürekli enerji ışıyarak (veya soğurarak) bir spiral üzerinde merkeze düşmez (veya atomdan kopmaz), çünkü elektrona aktarılan elektromanyetik enerji, kuantumludur. Yani elektromanyetik enerji elektronlara, foton adını verdiğimiz enerji paketleri $h\nu$ sabit birimleri halinde aktarılmaktadır. h evrensel Planck sabiti, ν ise elektromanyetik dalganın frekansıdır. Elektron, yörüngesini değiştirirken bir enerji durumundan başka bir enerji durumuna ani geçiş yapar. Bu

1913
Elektronların, bir yörüngeden diğerine kuantum geçişleri yaptığı düşünüldü.



1920
Elektron "yörüngeleri", olasılık bulutları olarak tanımlandı.



1932
Çekirdek içinde eşleşmiş olarak bulunan nötronlar keşfedildi.



geçiş sırasında, ışınan veya soğurulan elektromanyetik dalganın frekansını, Bohr tam olarak hesaplayabilmektedir. Bu frekanslar yardımıyla her bir element için farklı olan spektral çizgi dizileri belirlenir ve bunların gözlemsel verilerle uyuştukları görülür.

Bohr'un atom modeli 1913 yılı için büyük bir atılımdı. Ancak çok geçmeden pekçok sorunu beraberinde getirdiği görüldü. Örnek olarak, atomun birden fazla sayıda elektronu varsa, bunlar olası yörüngelere nasıl dağılırlar? Elektronlar enerji düzeylerine rasgele dağılmış olarak verildiklerinde neden kademeli olarak ışınarak, tümü en düşük enerjili yö-

rünge üzerinde toplanmaz? Bu ve benzeri sorulara yanıt getiren ikinci bir atılım, ancak 1925 yılında başarılıydı. Böylece, atom olaylarının tutarlı ve tam bir tarifini vermek mümkün oldu. O sırada Almanya'da Göttingen Üniversitesinde araştırma yapan genç bir bilim adamı Werner Heisenberg(1901-1976), bir atoma bağlı elektronların davranışlarının matrisler cinsinden matematiksel olarak nasıl betimlenebileceğini buldu. Yanında çalıştığı hocası Max Born (1882-1970) ve onun asistanı Pascual Jordan(1902-1980) ile birlikte bu buluşunu tam ve tutarlı bir teori haline getirdiler. Fizikçilerin yıllar süren

arayışlarına yanıt getiren bu teoriye "matris mekaniği" dendi. Ancak daha birkaç ay zaman geçmeden, bir başka tam ve tutarlı kuantum teorisi ortaya atıldı. Bu yeni teorinin, geliştirmekte olan fikirler arasında köşe taşlarından birini oluşturan Fransız fizikçisi Louis de Broglie(1892-1987)'nin fikirleri ile yakın bir uyum içerisinde olduğu görüldü. De Broglie, 1923'de Paris Üniversitesine verdiği doktora tezinde, elektronların birer tanecik olarak değil, dalgalar olarak yorumlanması gerektiğini öne sürmüştü. Dolayısıyla atom çekirdeğine bağlı olarak hareket eden bir elektronun kapalı yörüngesinin çev-



resi, ancak elektron dalgaboyunun tam katlarına eşit oluyor; böylece neden sadece belli elektron yörüngele-

rinin varolduğu sorusu yanıtlanmış oluyordu. O sırada Züriç'te çalışmakta olan Avusturya'lı fizikçi Erwin Schrödinger(1887-1961), bu dalgaların sağladığı dalga denklemini yazarak; hidrojen atomunun enerji düzeylerini hesapladı ve bu bulgusunu 1926

gaları, denizdeki dalgalar, ses dalgaları gibi her gün rastladığımız türden dalgalara benzemektedir. Bu nedenle; diğer fizikçilere alışılmış, bildik geldiği için, Schrödinger'in dalga mekaniği adı verilen yaklaşımı sıcak bir kabul gördü. Schrödinger'in kendisi de, bir

Erwin Schrödinger



Işık ve Isı

Tekin Dereli

Işığı ve ışığın etkilerini görmek kolaydır. Fakat ışık nedir? Uzayda bir noktadan diğer bir noktaya nasıl gider? 17. yüzyılın sonunda Isaac Newton (1642-1727) bu sorulara yanıt aramaktaydı. Newton'un kendisi, ışığın taneçiklerden mi yoksa dalgalardan mı oluştuğu konusunda kesin bir tercihe ulaşamamıştı. Işığın önde gelen üç niteliği; doğrular boyunca yayılması, aynadan yansması ve bir ortamdan diğerine geçerken kırılmasıdır. Işığın bu niteliklerini taneçik görüşüyle de dalga görüşüyle de açıklamak mümkündür. Ancak Newton döneminde bilinen olgulardan pek çoğu taneçik görüşüne destek verecek yöndeydi. Bu nedenle Newton'u izleyen fizikçilerden çoğunluğu ışığın taneçik teorisini savunmakta birleştiler. Öte yanda Hollanda'lı bilim adamı Christian Huygens (1629-1695), taneçik teorisine hiç bir şekilde itna olmamıştı. Aynı zamanda fizikçi, matematikçi, Avrupa'da ilk sarıklı saati yapan bir mucit, Satürn'ün halkalarını ilk kez gören bir astronom olan Huygens, 1690'da yayınladığı kitabında, ışığın taneçik teorisini reddetmesinin nedenlerini açıklamıştı. Ona göre ışık; "eter" adını verdiği görünmez, ağırlıksız, tüm havayı ve boşluğu kaplayan bir ortamda yayılan dalgalar tarafından taşınmaktaydı. "Huygens ilkesi" denen bu varsayımı ışığın kırılması açıklanabileceği gibi, ayrıca karşılıklı gelen dalgalar birbirleri içinden geçebildikleri için karşı karşıya gelen ışınlarının neden taneçikler gibi çarpışmadıkları da açıklanmış olmaktadır. Huygens'in kanıtlarının gücüne rağmen, ışığın dalga teorisini destekleyecek deneylerin yapılması bir yüzyıl sonra gerçekleşti.

1801'de ilk kez İngiliz fizikçisi Thomas Young (1773-1829), dönemindeki ışık anlayışının değişmesine yol açacak bir deney önerdi. Young, aslında insan gözünü ve insan sesini incelemekteydi. Araştırmaları sonunda ışık ile ses arasında benzerlikler bulunduğuna görüşüne ulaşmıştı. O sıralarda sesin havada dalgalar halinde yayıldığı ka-

nitlanmış bulunuyordu. Bu nedenle Young, ışığın da dalgalar halinde yayılması gerektiğini düşündü. Normalde dalgalar da ışık gibi doğrular boyunca yayılırlar. Ancak İtalyan fizikçisi Francesco Grimaldi (1618-1663), ışığın ince bir yarıktan geçince büküldüğünü ve demetin dağıldığını gözlemiş ve bu olaya ışığın kırınımı adını vermişti. Young, Grimaldi'nin deneyini daha da geliştirerek, güneş ışığını birbirine paralel iki yarıktan geçirdi ve arkada bir ekran üzerine düşürdü. Eğer yarıklar geniş ve aralıklı ise ekranda iki ayrıntılı ışıklı nokta belirlemekteydi. Ama yarıklar dar ve birbirlerine yakın ise ekranda ışık üzerine düşen ışık, inceli kalınlı renkli çizgiler oluşturmaktaydı. Bu renkli çizgiler dizisine girişim deseni adı verildi ve Young, girişim olayına ancak dalgaların neden olabileceğini gösterdi. Girişim, sadece ışık dalgalarına has değildir. Su ve ses dalgaları da girişim yaparlar. Durgun bir havuz kenarında durup su yüzüne iki parmağınızı aynı anda değdirin. Su yüzünde her yöne aynı hızla yayılan iki dalga oluşturursunuz. Dalga tepeleri aynı noktada buluşursa yapıcı girişim vererek o noktada daha büyük bir dalga genliği oluşur. Bir dalga tepesi, öteki dalganın çukuruna denk gelirse, dalgalar yıkıcı girişime uğrar, birbirlerini söndürürler. Böylece kuşbakışı bakıldığında su yüzünde güzel bir girişim deseni gözükür. Thomas Young, Auguste Fresnel (1788-1827)'le birlikte girişim deneyleri yaparak ışığın dalgalar halinde yayıldığının tüm kanıtlarını ortaya koydu ve ışığın her bir değişik renginin ayrı bir dalgaboyuna karşı geldiğini gösterdi. Young'ın deneyleri dikkatle düzenlenmiş ve özenle yapılmışlardı; ama sonuçları hemen kabul görmedi. 18. yüzyılda, ışığın taneçiklerinden oluştuğuna inanan ve bu görüşü benimseyen bilim adamlarının düşüncelerini değiştirmek kolay olmadı. Işığın dalgalardan oluştuğu fikrinin benimsenmesi, 19. yüzyılın ikinci yarısına beklendi. Yine aynı yıllarda William Herschel (1738-1822), ışık ile ısı arasındaki ilişkiyi belirlemek üzere bir dizi deney yapmaktaydı. Bu deneylerinden birinde, gün ışığını prizmadan geçirerek renklerine ayırdı ve bu renklerden her birini tek tek termometre üzerine düşürdü. Termometrenin gösterdiği sıcaklık artışlarını kaydetti. Böylece gün ışığını oluşturan bütün renkler arasında mor ışığın en düşük sıcaklık artışına neden olduğunu belirledi. Spektrumun diğer

ucundaki kırmızı ışık daha büyük bir sıcaklık artışına neden oluyordu. Ancak daha da büyük bir sıcaklık artışı, termometre kırmızı ışığın ötesine, gözle görünür bir ışığın olmadığı bir yere konduğunda gözlenmekteydi. Böylece Herschel, gözle görünmeyen ancak termometrede sıcaklık artışı vermesiyle varlığı kanıtlanan bir dalga enerjisi olarak kızıl-ötesi ışığı keşfetmiş oldu. Yine aynı yıllarda bir başka fizikçi Wilhelm Ritter (1776-1810), spektrumun değişik renklerinde ışık enerjisini saptamaktaydı. Bu amaçla gümüş nitrat eriyiğine batırılmış kağıt parçaları kullanıyordu. Işık gümüş nitrat üzerine düşünce başlayan bir kimyasal reaksiyon, kağıt üzerinde minik gümüş zerreçikleri oluşturuyor; böylece oluşan zerreçikler siyah renkli olduklarından gümüş nitrate batırılmış kağıt parçasının ışık görünce karardığı gözleniyordu. Aslında Ritter'den önce İsveçli Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), değişik



renkte ışığın fotoğraf kağıdını değişik hızlarda kararttığını fark etmişti bile. Mavi ışık, kırmızı ışığa göre daha hızlı bir reaksiyon vermektedir. Ritter, Herschel'in deneylerini duyar duymaz 1801'de spektrumun mor ucu ötesinde, gözle görünür bir ışığın olmadığı bölgede, kendi deneyini tekrarladı. Burada reaksiyonun çok daha hızlı ilerlediğini gözledi. Böylece keşfedilen görünmez ışığa mor-ötesi ışık adı verildi.

