

Bulunuşunun 100. yılında

Elektron

Elektron sözcüğünün kökeni Eski Yunan'a kadar uzanıyor. Eski Yunan dilinde bu sözcük, yaprak dökmeyen ağaçların fosilleşmiş sarı reçinesi olan "kehribar (amber)" anlamına geliyordu. Kehribarın, kuru kumaşa sürtüldüğünde (şimdi statik elektrik adını verdiğimiz etkiyle) saman çöpü gibi nesnelere çaktığı o zamandan beri biliniyordu. 1600'lü yılların başında, William Gilbert isimli bir İngiliz fizikçi, kehribar gibi maddelerin bu ilginç özelliklerini incelerken yeni bir kavram ortaya attı: "Elektrik". Gilbert, sürtme sonucu ortaya çıkan çekim gücüne "elektiriksel çekim" adını veriyor ve peşinden gelecek çalışmaların ilk adımını atıyordu. Elektrik üzerine çalışan Benjamin Franklin, Alessandro Volta, Georg Simon Ohm gibi pek çok fizikçi, elektriği üretme ve kullanmanın yolunu geliştirdiler. Fakat yine de bu çalışmaların hiçbiri elektrik kavramını tam olarak açıklamaya yetmedi... Ta ki, bundan tam 100 yıl önce, 1897 yılında Joseph John Thomson, o zamana dek sırrı çözülmemiş bir tür ışın üzerinde çalışırken 'elektron' adını verdiğimiz ilk temel parçacığı keşfedinceye kadar... Thomson'un keşfi, yalnızca elektriğin doğasını açıklamakla kalmayacak, o zamana dek üzerinde tartışılması bile düşünülmemiş pek çok temel kavramın kökünden değişmesine neden olacaktı.



Joseph John Thomson

JOSEPH JOHN THOMSON 18 Aralık 1856 tarihinde Manchester'de doğdu. Henüz 14 yaşındayken, şimdiki adı Manchester Victoria Üniversitesi olan Owens Koleji'ne başladı. Buradaki matematik hocası ona Cambridge'deki en prestijli kolejlerden biri olan Trinity Koleji'ne burs için başvurmasını önerdi. Bursu kazanarak Trinity'e giden Thomson 1880 yılında yine ünlü bir fizikçi olan Joseph Larmor'un ardından ikincilikle okulu bitirdi. Trinity Koleji'nin isteğiyle orada kalan Thomson, sonradan elektromanyetik kuvvetler ve atomun yapısını anlamakta kendisine önemli ipuçları verecek olan matematiksel modeller üzerinde çalışmaya başladı.

1871 yılında Cambridge'de büyük bir laboratuvar kurulmuş ve başına, elektrik ve manyetizmanın temel denklemleri olarak kabul edilen ünlü "Maxwell Denklemleri"ni bulan James Clerk Maxwell getirilmişti. Fizik tarihinde önemli buluşlara sahne olacak bu laboratuvar Cavendish laboratuvarı idi. Thomson bu laboratuvara Maxwell ve Lord Rayleigh'den sonra seçilen üçüncü profesör oldu ve bu onun hayatındaki en önemli dönüm noktalarından biri oldu.

Thomson, Maxwell'in yalnızca bazı derslerini dinlemişti, ama Maxwell'in ardından Cavendish profesörü olan Lord Rayleigh ile birlikte birçok çalışma yapmıştı. 1884 yılında Rayleigh, Cavendish profesörlüğünden emekliye ayrıldığında, Thomson, kendi sözleriyle "ciddi sayılabilecek bir çalışması ve sorumluluğu olmaksızın" profesörlük için başvurdu. Seçilmesi onun için de sürpriz oldu; henüz 28 yaşındaydı ve seçileceğini beklemediğini şu sözlerle ifade ediyordu: "Kendimi, hafif takımlarıyla, görmediği bir noktaya olmasını rastgele fırlatmış ve çekebileceğinden çok daha ağır bir balık yakalamış balıkçı gibi hissetmişim."