Bugün, hem görünür ışık dalgalarının hem de kızıl-ötesi ve mor-ötesi gibi gözle görülmeyen ışık dalgalarının çok daha geniş bir elektromanyetik dalga spektrumu içerisinde yer aldıklarını artık biliyoruz. Bu yöndeki ilk bulgular, 1821'de Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted'in (1777-1851), elektrik akımının mıknatıs iğnesini etkilediğini gözlemesiyle bi-



Niels Bohr

durumdan diğer başka durumlara ani kuantum sıçramalarına artık gerek kalmadığını düşünmekteydi. Elektron geçişlerinin bir keman telinin titreşimleri gibi, bir notadan diğerine (yani bir harmonikten diğerine) geçiş olarak yorumluyordu. Yine 1927 yılında İngiliz fizikçisi Paul A. M. Dirac(1902-1984), Heisenberg ve Schrödinger yaklaşımlarını içererek genelleyen soyut bir kuantum teorisine ulaştı. Tüm bu gelişmelere karşı, başta Bohr olmak üzere elektron

rikmeğe başlamıştır. Aynı yıl Fransız fizikçisi André-Marie Ampère (1775-1836), elektrik akımı taşıyan paralel iki telin tıpkı birer mıknatıs gibi (geçen akımların yönüne göre) birbirlerini ittiklerini ya da çektiklerini gösterdi. Bu gözlemleri daha pekçok deney izledi ve elektrik olayları ile manyetizma olaylarının yakından ilişkili oldukları anlaşıldı. Bu ilişkinin matematiksel açıklamasını, 1865'de İskoç fizikçi James Clerk Maxwell (1831-1879) buldu. Böylece elektrik ve manyetizma olaylarının birlikte elektromanyetizma diye adlandırılacak kadar içiçe oldukları kanıtlandı. Maxwell, kendi adıyla anılan elektromanyetik alan denklemlerini incelerken, elektrik alanının iletici geri salınmasını sağlayarak, büyük hızlarda yayılan elektromanyetik dalgaların üretilebileceğini farketti. Hesapları sonucunda, elektromanyetik dalgaların boşluktaki yayılma hızının ışık hızına eşit olacağını buldu. Böylece ışığın kendisinin de bir tür elektromanyetik dalga olduğu sonucuna ulaştı. Elektromanyetik dalgalar bütün dalgaboylarını kapsayan çok geniş bir spektrum oluştururlar. Örnek olarak elektromanyetik spektrumun ortalarında yer alan kırmızı ışığın dalga boyu 650 nanometredir(10^9 nanometre = 1 metre). Elektromanyetik spektrumun üst ucunda, dalgaboyları çok büyük radyo dalgaları bulunur. Uzun dalga radyo istasyonları, yayın için 1000 ila 2000 metre dalgaboyu aralığını kullanırlar. Spektrumun alt ucunda ise dalgaboyları çok küçük X-ışınları (veya diğer adıyla Röntgen ışını) bulunmaktadır.

Şu soruya sıra geldi: Cisimler ısıtılınca neden ve nasıl ışırlar? Bunun yanıtı, tüm katı cisimlerin elektromanyetik dalga yayabildikleri bilinirse verilebilir. Bir kalıp buz gibi çok soğuk bir cisim bile aslında ışımla ışımla; ancak bu ışımanın genliği çok küçüktür, dalgaboyu ise gözle görülmeyecek kadar uzundur. Cisim ısıtıldıkça ışımanın genliği büyür, dalgaboyu kısalır. Yeteri kadar ısıtılan bir cisim parlak gözükür. Parlaklığın nedeni, ısıyan ışığın dalgaboyunun görünür bölgeye gelmiş olmasıdır. Şimdi şöyle basit bir deney düşünelim: Bir demir çubuğu ateşe tutup ısıtırsak, ne olur? Soğuk çubuk, görünür bölgede ışımla; üzerine düşen gün ışığının tümünü yansıttığı için bize siyah görünür. Karanlıkta ise çubuk gözükmez. Çubuk hafifçe ısıtırsa bir süre sonra görünür ışık yaymağa başlar. Işıyan

dalgaboyu yaklaşık 700 nanometredir. Bu nedenle çubuk karanlıkta bile kırmızı gözükür. Çubuğu daha ısıtırsak, daha güçlü ışımağa başlar. Işıyan dalga boyu daha kısa, yaklaşık 630 nanometredir. Çubuğun rengi turuncuya döner. Çubuğu iyice ısıtırsak, ışınan dalgaboylarının arasında genliği en baskın olan, yaklaşık 580 nanometrelilik sarı renktir. Ama diğer dalgaboyları da ışımla ışımla. Çubuğu daha da ısıtırsak, akkor haline geldiğini görecektik. Yani spektrumun tüm dalgaboylarında ışıma bulunacak ve bunların toplamı göze beyaz gözükülecekti. Bu denli basit bir deney sonucunun, 19. yüzyılda bilinen doğa yasalarıyla açıklanamaması gerçekten ciddi bir krize neden oldu. Alman fizikçisi Max Planck (1858-1947), siyah cisim ışımasını açıklayabilmek için, 1900 yılında ışık enerjisinin dalga paketleri halinde, hv birimleri cinsinden aktarıldığı varsayımını öne sürmek zorunda kaldı. Bu tarih, kuantum fiziğinin başlangıcı kabul edilir.

Şimdi tekrar William Herschell'e dönelim. Aslında bir astronom olan Herschell, ışık ve ısı arasındaki ilişkiyi pratik bir problemin çözümü için araştırmaktaydı. Güneş lekelerini teleskopu ile gözlerken, renkli filtrelerle bile güneş ısıtısını tam engelleyemediğini fark etmişti. Hangi rengin ısıyı kesmekte en etkin olduğunu bulursa, o renkte filtre kullanarak güneş lekelerini daha rahat gözlemeyi amaçlıyordu. Sonuçta yeşil renkli filtreler üretmek kullanmağa başladı. Herschell gibi güneş lekelerini incelemekte olan bir diğer bilim adamı William Hyde Wollaston (1766-1828), 1802'de beklenmeyen bir keşifte bulundu. Güneş ışığı, elektromanyetik spektrumun tümünü doldurmuyordu. Bulunmayan dalgaboyları, yüzlerce incele kalınlı çizgiler oluşturmaktaydı. Alman fizikçisi Joseph von Fraunhofer (1787-1826), bu spektral çizgilerin 500 kadarını tek tek belirledi ve ana çizgilere harfler verdi. 1850'lerin sonunda yine bir Alman bilim adamı Gustav Kirchoff (1824-1887), tüm atomların ışığı belli dalgaboylarında soğurduklarını ve yine aynı dalgaboylarında ışıdıklarını gösterdi. Böylece, güneş ışığı spektrumundaki boşlukların, güneş atmosferindeki atomların belirli dalgaboylarında ışığı soğurmasıyla oluştuğunu anladı. Bu keşif, 20. yüzyılın başında atomlarla ışığın etkileşmesini açıklayan kuantum teorisinin bulunmasına zemin hazırladı.

19. yüzyıl boyunca fizikçiler ışığı ve diğer elektromanyetik dalga türlerini, sürekli birer enerji akışı gibi yorumladılar. Ancak 1900 yılından sonra bu yorumunun tutarsızlıklara neden olduğu fark edildi. Max Planck'ın kuantumlu ışıma teorisi, ışığın tanecek nitelikleri taşıdığına ilk kanıtıydı. Niçin ışık enerjisi kuantumludur? Bunun açıklaması atomların yapısında bulunur. Maddelerin temel yapıtaşı olan atomlar, çok küçük ve yoğun bir çekirdek ile bunun etrafında dolanan elektronlardan yapılmıştır. Elektronların çekirdek etrafında çizdikleri kapalı yörüngelerin yarıçapları farklıdır. Elektronun toplam enerjisi ne kadar büyüksün çekirdekte o oranda uzakta bulunur. Dolayısıyla, bir elektron dıştaki bir yörüngeden içteki çekirdeğe daha yakın bir yörüngeye geçerse enerji kaybeder. İşte bu enerji, bir ışık kuantumu veya diğer adıyla bir foton olarak serbest kalır.

Doğada bulunan atomların çoğunluğu, birden fazla sayıda elektrona ve pek çok farklı enerji düzeylerine sahiptirler. Bir atomun hangi dalgaboylarında ışık ışıyacağı, elektronların mümkün enerji düzeylerinden birinden diğerine geçerken ortaya çıkan enerji değerlerine bağlı olarak belirlenir. Bu dalgaboylarının tümüne atomun ışıma spektrumu adı verilir. Işıma spektrumuna bakarak, bu spektrumu veren atomun kimliği tam olarak belirlenebilir.

Planck'ın kuantum varsayımına ikinci ve en güçlü destek, 19. yüzyıldan beri bilinen fotoelektrik etkisinin açıklanması oldu; bir metal üzerine ışık tutulursa, ışık yüzey atomlarından elektron koparak bir elektrik akımı oluşmasına neden olur. Bu etkiyi, Philipp von Lenard (1862-1947) ayrıntılarıyla incelemiş ve yüzeye düşen ışığın frekansı ile yüzeyden kopan elektronların enerjisi arasında basit fakat nedeni anlaşılamayan lineer bir bağıntı bulmuştu. Düşük genlikli, zayıf bir ışık daha az sayıda elektron koparabilir. Dolayısıyla çıkan akım daha küçük olur. Ancak kopan bir elektronun enerjisi sadece ışığın dalgaboyuna bağlıdır; genlikle değişmez, aynı kalır. Albert Einstein (1879-1955) fotoelektrik etkinin açıklanmasının, ışığın kuantum teorisinde bulunduğunu gösterdi ve 1921 yılında Nobel ödülünü bu keşfi nedeniyle kazandı.

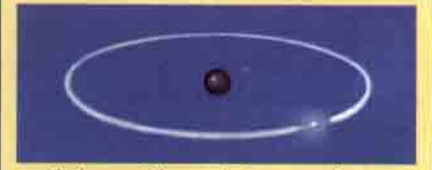


Işığın parçacık niteliğine bir örnek: Fotoelektrik etki

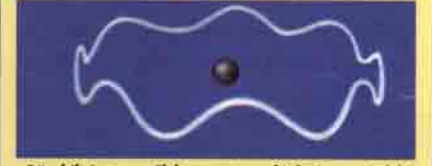
dalgası kavramından rahatsızlık duyan fizikçiler çoktu. Bir dalga veya bir dalga paketi nasıl olup da Geiger sayacında tıpkı bir tanecek gibi sayım verebilmekteydi? Atomun içinde gerçekten "salınan" ne olabilirdi? 1927'de Bohr bu sorulara Schrödinger'in hiç de hoşuna gitmeyen bazı yanıtlar getirdi. Bohr, öncelikle

elektron dalgası denen şeyin soyut bir nicelik olarak ele alınması gerektiğini gösterdi. Elektron dalgaları bir havuzdaki dalgalar gibi, uzayda gerçek salınımlar olamazlardı. Ancak matematiksel soyut bir uzayda, kompleks salınımlarla temsil edilebilirlerdi. Daha da önemlisi, her bir taneceğin (örneğin bir elektronun) tanımı için bu soyut uzayda üç değişkenin verilmesi gerekiyordu. Böylece bir elektron üç boyutlu bir uzayda dalga ile tarif edilirken; etkileşen iki elektron altı boyutlu bir uzayda, üç elektron ise dokuz boyutlu bir uzayda verilebilmekteydi. Dolayısıyla Schrödinger'in yaklaşımında da elektronun bir durumdan diğer başka bir

duruma geçişi matris mekaniğindekinden daha anlaşılır hale gelmekteydi.



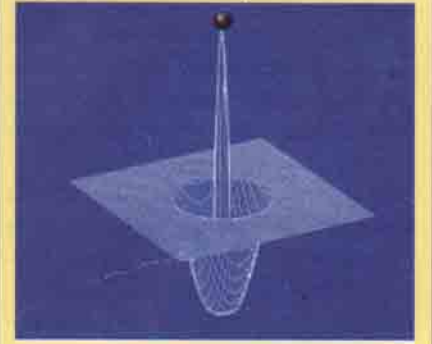
Klasik tanım: Elektron, tıpkı bir gezegen gibi, atom çekirdeği çevresinde döner.



Düzeltilmiş tanım: Elektron, atom çekirdeği çevresindeki kapalı yörüngede dalga hareketi yapar.



Kuantum fiziği: Elektronlar çekirdek çevresinde bir elektron bulutu oluşturur.



Matematik: Artı yüklü çekirdek ile eksi yüklü elektronun yoğun bir yük oluşturmasına ilişkin diyagram.

Atomun Yapısı

Tekin Dereli

19. yüzyılda, maddenin en küçük yapıtaşı olarak tanımlanan atomların birer iç yapısı bulunduğu ilk deneysel kanıt, J.J. Thomson'un (1856-1940) 1897'de katod ışınlarında elektronları keşfetmesi olmuştur. Katod tüplerini ilk yapan William Crookes (1832-1919), havasını boşalttığı bir cam tüp içerisine iki metal elektrod yerleştirerek bunlar arasında elektrik potansiyeli uygulamıştı. Katod adı verilen eksi yüklü elektrod, ısıtıldığında gözle görülmez bir ışın yaymaktaydı. Katod ışınını gözlemek için Crookes, iki elektrod arasında metal bir cisim koyuyor ve cismin gölgesini tübün diğer ucuna sürdüğü floresans maddenin ışıltısı üzerine düşürüyordu. Döneminin en yetenekli deneysel fizikçilerinden olan Thomson, Crookes tüpleri (veya bugün bildiğimiz anlamıyla TV tüpleri) içinde son derece düşük basınçlara ulaşabili. Böylece katod ışınlarını elektromanyetik alanlardan geçirerek elektrik yükünü belirledi ve kütle ölçümleri yaptı. Katod ışınlarının eksi elektrik yüklü, kütlesi hidrojen atomu kütlesinin yaklaşık 2000'de biri olan taneceklerden oluştuğunu kanıtladı. Tüpü hangi gazla doldurursa doldursun, elektrodları hangi metalden yaparsa yapsın, hep elektron adı verilen bu tanecekler çıkmaktaydılar. Thomson, bu gözlemden hareketle, elektronların bütün atomlarda bulunduğu ve o güne kadar bölünemez sanılan atomun yapıtaşlarından birisi olduğu sonucuna ulaştı. Atomlar net elektrik yükü taşımadıklarına göre, elektronların eksi yükünü dengeleyen net bir artı yük içermeliydiler. Thomson, atomu, artı yükün düzgün dağıldığı minik bir top gibi tasarladı. Elektronlar, top içine gömülmüş minik zerreceklerdi. Bu model Thomson'un mensubu bulunduğu Cambridge Üniversitesi'nde, akşam 5 çaylarında epey tartışılmış olmalı ki, bugün bile "üzümlü kek" modeli diye anılmaktadır. Thomson'un atom modeline en büyük eleştiriyi, Yeni Zelandalı fizikçi Ernest Rutherford

(1871-1937) getirdi. Manchester Üniversitesi'nde öğrencileriyle beraber 1911'de gerçekleştirdiği deneylerle, Thomson'un modelinin doğru olamayacağını kanıtladı. Rutherford, artı elektrik yüklü, ağır α -parçacıkları ile, birkaç atom kalınlığına kadar inceltmiş altın levhaları bombardıman etti. Thomson modelinden beklenen, α -parçacıklarının hemen tamamının levhadan geri saçılmasıydı. Oysa beklenmeyen bir sonuç alındı; α -parçacıklarının hemen tamamı sanki levha yokmuş gibi yollarına devam ediyor, pek az bir kısmı geri saçılıyorlardı. Rutherford, bu gözlem sonucuna dayanarak atomların tıpkı küçük birer güneş sistemi gibi düşünülmeleri gerektiğini öne sürdü. Atomlar merkezde artı yüklü, ağır fakat son derece küçük birer çekirdekle bunun etrafında gezegenler gibi dolanan elektronlardan oluşmalıydı. Ancak burada son derece ciddi bir sorun ortaya çıktı. 19. yüzyılın fizik yasaları, Rutherford modelinde elektronların birer spiral yörünge boyunca hareket ederek sonlu bir zaman aralığında çekirdek içine düşmelerini gerektirirdi. Oysa ortada atomların böyle bir olay sonucu yok olduklarına dair en ufak bir kanıt bulunmuyordu.

Rutherford saçılma deneylerini yaparken onun yanında Manchester'de bulunan Danimarkalı teorik fizikçi Niels Bohr (1885-1962), Planck'ın ışık kuantumu fikrinden esinlenerek ilginç bir atom modeli geliştirdi. Bohr, atomlara bağlı elektronların ancak belli enerji değerlerine sahip olurlarsa kararlı kalacaklarını varsaydı. En düşük enerji değerine sahip elektronlar, çekirdeğe en yakın bir kapalı yörünge üzerinde bulunacaklar; daha büyük enerji değerlerine sahip elektronlar ise çekirdekten daha uzak yörüngelere yerleşeceklerdir. Bohr, 1913 yılında öne sürdüğü bu model ile ışık ve madde arasındaki yakın ilişkiyi de açıklayabildi. Bohr'a göre atomun elektronları bir enerji düzeyinden, boş olan başka bir enerji düzeyine geçebilmek için ya bir foton ışırtıya da uygun enerjiye sahip bir foton soğururlar. Soğurulan veya ışırtılan fotonun enerjisi, iki enerji düzeyi

arasındaki farka eşittir. Bu varsayım yardımıyla hidrojen atomu ve helyum atomu ışıma spektrumlarının tam olarak elde edilebilmesi Bohr'un en çarpıcı başarısıdır. Bir süre sonra, çok elektronlu atomların ışıma spektrumlarının daha ayrıntılı incelenmesi sonucu, aynı enerji düzeyinde en fazla iki elektronun bulunabildiği anlaşıldı. Böylece çok elektronlu bir atom; elektronları en içteki yörüngeden başlamak üzere enerji düzeylerini ikiye ikiye doldurarak, kabuk dediğimiz katmanlı bir yapı görünümünde olacaktır. Atomun kimyasal özelliklerini belirleyen en dış kabuktaki elektronlardır. Dış kabukları tamamen dolu atomlar (helyum ve neon gibi asal gazlar), dış kabuğunda sadece tek elektron bulunan atomlara (hidrojen, lityum ve sodyum gibi alkali metaller) göre daha az kimyasal reaksiyona girerler. Bir atomun başka atomlarla bağ yaparak molekülleri oluşturmasından da, en dış yörünge elektronları sorumludur.

19. yüzyılın son yıllarında, sadece atomun iç yapısı açıklığa kavuşmadı. Ayrıca atomların ışın olarak değiştikleri de gözlemlendi. İlk kez 1896'da Fran-

Kuantum mekaniğinin pratiği, 1920'lerin sonunda Niels Bohr ve Max Born'un geliştirdikleri fikirlerin çevresinde oluştu. Böylece kuantum mekaniği her fizikçinin anlayabileceği bir anlatıma kavuştu. Bu teori yardımıyla, atomların ve moleküllerin iç yapısı sanki biliniyormuş gibi rahat hesap yapılmasını sağlayan bir kuralar bütünü ortaya çıktı. Bu kapsamda

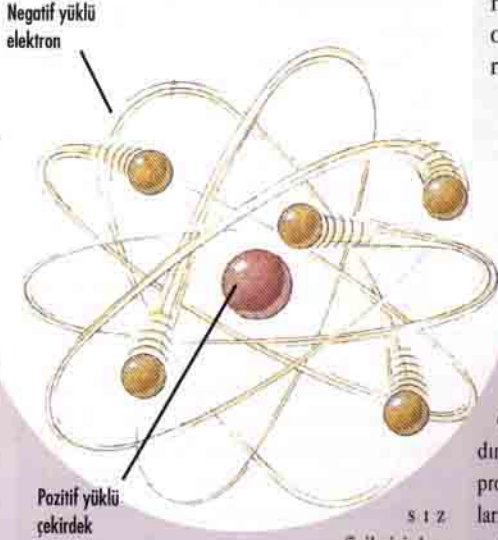
Bohr'un katkısı, kuantum dünyasında dalgalarla taneciklerin uyumunu sağlayan bir felsefi yorumun temeli atmak oldu. Born ise bizleri, kuantum teorisinin doğru yorumuna götürülen istatistiksel kuralları belirledi.