Thomson, Cavendish'in başına geçer geçmez, laboratuvarı yenilemeye ve yeni öğretim yöntemleri ortaya koymaya girişti. Deneysel fizik konusunda o zamana dek pek deneyimi olmamasına karşın kısa sürede bunun üstesinden gelmiş ve Cavendish çok sayıda önemli deneyin yapıldığı bir merkez haline almıştı.

Bu çalışmalar sonucu, Cavendish'te keşifler ardarda geldi. Thomson'un yönetiminde burada elektromanyetizma ve atomik parçacıklar üzerine yapılan deneyler 7 Nobel ödülü ve 27 Kraliyet Akademisi üyeliği getirdi. Thomson'un, ona en büyük ünü kazandıracak olan elektronu keşfinin öyküsü de bu laboratuvarlarda başladı...

Gizemli Işıklar

19. yüzyılın ortalarında, İngiltere'nin değişik yerlerini gezerek bilimsel konferanslar veren bazı kişiler, bugünkü neon lambalarının atası sayılabilecek bir tür tüp ile dinleyicileri eğlendiriyorlardı. Ellerindeki cam tüplerin içindeki havanın büyük kısmı boşaltılmış, iki ucuna elektrodlar yerleştirilmiş ve bunların uçlarına da teller bağlanmıştı. Bu tellere yüksek gerilim verildiğinde tüpün içinde harika renk desenleri oluşuyordu.

Aslında bu ilginç tüplerle ilgili çalışmaların başlangıcı 19. yüzyılın başlarında Michael Faraday'ın çalışmalarına kadar uzanıyor. Faraday bu garip tüplerle, gazlarda elektriksel yük boşalmasını incelerken bir ışımaya gözlemiş ve bundan, tüpteki havanın boşaltılmasının bir parlılığa neden olduğu sonucunu çıkarmıştı.

Tüpün yakınına bir mıknatıs getirip yük boşalımı sırasında ne olacağına bakmayı ilk kez 1858'de Julius Plücker (1801-1868) akıl etmişti. Mıknatıs, yük boşalımında sapma oluşturuyordu. Daha sonra yaptığı çalışmalarda tüpün katodu yakınlarında parlak yeşil bir ışımaya görmüş ve mıknatıs kullanarak bu ışık lekelerinin yerini değiştirmeyi başarmıştı. Fakat tüpün havasını yeterince boşaltmadığı için daha ileri gide-memişti.

1869'da Plücker'in öğrencisi Johann Hittorf (1824-1914) daha başarılı oldu. Çünkü aradaki yıllar cıvalı pompaların kullanılmasına olanak sağlayacak ve tüp böylece daha iyi boşaltılabilecekti. Hittorf, katodun karşısına yerleştirilen bir nesnenin gölgesini elde etmiş ve bundan da yük boşalımının katottan kaynaklandığı sonucunu çıkarmıştı. "Kathodenstrahlen" yani "katot ışınları" adı 1876'da E. Goldstein (1859-1930) tarafından kondu. 1879'da William Crookes, kendi bulduğu daha gelişmiş bir pompa ile boşalttığı tüpler-

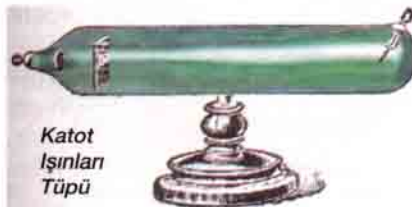
Cavendish Laboratuvarı



deki katot ışınlarının sistematik incelemesini yaptı.

Tüm bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkan; katot ışınlarının havası iyice alınmış bir tüpün katodundan geldiği, tüpün karşı duvarına çarpıp orayı ısıttığı, önlerine çıkan nesnelerin keskin gölgeler vermesinden açıkça düz doğrultuda ilerlediği ve kimse emin olmasa da, mıknatıs tarafından saptırıldığıydı...