Bohr'a göre hem parçacık fiziği hem dalga fiziği, eşit oranlarda geçerli ve aynı gerçeğin birbirlerini tümleneyen iki tarifidirler. Bu tariflerin herbiri tek olarak ele alındığında yeterli olamazlar. Fakat doğada parçacık kavramı ile tarifi daha uygun düşen olaylar varolduğu gibi, tarifi dalga kavramına uygun düşen diğer pek çok olay daha vardır. Elektron gibi temel bir nicelik, tam olarak ne bir



James Chadwick'in nötron dedektörü

parçacık ne de bir dalgadır. Bazen bir dalga gibi davranır, başka zamanlar ise bir parçacık gibi tepki verir. Bir elektronla yapılacak deneyden alınan yanıt, sorulan soruya bağlıdır. Eğer parçacık arıyorsanız, parçacık bulur-



512 fizikçisi Antoine

Becquerel (1852-1908) tarafından bir rastlantıyla gözlenen bu olaya radyoaktivite adı verildi. Becquerel, uranyum kristallerinin gözle görünmez, çok girici ışınlar yayarak fotoğraf kağıdını kararttığını gözlemişti. Bu yeni keşif üzerinde çalışan Pierre Curie (1859-1906) ve Marie Curie (1867-1934) çifti, uranyum cevherinin, saf uranyumdan daha radyoaktif olduğunu fark ettiler. 1902'de, radyum ve polonyum adını verdikleri iki yeni radyoaktif elementi izole etmeyi başardılar. Radyoaktivitenin fiziksel nedenini araştıranlar arasında Ernest Rutherford da vardı. Önce, radyoaktivite ile salınan ışınların α , β , γ adı verilen üç değişik türü saptandı. Rutherford, α -ışınlarının helyum çekirdeğinden ibaret olduğunu kanıtladı. β -ışınları ise hızlı elektronlardan başka bir şey değildiler. Bir atom α -veya β -ışını vererek bozulur, yani atom değişerek başka bir atoma dönüşür. Bu sırada, çok kısa dalgaboylu bir elektromanyetik dalga olan γ -ışını da çıkabilir. 20. yüzyılın başında, simyacıların düşü artık gerçek olmuştur.

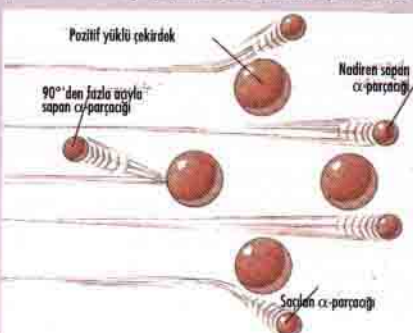
Radyoaktivite üzerinde araştırma yapan Rutherford, 1919'da artı yüklü atom çekirdeklerinin proton adını verdiği parçacıklardan oluştuğunu öne sürdü. Protonları gözlemek için, α -parçacıklarıyla bombardıman ederek azot atomlarını parçalıyordu. Rutherford, önceleri, bir proton ile bir elektronun birbirlerini nötrleştirerek yüksüz bir çift halinde çekirdek içinde bulunabileceğini düşünüyordu. Fakat 1932'de Rutherford'un eski öğrencilerin-

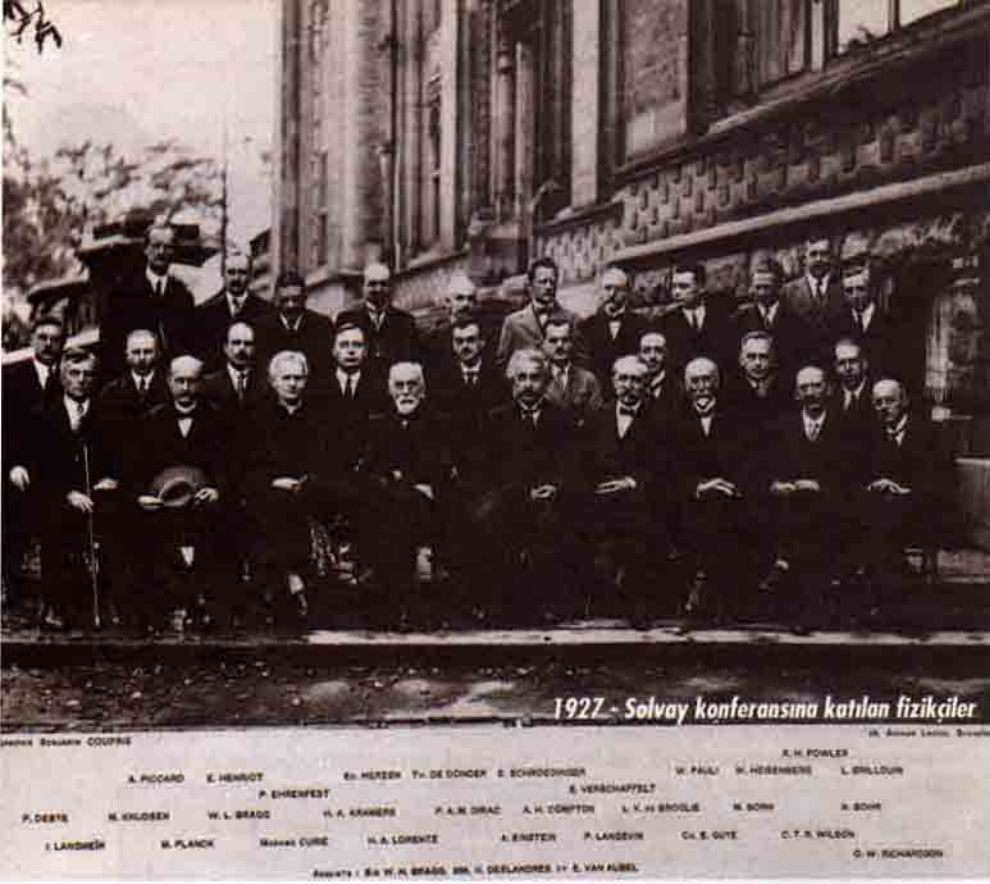
den James Chadwick (1891-1974), α -parçacıklarıyla berilyum atomlarını bombardıman ederek, elektrik yükü taşımayan, kütlesi protonunkinden biraz daha büyük, nötron adını verdiği bir parçacık keşfetti. Atom çekirdekleri, proton ve nötronlardan oluşmaktadır. Atomun kütlesini belirleyen, çekirdeğindeki proton ve nötronların sayıdır. Atomun elektronlarının sayısı protonlarının sayısına eşittir. Dolayısıyla atomun kimyasal niteliklerini belirleyen, çekirdeğindeki protonların sayısı olacaktır. Aynı sayıda protona fakat farklı sayıda nötrona sahip iki atom, benzer nitelikler taşıyacaktır. Bunlara birbirinin izotopu denir. Örnek olarak, en basit atom olan hidrojenin çekirdeği tek bir protondan ibarettir. Ancak doğada, çekirdeği bir proton ve bir nötrondan ibaret olan döteryum ve çekirdeği, bir proton ve iki nötrondan oluşan trityum izotopları da eser miktarlarda vardır.

Chadwick'in gözlemleri, nötronların çekirdek içinde bulunan yeni bir tür parçacık olduğunu, bir elektron proton çifti gibi yorumlanamayacağını kesin kanıtlamıştır. Ama bir nötronun yok olarak bir proton ile bir elektrona bozunması için belirlenen yarı yaşam süresi sadece 15 dakikadır. Yani çok sayıda özdeş nötron biraraya konabilir, 15 dakika sonra bunlardan yaklaşık yansının yokolduğu görülmüştü. Bunun neden olduğu nükleer dönüşüme β -bozunumu adı verilmektedir. Bir elektron ile bir protonun hızla çarpışarak yok olmaları yerine, bir

nötron yaratılması da mümkündür. Bu olayın neden olduğu nükleer dönüşümü de ters β -bozunumu denir. 1932'de bir an için atomlar, proton, nötron ve elektron denilen üç temel parçacıktan yapılırlar gibi hoş ve basit bir görüş oluşmuştu. Ancak bu iyimser tablo aynı yıl silindi gitti.

Önce, β -bozunumunda enerji, momentum ve açısal momentum korunum yasalarının sağlanmadığı farkedildi. En temel fizik yasaları olan bu korunum yasalarından vazgeçilemedi. 1932'de Avusturyalı fizikçi Wolfgang Pauli (1900-1958), doğada nötrino adı verilen, elektrik yüksüz, kütsüz (yani ışık hızında hareket eden) bir parçacık bulunması ve β -bozunumunda yer alması gerektiğini öne sürdü. Diğer temel parçacıklarla etkileşmesi çok zayıf olan nötrinoların kozmik ışınlarda gözlenmesi 1950'leri buldu. Yine 1932'de, artı yüklü pozitron keşfedildi. Dirac'ın relativistik dalga denklemiyle bütünleştirildiğinde bu keşif, anti-proton, anti-nötron, anti-nötrino v.b. parçacıkların da varlığını gerektirmekteydi. Bu parçacıkların hepsi, 2. Dünya Savaşından sonra inşa edilen hızlandırıcı ve çarpıştırıcılarda gözlemlendi. Bundan da öteye, daha 1940'larda kozmik ışınlarda ağırca bir elektron denebileceği yeni bir parçacık türü olan muonlar ile tamamen yeni nitelikler taşıyan pionlar keşfedildi. Pozitronun benzeri olan anti-muon ile muon nötrinusu ve muon anti-nötrinusu da, daha sonraki tarihlerde gözlemlendi. Pionların artı yüklü, eksi yüklü ve yüksüz olmak üzere üç türünün varlığı kanıtlandı. Günümüzde buna benzer yüzlerce temel parçacık türü bilinmektedir. Bunları ağır anlamına hadron denen ve hafif anlamına lepton denen iki ana grupta incelemekteyiz. Proton ve nötron; hadron sınıfında, elektron ve nötrino; lepton sınıfında bulunmaktadır. Leptonların basit parçacıklar olmasına karşı, hadronların kuark adı verilen daha basit parçacıklardan yapılmış oldukları artık biliniyor. Bu temel parçacıkların özelliklerini, kuantum mekaniği olmadan anlamak olası değildir.