Peki bu ışınlar ne olabilirdi? O zaman yaygın olan bir görüşe göre, bu ışınlar ışığın hareket etmesi için gerekli ortam olarak kabul edilen ve "eter" adı verilen görünmez akışkanda hareket ediyordu; dolayısıyla bu ışınlar ışık dalgalarıyla benzer olabilirdi. Diğer olasılık ise bunların ışık gibi dalga değil, parçacık olduklarıydı. Bu konu fizikçileri "dalga mı parçacık mı" tartışmasına sürüklemişti. İlginç olan bu tartışmanın ulusal sınırlarla kamplara ayrılmış gibi görünmesiydi. 1892'de Heinrich Hertz, deneysel kanıtlarıyla, katot ışınlarının parçacık olamayacaklarını, dalga olmaları gerektiğini savundu. Gustav Heinrich Wiedemann (1826-1899), Goldstein ve tüm Alman fizikçilerinin görüşü de bu yöndeydi. Ancak



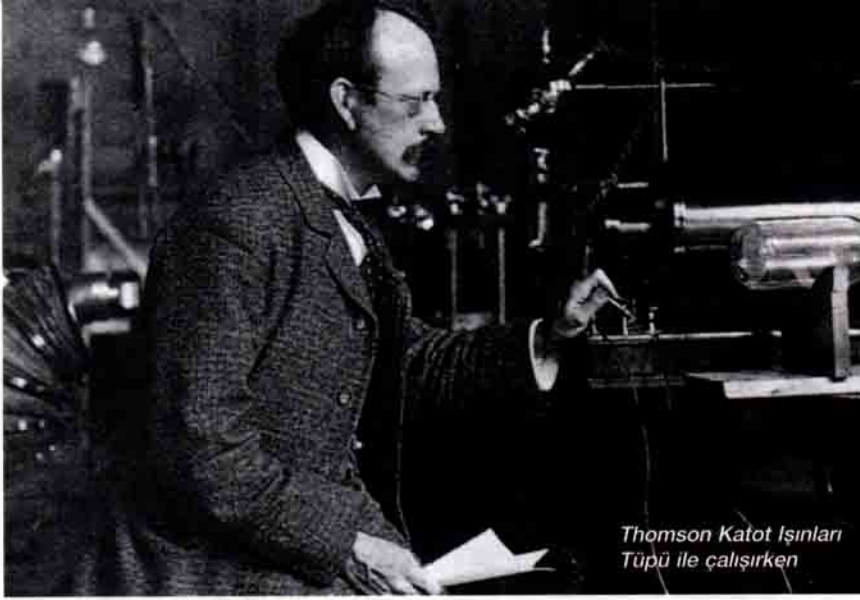
İngiltere'de Crookes, bu ışınların elektrik yüklü parçacıklar olduğunda ısrar ediyordu. Kelvin, J.J. Thomson ve diğer tüm İngiliz fizikçiler de bu görüşü desteklediler. Kısacası Alman fizikçiler "dalga", İngiliz fizikçiler ise "parçacık" diyorlardı.

Bu belirsizliği çözmek için daha güvenilir deneylere gereksinim vardı. Camın kenarına mıknatıs yaklaştırıldığında ışınların saptığı biliniyordu; yani ışınlar manyetik alandan etkileniyordu. Ancak, Heinrich Hertz, katot ışınları tüpünün içinde metal plakalar yardımıyla oluşturduğu elektrik alandan bu ışınları geçirdiğinde bir sapma gözlememişti, yani elektrik alandan etkilenmiyor ve elektriksel olarak yüksüz gibi davranıyorlardı. Hertz ve öğrencisi Philip Lennard, bu ışınların yolu üzerine ince bir metal folyo yerleştirdiler ve camın hâlâ parıldadığını gözlediler; ışınlar folyodan geçiyorlardı! Bu da ışınların dalga olması gerektiği savını doğruluyordu. Fakat başka bazı deneyler bunların parçacık olduğu yönündeki şüpheleri destekliyordu. Örneğin Fransa'da Jean Perrin katot ışınlarının eksi yüklü olduklarını deneysel olarak kanıtlamıştı. Perrin, iyi boşaltılmış bir tüpte ürettiği katot ışınlarını Faraday kafesine gönderdi ve eksi yük taşıdıklarını gösterdi. Bir mıknatısla saptırılabilir ve mıknatısın hareketine bağlı olarak yönlendirilebiliyordu.