1927 - Solvay konferansına katılan fizikçiler

A. PICARD E. HENRIOT K. HEISENBERG P. A. M. DIRAC A. H. COMPTON L. V. H. BRIDGE N. BORN A. BOHR
 P. DEBYE H. KRUSCH W. L. BRADY H. A. KRAMERS P. A. M. DIRAC A. H. COMPTON L. V. H. BRIDGE N. BORN A. BOHR
 I. LANGMUIR M. PLANCK N. BOHR H. A. LORENZ A. EINSTEIN P. LAURIEUX C. E. GUITE C. T. R. WILSON
 A. H. COMPTON
 O. W. RICHARDSON

sunuz; dalga arıyorsanız, dalga bulursunuz. Fakat hiç bir şart altında, bir elektronun aynı anda hem bir dalga hem de bir parçacık gibi davrandığını gözleyemezsiniz. Bohr'un, dalga ve parçacık niteliklerini, birbirini tamamlayan kavramlar olarak öne süren bu görüşleri, dalga-parçacık ikiliğinin çağdaş anlamda ifadesidir. Gözlenen, gözlemci, gözlem süreci kavramlarını daha önce hiç bir fizik teorisinde görülmemiş ölçüde ön plana çıkarmaktadır.

Born ise bize elektron dalgalarının nasıl yorumlanması gerektiğini göstermiştir. Schrödinger denklemini sağlayan değişkene dalga fonksiyonu adı verilir ve genelde, Yunan alfabesinden Ψ (psi) harfi ile gösterilir. Born'a göre parçacıklar gerçektir, fakat bir şekilde hareketleri kompleks

Ölümünün 10. Yılında Paul A.M. Dirac

Kuantum mekaniğinin kurucularından İngiliz teorik fizikçisi Paul Adrien Maurice Dirac, 1902'de Bristol'da doğdu. 20 Ekim 1984'de Amerika'da, emekliliğini geçirdiği Florida'da yaşama veda etti. Matematığa olan yeteneğini çok erken yaşta belli eden Dirac, önce Bristol Üniversitesi'nde elektrik mühendisliği eğitimi gördü. Bu dönemde öğrendiği yaklaşık yöntemlerinden ileriki çalışmalarında önemli ölçüde yararlanmıştı. Dirac, problem çözerken sezgisel yaklaşıma öncelik veren fizikçilerdendi. Ona göre, fazlasıyla karmaşık olan gerçek doğaya ilişkin olgular, kısa ve kesin matematik kurallarıyla tam açıklanmış olamazlardı; bir fizikçi, fikirlerini ancak gerçekliğin yaklaşık bilgileriyle geliştirebilirdi.

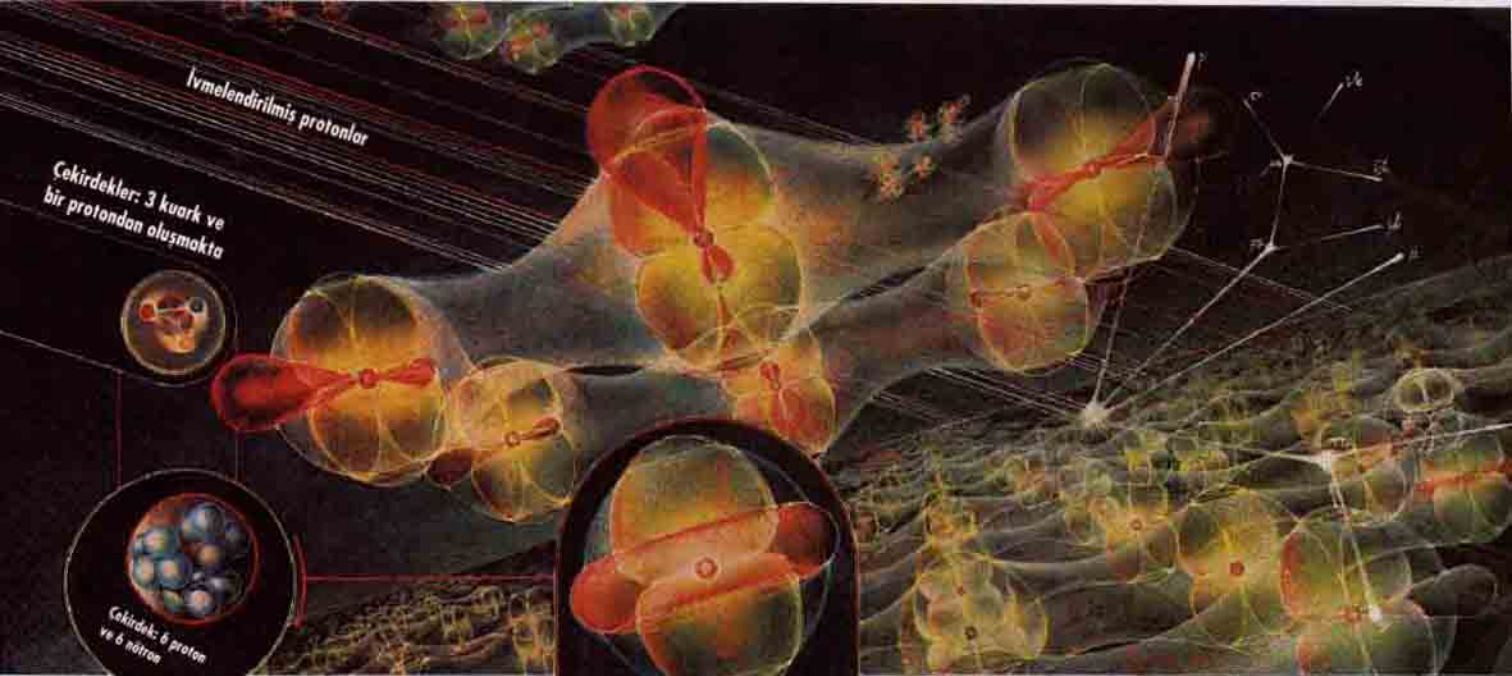
1921'de üniversiteyi bitiren Dirac, teorik fizik çalışmalarına başlamadan önce iki yıl daha matematik okudu. Daha sonra teorik fizik çalışmak üzere Cambridge'de St. John's College'a girdi. Dirac'ın fiziğe ilk temel katkısı, 1926'da yazdığı bir makalede, kuantum mekaniğinin soyut bir matematik formülasyonunu vermesiyle olmuştur. Almanya'da Max Born, Pascual Jordan ve Werner Heisenberg, Dirac'tan hemen biraz önce matris mekaniğini geliştirmiş bulunuyorlardı. Bunlardan bağımsız olarak, İsviçre'de Erwin Schrödinger, kuantum kurallarının dalga mekaniğini keşfetmişti. Dirac'ın kuantum mekaniği, bu iki yaklaşıma da içeren, çok daha kapsayıcı ve mantıksal açıdan daha basitti. Kuantum mekaniğinin keşfi nedeniyle 1932 No-



bel Fizik Ödülü Heisenberg'e verilirken 1933 ödülünü Dirac ve Schrödinger paylaştılar. Dirac; ödülünden bir yıl önce, mezun olduğu ve ders verdiği Cambridge Üniversitesi'nde, geçmişte Isaac Newton'un bugün Steven Hawking'in işgal ettikleri Lucas Kürsüsü Matematik Profesörlüğüne atanmış bulunuyordu.

Dirac'ın kuantum fiziğine ikinci temel katkısı, 1928'de özel relativite teorisini kuantum mekaniğine uyuşturması olmuştur. Dirac, ışık hızına yakın hızlarda hareket eden bir elektronun ancak birbirine bağlı dört diferansiyel denklemi sağlayan dört dalga fonksiyonuyla tanımlanabileceğini gösterdi. Dirac'ın tek bir matris denkleminde eşdeğer relativistik dalga denklemleri, kuantum teorisinde bir çığır açmıştır. Dirac denkleminin doğal öngörülerinden birisi, elektronların spin açısız momentumu taşıdıklarını göstermesidir. Elektronun spin taşıdığı daha önceden deneylerle kanıtlanmıştı, ancak spinin

gözlenen nitelikleri kuantum mekaniğinde doğal bir açıklamaya kavuşturulamamıştı. Ancak Dirac denkleminin esas hayranlık uyandıran yönü doğada anti-parçacıkların varlığını öngörmesidir. Dirac denkleminin, bağlı elektronların eksi enerji düzeylerinin kaçınılmaz varlığını gerektirir. İlk bakışta bunun fiziksel gerçekliğe uymayacağı açıktır. Dirac, daha sonraki makalelerinin birinde tümü dolu eksi enerji düzeylerinden bir elektronun çıkarılması halinde, geriye kalan değişim ortamında kısa ömürlü artı elektrik yüklü bir parçacık gibi davranacağını buldu. Dirac'ın bu öngörüsü, 1932'de Carl Anderson'un çektiği sis odası resimlerinde; kütlesi elektronunkine eşit, elektrik yükü ters işaretli pozitron adı verilen elementer parçacığın kozmik ışınlarda varlığının kanıtlanmasıyla doğrulandı. Çok daha sonra 1955'de anti-proton da bulundu. Böylece anti-parçacıkların varlığını öngören Dirac denkleminin tam bir başarıya ulaştı. Dirac'ın yaratıcı zekası bunlarla yetinmedi. Çekirdek-altı parçacıkların yaratılmasını ve yokolmasını açıklayan kuantumlu elektrodinamik alan teorisinin inşasında ilk adımları attı. Bir diğer çalışmasında Maxwell teorisini manyetik monopolları kapsayacak biçimde genelleştirdi. Öte yandan, özdeş elektron sistemlerinin sağladığı Fermi-Dirac istatistiğini kurdu. Bütün bu çığır açan keşiflerin sahibi Dirac, daha 1932'de teorik fiziğe ilişkin görüşlerini açıklarken "doğanın temel yasaları, olguların altında yatan ama insan zihninin hiç bir zaman tam olarak algılayamayacağı bir tözü denetler" demektedir. Dirac, bu görüşüne sadık kalarak hiç bir çalışmasında, matematik simgelerle tanımladığı olguların görüntüsel modelini ya da felsefi yorumunu vermediği yavaşlamıştır.



İvmelendirilmiş protonlar

Çekirdekler: 3 kuark ve bir protondan oluşmakta



dalga fonksiyonu tarafından kontrol edilmektedir. Uzayda bir noktada, belli bir anda hesaplanan dalganın genliği (yani $|\Psi|^2$), parçacığın o noktada, o anda bulunması olasılığını verir. Bir elektron (veya bir başka parçacığın) ne zaman, nerede olacağını kesinlikle bilemeyiz. Ancak; dalga fonksiyonu biliniyorsa, bir noktada elektronu gözlemek için deney yaptığımızda elektronu gözleme olasılığını hesaplayabiliriz. Bu görüşe göre; rasgele bir elektron, pekala uzayın herhangi bir noktasında bulunabilir.