1897 yılının ocak ayında, Almanya'da Emil Wiechert, şaşırtıcı bir ölçüm yaptı. Bu ışınların yüklerinin kütlelerine oranını ölçtü ve bu oranın en küçük yüklü atomunkinden binlerce kat daha az olduğunu belirledi. Bu sonucu değerlendiren Lennard'a göre bu ışınlar eğer parçacıksa kütleleri çok küçük olmalıydı.

İşte tam bu sıralarda, Thomson da Cavendish'te bu garip ışınlarla uğraşmaktaydı... Katot ışınları ile ilgili tüm çalışmaları dikkatle izleyen Thomson, bazı eski deneyleri daha dikkatli olarak tekrar yaptı. Ancak verileri biraraya getirdiğinde çarpıcı bir sonuç onu bekliyordu: Katot ışınları yalnızca sıradan parçacıklar değil, aslında o zamana dek bölünemez olduğu düşünülen atomun yapı taşlarıydı, yani evrendeki tüm maddenin uzun süredir aranan temel birimi...

Thomson'a göre atom, maddenin temel yapıtaşı değildi; atomun kendisi



Thomson Katot Işınları Tüpü ile çalışırken

de küçük temel öğelerden oluşuyordu. Thomson, katot ışınlarının, atomların bu çok küçük parçacıklarının akışı gibi düşünülebileceğini iddia ediyordu. Yaptığı üç önemli deney onu bu sonuca götürmüştü.

Bu deneylerden ilkinde Thomson, Perrin'in 1895 yılında yaptığı deneyi biraz farklı olarak yineledi. Thomson, uçlarında, birer çift yarığa sahip metal silindireler bulunan bir katot ışınları tüpü yaptı. Bu silindirler, elektrik yüklerini yakalayıp ölçmeye yarayan bir elektrometreye bağlanmışlardı. Thomson, ışınları bir mıknatıs yardımıyla saptırarak yükü bu ışınlardan ayırabileceğini görmek istiyordu. Işınlar, silindirelerdeki yarığa girdiklerinde elektrometre çok büyük miktarda eksi elekt-

rik yükü ölçüyor, fakat mıknatıs tarafından saptırıldıktan sonra, diğer uçtaki silindirde elektrometre hiç elektrik yükü ölçmüyordu, yani hiç bir yük bu uçtaki yarığa ulaşmıyordu. Her nasılsa, eksi elektrik yükleri ve katot ışınları birbirlerine yapışıyor ve bunları birbirlerinden ayırmak mümkün olmuyordu.

Daha önce yapılan deneylerde, elektrik alanında katot ışınları saptırılmamıştı. Fakat Thomson şimdi yeni bir yaklaşım öne sürüyordu. Normalde, yüklü bir parçacık elektrik alanının içinde hareket ederse sapar, fakat etrafı bir iletkenle çevriliyse bu olmaz. Thomson bundan hareketle, tüpte kalan az miktardaki gazın katot ışınları tarafından elektriksel iletkenliğe dönüştürüldüğünü, yüklerin bu nedenle elekt-

rik alanda saptmadığını düşündü. Bunu denemek için, tüpteki gazın tamamını boşaltmaya çalıştı ve böylece katot ışınlarının elektrik alanda da saptıklarını gözledi.