Ancak uzayın belli bir bölgesinde bulunması olasılığı, örnek olarak hidrojen atomuna bağlı bir elektronun Bohr yörüngesi çevresinde bulunması olasılığı, diğer başka uzay bölgelerinde bulunması olasılığından çok daha büyüktür. Durum aynen şuna benziyor: İçinde bulunduğumuz odadaki hava moleküllerinin tümünün bir an için odanın bir köşesine toplanması olasılığı, istatistik mekanik kurallarına göre sıfırdan farklıdır, fakat bu olasılık pratikte

Kızılötesi ışık



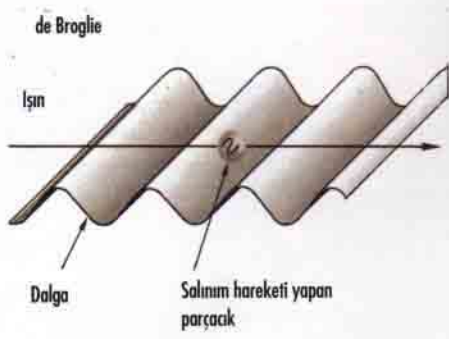
Morötesi ışık

Ancak, bir parçacığın "konumu" ölçülebilir. Dalgaların uzayda tek bir konumu yoktur; ama "momentum" taşır. Bu niteliklerin her birisi tek başına istenilen kesinlikte ölçülerek tam belirlenebilir. Fakat bir nitelik ne kadar kesin belirleniyorsa diğer nitelik o oranda belirsiz kalacaktır. Eğer parçacık niteliklerini ölçüyorsak, bir elektronu parçacık gibi davranmağa iteriz; dalga niteliklerinden uzaklaştırırız. Tersine, eğer dalga niteliklerini ölçüyorsak, elektronu bir parçacık değil de bir dalga gibi davranmağa zorlarız. Böylece gözlemci, dene-

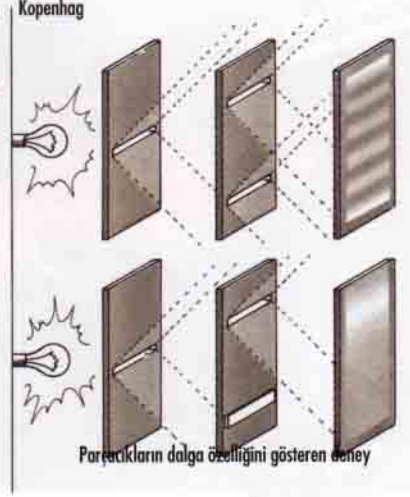
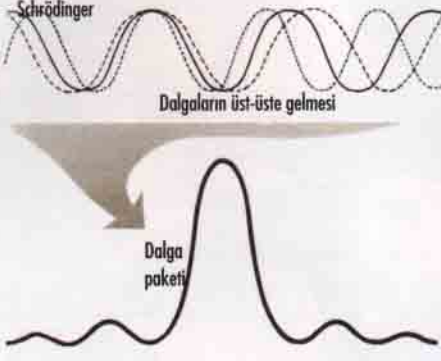
yin ayrılmaz bir parçası olmaktadır. Belirsizlik ilkesi, asla ölçüm aletlerinin ve ölçme süreçlerinin yetersizliğinden doğan teknik bir soruna bağlanamaz. Doğanın temel bir özelliği olarak karşımızda durmaktadır.

Belirsizlik ilkesi, parçacık-dalga ikiliği, elastik tanımı ve gözlemeinin ölçülen sistemin bir parçası haline gelmesi ile ifadesini bulan bu fikirlerin toplamı, -bir kısmı Max Born'un çevresinde, Göttingen'de oluşmuş bulunmakla beraber- Niels Bohr'u onurlandırmak amacıyla kuantum mekaniğinin "Kopenhag Yorumu" adıyla anılagelmiştir. Bir kez Kopenhag yorumu kabaca ortaya konduktan sonra, fizikçilerin eski kuantum teorisi kapsamında oluşan atom modelinin eksikliklerini aşmaları ve 1930'larda atom ve molekül fiziği için daha gerçekçi modeller geliştirmeleri uzun sürmedi.

Atomların yapısının anlaşılmasında kuantum mekaniği kesin bir zafer kazanınca, fizikçiler doğal olarak gayretlerini atom çekirdekleri üzerine yoğunlaştırdılar. Pekçok pratik başarıdan sonra, bugün bile çekirdek fiziğini, temelde atom fiziği kadar iyi anladığımızı iddia edemeyiz. Tipik bir atom çekirdeğinin yarıçapı, atomun yarıçapından yaklaşık 100.000 kez küçük olduğuna göre, bu pek de şaşırtıcı gelmemelidir. Atomun hacmi, yarıçapının küpüne orantılıdır, dolayısıyla çekirdek, atomdan 10^{15} kez daha küçüktür diyebiliriz. Çekirdeğin yapısı üzerine bildiğimiz, az çok fizikçilerin 1920'lerde Bohr atomu üzerine bildikleriyle karşılaştıracak düzeydedir. Bu kadar bilgi bile, fizyon ve füzyon bombalarının yapımı veya nükleer

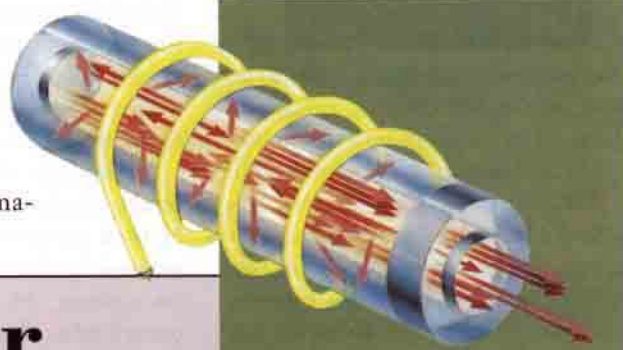


Dalga - parçacık ikiliği



enerji santrallerini çalıştırılması için yeterli olmuştur. Atom modelinin gücüne daha çarpıcı bir örnek de, lazerlerin keşfi olmuştur. Lazer fiziği (en azından genel terimler çerçevesinde), Bohr modeli yardımıyla, yani belirsizlik ilkesi ya da parçacık-dalga ikiliğine gerek kalmadan da anlaşılabilir.

Bohr modeline göre, çekirdek etrafındaki bir yörünge elektronu, bir foton soğurunca başka bir yörüngeye

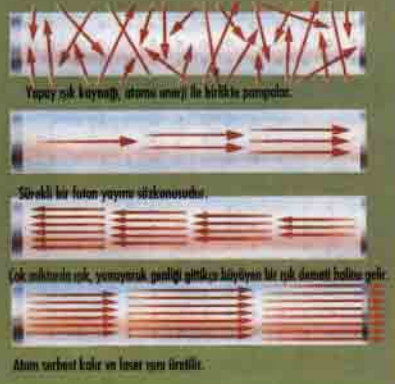


geçer. Böylece uyarılmış bir atom kendi haline bırakıldığında, elektron eninde sonunda geldiği düşük enerji düzeyine geri dönecektir. Geçiş sırasında atom, belli bir dalga boyunda foton ışıyacaktır. İlk kez 1917'de Albert Einstein(1879-1955) tarafından incelenen bu sürece, atomun kendiliğinden ışıması adı verilir. Einstein,

Lazer

Tekin Dereli

Görünür ışık; farklı dalgaboylarının, yani farklı renklerin karışımıdır. Ayrıca, atomların genellikle rastgele ışımaları nedeniyle atomik ışımlarla çıkan ışık dalgaları da aynı fazda olmazlar. Dolayısıyla olağan bir ışık, hem değişik dalgaboylarını hem de değişik fazda dalgaları içermektedir. Ancak, lazer ışığı bundan farklıdır; lazer ışığının tek bir dalgaboyu vardır ve aynı dalgaboyundaki dalgalar eşyumludur yani hepsi aynı fazdadır (Adı adım yürüyen asker ile uygun adım yürüyen asker arasındaki fark gibi). lazer ışığını üretmek için yükseltici ortam adı verilen bir katıya, bir sıvıya veya bir gaza enerji basmak gereklidir. Yükseltici ortam enerji aldıça, atomlar sadece belli bir frekansta ışık salmağa başlarlar. Bir atomdan çıkan ışık, komşu atoma çarptığında onu da aynı frekansta ışımaya zorlar. Böylece oluşan bir zincir etkisi sürerek, pek çok atomun aynı anda ve aynı frekansta ışımasına neden olur. Çıkan ışık, özel aynalar arasında ileri geri yansiyarak lazer içerisinde biriktirilir. Işık genliği yeteri kadar büyüdüğünde yarı-yansıtıcı aynadan geçerek aygıt dışına çıkar ve böylece bir lazer pulsu oluşur. İlk çalışan lazer, Theodore Maiman tarafından 1960'da gerçekleştirildi. Maiman, yükseltici ortam olarak, silindirik şekilde bir yapay yakut kristali kullanmıştı. Optik pompalama işlemi, silindirin



çevresine spiral şeklinde dolanan bir lamba ile gerçekleştirilmekteydi. En dışta ise çıkan ısıyı soğurmak üzere, bir suyla soğutma sistemi bulunmaktaydı. Maiman'ın lazerinin boyutları bir kaç cm olmakla beraber mükemmel çalışmakta ve pulslu (695 nm dalgaboyunda) kırmızı lazer ışığı üretmekteydi.

Ticari amaçlı kullanım bulan lazerlerin bir kısmı mavimsi-yeşil ışık veren helyum-neon lazerleridir. Bu tür lazerlerde, helyum ve neon gazlarının karışımıyla dolu bir tüp elektrik akımıyla uyarılarak ışık üretilir. Elektrik akımı helyum atomlarını uyarır. Bunların neon atomlarıyla çarpışması yoluyla enerji neon atomlarına aktarılır. lazer ışığını veren, neon atomlarının ışımasıdır. Tüpün uçlarından biri-

ne tam yansıtıcı, diğerine ise yarı saydam bir ayna takılmıştır. Lazer ışını yarı saydam aynadan çıkmaktadır.

Işıklı Kesme İşlemi

Uzun dalgaboylu lazerler, bir yüzey üzerinde dar bir bölgeye odaklanarak, çok yüksek sıcaklıklar elde edilebilir. Bu sıcaklık, kumaştan oto yapımında kullanılan çelik saçlara kadar pekçok malzemeyi kesmeye yeterlidir. lazer ışını, ayna düzenekli kollar boyunca yöneltilerek, kansız ameliyatlarda yapılmasını da sağlamaktadır. Lazerler, son yıllarda özellikle göz ameliyatlarında, geniş uygulama bulmuştur. Lazer ışınının, kesme işlemi için kullanımındaki en büyük avantajı; kesici aletlerin körelmesi gibi bir sorun taşımamasındadır. Elde edilen yüksek sıcaklıklar nedeniyle lazerler, metallere nokta kaynak yapımında da kullanım bulurlar.

Lazerle Ölçüm İşlemleri

Lazer demetleri, dağılmadan çok uzun mesafelerde bir doğru boyunca yayılabilir. Bu nedenle, inşaat projelerinde (örnek olarak tünel açımında) yaygın kullanım bulmaktadırlar. Ayrıca, lazer ışığı çok duyarlı mesafe belirlemede yararlıdır. Bunun için, bir lazer demeti ikiye ayrılır ve iki ayrı yüzeyden yansıtılarak tekrar bir araya getirildiklerinde verdikleri girişim desenine bakılır. Böylece, girişim çizgilerindeki kaymaları ölçerek iki uzak cisim arasındaki mesafeyi son derece duyarlı bir biçimde hesaplamak olasıdır.



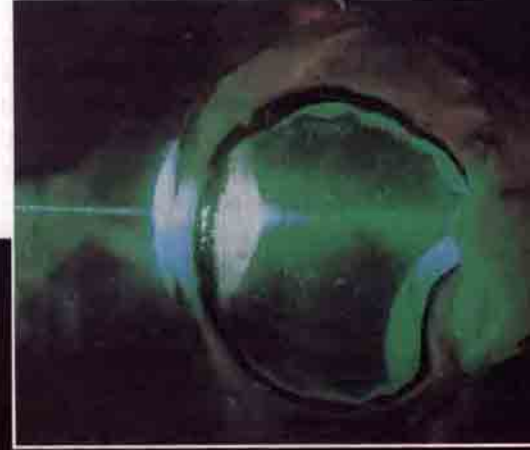
elektronun düşük enerji düzeyine geri gidişi için geçen sürenin istatistik çıkarımını araştırmaktaydı. Ancak bahsi geçen geçişe bir yol daha vardır. O da; uyarılmış atomun, üzerine düşen bir fotonla etkileşerek fazla enerjisini kaybetmeye ve düşük enerji düzeyine (taban durumuna) geçmeğe zorlanmasıdır. Bu süreç, uyarılmış ışımaya adı verilir ve ancak atomla etkileşen fotonun dalgaboyu,

atomun ışıdığı fotonun dalgaboyuna eşit ise mümkün olur.

Bir kristal örgüsü üzerine sıralanmış bir dizi uyarılmış özdeş atom düşünelim. Kristal üzerine, rezonans dalgaboyuna sahip bir foton yollayarak bir atomun ışımasını sağlayalım. Çıkan iki foton, diğer iki atomun ışımasını sağlar; çıkan dört foton dört atom daha uyarır ve böylece, ışılan atomların sayısı üstel olarak katlanır. Elde edilen eş zamanlı (senkronize), dolayısıyla yüksek genlikli elektromanyetik dalgaların, dalga çukurları ve dalga tepeleri birlikte ilerledikleri ışın demeti için dağılmaz. Buna lazer ışını diyoruz. (Laser: Light amplification by stimulated emission of radiation-Uyarılmış ışımaya yoluyla ışık genliğinin yükseltimi) lazer uygulamalarındaki beceri, kuantum teorisinin kullanımında değil; atomların yüksek enerji düzeyine "pompalanması" ve orada uyarıma hazır biriktirilmeleri için gereken teknolojinin geliştirilmesindedir.

Bugün lazer teknolojisinin ticari önemi tartışılmaz. lazerlerin, iletişim ağlarında, yüzey ve mesafe ölçüm işlerinde; kredi kartlarını şifreleyen hologramların yapımında, süpermarket kasalarındaki barkod okuyucularında ve daha pekçok uygulamada yeri vardır. Tüm bunların kökü, Bohr'un kuantum teorisinde yaptığı ilk atılımda bulunmaktadır.

Fakat kuantum mekaniğinin günlük yaşamımızdaki en yaygın etkileri, kendini kuşkusuz katı fizikçi uygulamalarında göstermektedir. Fiziğin bu dalı, bizlere transistörlü radyoları, Sony Walkman'ı, dijital saatleri, elektronik hesap makinalarını, PC'leri, tam otomatik çamaşır makinalarını kazan-

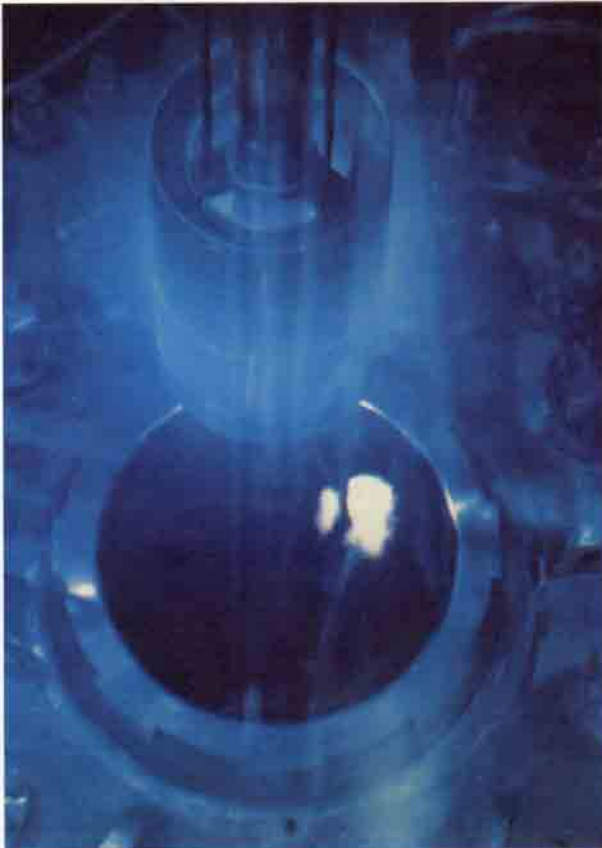
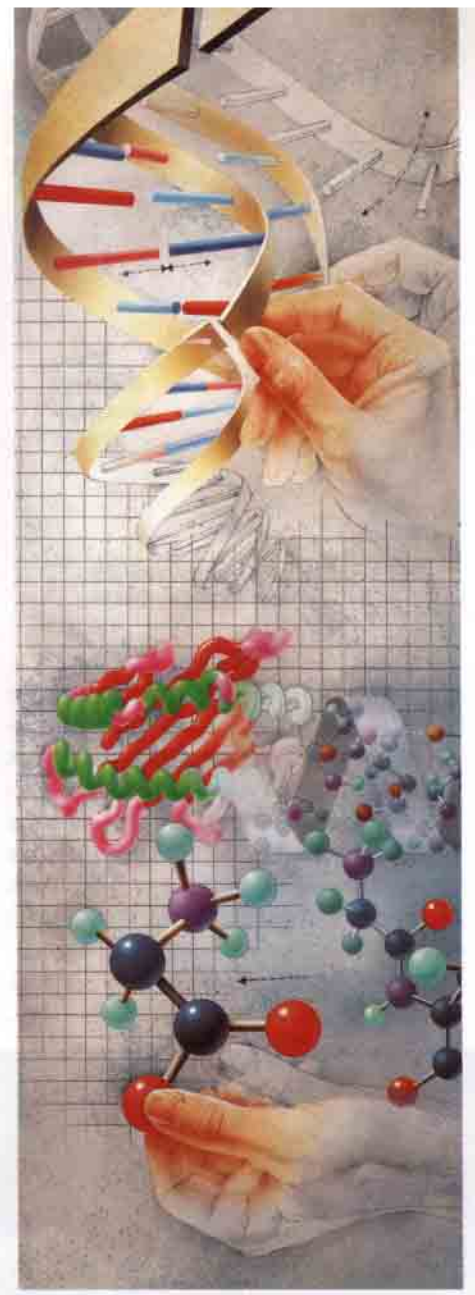


dırdı. Katılal fiziği, adı üstünde; fiziksel nitelikleri iletkenlerle yalıtkanlar arasında yer alan yarı-iletken katıların özelliklerini inceler. Yalıtkanlar, içindeki elektronlar sıkı sıkıya atomlarına bağlı kaldıkları için elektrik akımını iletmezler. İletkenlerde ise elektronların bir kısmı serbestçe malzeme içerisinde dolaşabilir.

Katılar içerisindeki elektronların enerji düzeylerini, kuantum mekaniğindeki dalga denklemini çözerek bulabiliriz. Elektronun enerjisi ne kadar fazlaysa, civarındaki artı elektrik yükü çekirdeklerin çekiminden o kadar kolay kurtulabilir ve elektriği iletir. Schrödinger denklemleri, belli bir katı içerisinde, elektronların atom çekirdeklerine ne kadar sıkı bağlanmış olduğunu belirler; iletkenler ve yalıtkanlar arasındaki farkları açıklar. Ayrıca, yine dalga denklemleri, bağlı enerji durumlarının tümü elektronlarca işgal edilmiş olan yarı-yalıtkan katılarda; bazı zayıf bağlı elektronların (birkaç elektron volt gibi) çok az enerji kazanımıyla nasıl daha yüksek bir enerji düzeyine sıçrayarak, malzeme içinde serbestçe dolaşabildiklerini açıklar. İletkenlerin aksine, böyle bir elektron geçişi, geride boş bir enerji düzeyi bırakacaktır. Malzemenin elektrik ilet-

kenliği söz konusu edildiğinde, eksi yüklü bir elektronun geride bıraktığı deşik, tıpkı bir artı iletim yükü gibi davranır. Deşik, eksi yükler tarafından çekilir; çünkü bir noktada oluşan boşluğu hemen yanından gelerek dolduran elektron, geldiği düzeyde boşluk bırakacaktır. Böylece deşik, başlangıç noktasından elektronların hareket yönünün tersine giderek uzaklaşır. Yani bir artı yükün hareketini yapar. Yarı-iletken elektronik aygıtların tasarımını anlamak için, elektronların atomlar yakınında nasıl davrandıklarını tarif eden kuantum mekaniğinin kuralları mutlaka bilinmelidir. Mikroelektronik teknolojisine bağlı süperbilgisayar tasarımı da, böylece dolaylı da olsa kuantum mekaniğine bağlanmış oluyor.