Thomson bu iki deneyinin sonuçlarını şöyle bildiriyordu: "Katot ışınlarının madde parçacıklar tarafından taşınan eksi elektrik yükleri olduğunu kabul etmekten kaçış olmadığını gördüm". Ve onu sonuca götürecek sorularla devam ediyordu: "Bu parçacıklar neydi? Atom mu, molekül mü yoksa maddenin daha küçük birer parçası mı?" Thomson'un üçüncü deneyi, bu parçacıkların temel özelliklerini belirlemenin yolunu bulmak içindi. Herhangi bir parçacığın doğrudan kütesini ya da elektriksel yükünü ölçemese de, manyetik alanda ışınların ne kadarının saptığını ve ne kadar enerji taşıdıklarını ölçebiliyordu. İşte bu veriler yardımıyla bir parçacığın yükünün kütesine oranını hesapladı. Bunu farklı gazların kullanıldığı çok sayıda tüp kullanarak tekrarladı.

Sonuçlar son derece şaşırtıcıydı. Bir yıl önce Emil Wiechert'in söylediği gibi, katot ışınlarının yük/kütle oranı, yüklü bir hidrojen atomunun yük/kütle oranından birkaç bin kez daha küçüktü. Buna göre, ya katot ışınlarının yükü yüklü bir atoma oranla çok fazlaydı ya

Tarihlerle Elektron

Elektron'un Keşfi

1894 Herman Helmholtz'un 1881 yılında varsaydığı "elektrik atomu"na George Johnstone Stoney "elektron" adını verdi.

1897 Ocak ayında Emil Wiechert, katot ışınlarının eksi elektrik yüklü temel parçacıklardan oluştuğunu ve bu parçacıkların en küçük atomdan çok daha hafif olduklarını kanıtladı. Nisan ayında, J.J. Thomson, katot ışınlarının yük/kütle (e/m) oranının iyonlanıncından 1000 kez daha küçük olduğunu buldu. Kasım ayında, Willy Wien, Thomson'un bulgularını doğruladı. Elektronun keşfi, aynı sıralarda ortaya çıkan bir başka olayla desteklendi. Bu, Ekim 1896 ve Ekim 1897 yılları arasında Peter Zeeman tarafından gösterilen, bir manyetik alanda atomik spektral çizgilerin üçlü yanmaları idi. Zeeman etkisi adı verilen bu olgu, Eylül 1897'de Hendrik Antoon Lorentz tarafından teorik olarak açıklandı.

Elektron, İletkenlik, β -ışınlar ve Görelilik (1897-1915)

1897-1899 J.J. Thomson, J.S.E Townsend ile birlikte katot ışınlarının özelliklerini inceledi ve elektronun yükünü belirledi.

1900 Marie ve Pierre Curie, β -ışınlarının hızlı katot ışınları olduklarını gösterdiler.

1902 Max Abrahami (Göttingen), George FitzGerald'in ve H.A. Lorentz'in "şekil değiştiren" teorisine karşı "katot elektron" teorisini ortaya koydu.

1904 H.A. Lorentz, boşlukta ışıktan daha yavaş hızla hareket eden sistemlerdeki elektrik ve manyetik olayların ayrıntılı kuramını geliştirdi.

1905 Albert Einstein, daha sonradan özel görelilik ku-

ramı olarak adlandırılan hareketli cisimlerin elektrodinamiğini formüle etti. Henri Poincaré, elektron dinamiğini gösterdi. Einstein, kütle-enerji ilişkisini buldu.

1911 Heike Kamerlingh-Onnes, Civa ve diğer metallerin süperiletkenliklerini keşfetti.

Atom Yapısının Eski Kuantum Teorisi ve Elektron (1897-1923)

1903 J.J. Thomson elektronların + yüklü bir sıvıda yüz-dükleri üzümlü kek atom modelini tanımladı. Böylece elementlerin kimyasal özelliklerini açıklamış oldu.

1904 Hantaro Nagaoka (Tokyo), elektronların, ağır bir iç bölgeyi halkalar halinde çevrelediği (sardığı) "Satürn modeli"ni ileri sürdü.

1910 Arthur Haas (Vienna), Planck'ın kuantum kuramını Thomson'un atom modeline uygulayarak atomların boyutlarını buldu.

1911 Ernest Rutherford (Manchester), etrafında elektronların gezegen gibi döndükleri yoğun bir atom çekirdeği (+ Ze) içeren, "çekirdekli atom" modelinin ayrıntılarını açıkladı.

1913-14 Niels Bohr (Kopenhag), Rutherford'un çekirdekli atomunun kuantum kuramını geliştirdi. Nisan 1913'te hidrojen spektrumunu elde etti ve Ekim 1913'te iyonize helyum çizgilerini açıkladı. James Frank ve Gustav Hertz (Berlin), Bohr'un kuramıyla uyumlu olarak, atomun spektral çizgilerinin, civa atomlarının elektronların çarpması ile uyumundan kaynaklandığını buldular.

1921-22 Bohr, elementlerin periyodik tablosunun bir kuramını ortaya attı (1921). Hafnyum elementinin bulunması (George de Hevesy ve Dirk Coster, Kopenhag, Aralık 1922) bu kuramı destekledi.

Dalga Mekanikğinde Elektron (1921-1931)

1922 Otto Stern ve Walther Gerlach tarafından, Ato-

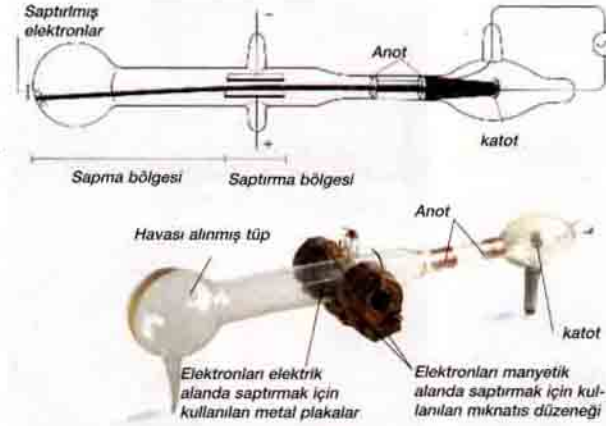
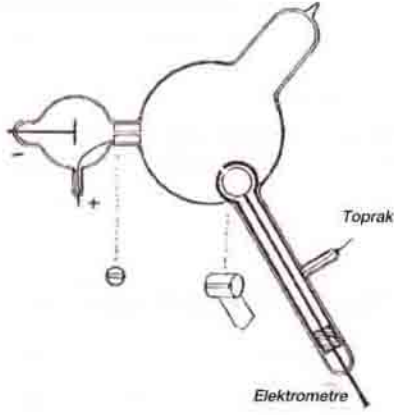
mik ışınları demetlerinin homojen olmayan manyetik alanda ayırılmalarıyla, elektronların alışılmadık özellikleri açığa vuruldu. Aralık ayında Arthur H. Compton, X-ışınlarının kızıl kayma eğilimini saçılan elektronlardan yola çıkarak bulduğunda, elektromanyetik ışınların kuantumlu doğasına dair ilk dolaysız kanıt ele geçirilmiş oldu.

1923 Louis de Broglie, özellikle atomlardaki elektronların davranışını açıklamak amacıyla, madde dalgaları kuramını ortaya attı.

1925 Ocak ayında Wolfgang Pauli, atomlardaki elektronlar için dördüncü bir kuantum sayısı tanıttı. Ekim ayında ise George Uhlenbeck ve Samuel Goudsmit, bu kuantum sayısını yeni bir mekanik özellikten, elektron spininden ortaya çıkıyor olarak yorumladılar. Aynı yıl, Heisenberg yeni bir atom kuramını, "kuantum mekaniğini" kuramsallaştırmada karar aşamasına geldi. İzleyen aylarda Max Born ve Pascual Jordan, Heisenberg'e fikir alışverişini yaptı, bu kuramı "matris mekaniği" olarak; Paul Dirac ise, "q-sayı kuramı" olarak formüle etti.