Aynı biçimde, yaşamın sırlarının anlaşılması da kuantum mekaniğine bağlanabilir. 1953'de açıklığa kavuşan DNA'nın çifte sarmal yapısını artık biliyoruz. Gen mühendisliğine olanak tanıyan temel etken, organik moleküllerin özelliklerinin iyi anlaşılmasıdır. Bunun sadece kuantum fiziği bilgimizle mümkün olduğunu çok kişi takdir edemeyebilir. Bu kapsamda temel bir fizik teorisi olmasaydı, daha başlangıçta DNA gibi karmaşık organik moleküllerin yapısını gösteren X-ışını kırınım verilerini yorumlamak olanaksızlaşırđı. Genlerin nasıl yapıldığını anlamak için, önce atomların nasıl ve neden bir araya geldiklerini bilmek, hangi düzende, hangi mesafe aralıklarında, hangi bağ türüyle bağlandıklarını anlamak gerekir. Bu bilgi, kuantum fiziğinin kimya ve moleküler biyolojiye en büyük katkısı olmuştur. Çağdaş kimya, 1920'ler ve 1930'larda Bohr atom modeli ve Kopenhag yorumu üzerine dayanan çalışmaları başlamıştır. Ayrıntılara girmeye-



den, DNA çifte sarmalının iki sarmalını birarada tutan hidrojen bağlarının tamamen bir kuantum olayı olduğunu hatırlayalım; Kuantum fiziğini bilmeden iki sarmalın nasıl birarada durduğunu hiç bir zaman anlayamazdıık.

Bir yüzyılı kapsayan tüm bu başarılar zincirine karşı, kuantum mekaniği kurallarının niçin geçerli olduğunu tam anladığımızı hala söyleyemiyoruz. Bugün bile kuantum teorisinin felsefi sorunları hararetle tartışılmalara konu oluyor. Bunu bilim adamlarının başarılarına düşen bir gölge gibi düşünemeyiz. Aksine, tatmin edici bir felsefi temelin yokluğunda bile bilim adamlarının ulaştığı teknik yetkinlik doğru yolda olduklarının en güçlü kanıtıdır.

Kaynaklar
 'Adventures in Lilliput', Time, Aralık 1991
 Burnie, D., Light, Eyewitness Science, cilt 4, The Science Museum, London, 1992
 Cooper, C., Matter, Eyewitness Science, cilt 2, The Science Museum, London, 1992
 Pais, A., Inward Bound, Oxford University, 1986

Minyatür Deney Aletleri

15. yüzyılda denizcilik yöntemlerindeki gelişimin, okyanusların keşfini yelkenli gemilere açması gibi, yeni lazer aletleri de; bilimmezlerle dolu bir mikrodünyayı bilimsel keşiflere açmaktadır. Veri yağmurlarını ekranda görüntüye çeviren bilgisayarların desteğinde bu aletler, bilim adamlarına canlı hücreden tek tek atoma kadar her şeyi görmek ve hatta oynamak olanağını veriyor. Bu ilginç enstrümanlar arasında şunlar bulunuyor:

Femtosaniye lazerleri

Tipki mikroskobik bir dans pistinde yanıp sönen ışıklar gibi, bu aygıtlarla (Stroboskop) atomların ve moleküllerin titreşimleri, ışık çakmalarıyla dondurulabilmektedir. Böylece lazerler, sodyum atomunun diğer atomlarla birleşerek tuzları nasıl oluşturduğundan, fotosentez yoluyla bitkilerin güneş ışığını nasıl enerjiye dönüştürdüğüne kadar pek çok konuyu incelemekte kullanılıyorlar. 1991'de, California'da Lawrence Berkeley Laboratuvarlarındaki fizikçiler, gözümüzün görmesi için ilk adım olan bir kimyasal reaksiyonun resmini çekmeyi başardıklarını bildirdiler. Işığın gözün retina tabakasına çarpmasıyla başlayan bu reaksiyon, daha önce hiçbir şekilde doğrudan gözlenmemiştir. Çünkü reaksiyonun başlangıcı için geçen süre 200 femtosaniyedir. Bu müthiş hızı anlatmak için, saniyede 300.000 km yol alan ışığın 1 femtosaniyede saç telinin yüzde biri kadar gidebildiğini söylemek yeterlidir.

Lazer Tuzakları

lazer ışığı demetleri ile bir grup atomu kavrayıp, bir yerden başka bir yere götürmek olasıdır. Ancak, oda sıcaklığında atomların hızı çok büyük olduğundan, önce onları yavaşlatabilmek şarttır. 1985'de AT&T Bell Laboratuvarlarında bir araştırma grubu tarafından geliştirilen "Optik bulaç" tekniğinin keşfi, probleme bir çözüm getirdi. Işık kullanarak bir ortamın elektromanyetik sürükleniminin yeteri kadar yükseltilmesi atomları yavaşlatmaktadır. Atomlar, kinetik enerjilerinin neredeyse tümünü kaybedince mutlak sıfır sıcaklığına erişmiş olurlar. Bilimadamları, bu denli süper soğuk sıcaklıklarda, maddenin umulmadık ve ilginç niteliklerinin ortaya çıkacağına inanmaktadırlar. Gerçekten soğuk atomlar, zekice düşünülmüş değişik yollarla tutulabilir ve hareket ettirilebilir. Stanford Üniversitesi fizikçilerinden Steven Chu, paslanmaz çelikten bir kap içinde milyonlarca sodyum atomunun birarada hareket-

siz kalmasını ve sonra tıpkı ışıklı fiskiyeler gibi serbest bırakılmasını sağlayan teknikler geliştirdi. Bu teknik yardımıyla bilimadamların bir atomun serbest düşmesini izleyebiliyor ve kütleçekim kuvvetini bugüne kadar görülmemiş bir duyarlılıkla ölçebiliyorlar. Sodyum atomu fiskiyeleri, ayrıca sezyum atomu salınımlarının periyodunu görülmemiş duyarlılıkla belirlemeye olanak tanımaktadır. Atom saatleri arasında sezyum atomu en duyarlı olanıdır.

Optik Cımbız

Bilim adamları, tek bir kızıl-ötesi lazer ışığı demeti ile DNA molekülünden bakterilere kadar herşeyi tutup oynatabiliyorlar. Örnek olarak, yüzen bir mikroorganizmayı tutup, mikroskop altında yüzgeçlerinin hareketini inceleyebiliyorlar. Optik cımbızla, hücreyi tahrip etmeden hücre çeperinin içine girip organelleri inceliyorlar. Bu teknoloji yardımıyla, vücut hareketini sağlayan kas proteinlerinden myosin molekülünün uyguladığı mekanik kuvvet ölçülebildi.



Taramalı Tünelleme Mikroskobu

Bu olağanüstü aletler, birkaç atom boyutundaki ince metal uçları yardımıyla yüzeyleri tarayabilmektedir. Metal uç ile yüzey arasındaki mesafe çok küçük ise; elektronlar, kuantum mekaniğindeki tünel olayı nedeniyle bu aralığı atlayabilirler. Elektron hareketinin yarattığı bu çok küçük elektrik akımı, yüzey atomlarını oynatmaya ve yüzey üzerinde bir noktadan başka noktaya kaydırmaya yeterlidir. Bu yöntemle IBM'nin Almaden Araştırma merkezindeki fizikçiler,

yedi adet ksenon atomunu minyatür bir kap içine alıp atom düzeyinde kimyasal reaksiyon süreci gözlediler. Sonuçta, anahtar işlevini gören tek atomlu bir elektronik yapı geliştirebildiler. İlke olarak bu minyatür düzener, ileride transistörlerin yerini alabilecektir. Şu ana kadar yapılanlardan bazıları, örneğin atomlarla yazı yazmak ya da resim yapmak, amaçsız bir oyun gibi görünebilir, bunların ileride hayale sığmayacak kadar küçük aletler üzerine veri depolamak için kullanılacak teknikleri bugünden bizlere tanıttıkları inkar edilemez.

Atomik Kuvvet Mikroskopları

Taramalı tünelleme mikroskobunda olduğu gibi, bu aletlerin de birkaç atom boyutunda ve ince bir pikap iğnesinin işlevini gören bir ucu vardır. Bu uç yüzeye değerek, körler alfabeti okur gibi atomların haritası çıkarılır. Ucu yüzeye uyguladığı elektromanyetik kuvvet o kadar küçüktür ki, atomik kuvvet mikroskobuyla, canlı hücrelerin çeperleri de dahil olmak üzere pek çok değişik yüzey görüntülenebilir. Daha da ilginç, uygulanan kuvveti biraz artırarak bu ince ucu kesici bir alet gibi kullanmak ve hücrelerin çeperlerini, iç yapıyı bozmadan sıyırmak mümkün olmaktadır. Bilim adamları, atomik kuvvet mikroskoplarını; kanın pıhtılaşmasına yol açan biyokimyasal süreçleri incelemek, deniz kabuklarının atomik yapısını belirlemek, bir hücrenin diğer hücrelerle bağını kuran mini iletişim ağlarını bulmak için kullanmaktadırlar.

Bu yeni bilimsel aletlerin, pratikte muazzam bir geleceği olduğu kuşkusuzdur. Daha duyarlı bir atomik saatin bulunması, salt bilimsel merakı tatmin uğruna değildir. Eğer bu saatler iletişim uydularıyla yörüngeye oturtulursa, evrensel konumlama sistemi o denli gelişir ki, göz gözü görmez sisteme bile uçakları güvenle indirip kaldırmak mümkün olur. Taramalı tünelleme mikroskoblarının, yarı-iletken endüstrisinde minyatür elektronik cihazların yapımında kullanılacağı; optik cımbızlar yardımıyla doktorların herhangi bir hücre bozukluğunu onarabileceği; femtosaniye lazerleri ile kimyasal reaksiyonların kontrol edilip yönlendirileceği günler uzak değildir. Bilim adamları bugüne kadar, parçalarına ayırarak atom ve moleküllerin yapısını anlamaya çalıştılar; artık atomları ve molekülleri biraraya getirerek yeni ve yararlı şeylerin nasıl yapılacağını düşünenin zamanı gelmiş görünüyor.