1926 Bu yılın ocak-haziran ayları arasında yazdığı beş makalesinde, Erwin Schrödinger, matematiksel açıdan yukarıdakilerle özdeş yeni bir atom kuramını, "dalga mekaniğini" Broglie'nin "madde dalgası" hipotezinden esinlenerek geliştirdi. Heisenberg, helyum atomunun enerji durumlarını açıklamak üzere "değişim kuvvetleri" fikrini ortaya attı. Born, elektron ve diğer atomik parçacıkların dağılımı için dalga fonksiyonunun olasılık yorumunu geliştirdi. Enrico Fermi ve Paul A. M. Dirac elektronlar ve diğer 1/2 spinli parçacıklar için doğru kuantum istatistikleri elde etti. Pauli ve Ralph Fowler, bu elektron istatistiklerinden yararlanarak metallerin paramanyetik özelliklerine ve yıldızdaki yoğun maddeye açıklama getirdi.

1927 Mart ayında Heisenberg, mikroskobik parçacıkların konum ve momentum belirsizlik ilişkilerini keşfetti. Mart ve Mayıs ayları arasında, birbirlerinden habersiz olarak



Thomson'un deneylerinde kullandığı tüpler. İlk deneyde (sol başta) katot ışınları, tüpün sol tarafından geçerek büyük lambaya giriyor ve burada manyetik alan tarafından saptırılıyordu. Thomson, ikinci ve üçüncü deneylerinde kullandığı tüplerle ışınları elektrik alanda saptırmayı başardı ve elektronun yük/kütle oranını belirledi.

da bu ışınlar yüküne göre şaşırtıcı derecede hafifti.

Bu olasılıklardan hangisinin doğru olduğu Philip Lennard tarafından açıklığa kavuşturuldu. Lennard, katot ışınlarının gaza nasıl nüfuz ettiğini denerken, herhangi bir atomun kütesinden çok daha küçük kütleyle sahip parçacıklar olduklarını gösterdi. Kanıt o sıralar kesinlikten uzaktı, ancak daha sonraları yapılan deneyler bu sonucu kesinleştirdi.

Thomson varsayımını açık olarak şöyle ifade ediyordu: "Katot ışınları sözkonusu olduğunda, maddenin yeni bir haliyle karşı karşıya kalıyoruz. Öyle bir hal ki, madde, sıradan gaz haline göre çok daha ileri aşamalarına kadar alt bileşenlerine indirgenemiyor. Böylece, tüm kimyasal elementlerin yapılmış ol-

dukları, tek tip bir alt bileşende yüz yüze kalıyoruz."

Thomson, 1897 yılında yaptığı bu deneylere dayanarak katot ışınları ile ilgili 3 önemli varsayım ileri sürdü:

1. Katot ışınları yüklü parçacıklardır. (Bu parçacıklara "korpüskül" diyor)
2. Bu korpüsküller atomun yapıtaşlarıdır.
3. Bu korpüsküller yalnızca atomun yapıtaşlarıdır.

Thomson'un bu varsayımlarına ilk başta şüpheyle yaklaşıldı. Özellikle ikinci ve üçüncü varsayımlar çok tartışmalıydı. Bunu yıllar sonra Thomson şöyle anlatıyordu: "Başlarda, atomlardan daha küçük bu gibi cisimlerin varlığına inanan pek az insan vardı. Hatta,

verdiğim bir konferansın izleyicileri arasında bulunan ünlü bir fizikçi sonradan bana 'Bizimle dalga geçiyormuşsunuz gibi geldi' demişti".

Bu 'korpüsküller'e kısa bir süre sonra yeni bir isim yakıştırıldı: "Elektron". Bu sözcük ilk kez 1891 yılında G. Johnstone Stoney tarafından kullanılmıştı. Stoney "elektron"u, bazı kimyasal maddelerden elektrik akımı geçirdiği deneylerinde bulunduğu yük birimine isim olarak yakıştırmıştı. Terimi bu anlamda ilk kez Thomson'un Cambridge'deki sınıf arkadaşı Joseph Larmor kullanmıştı. Larmor, elektronu eter içinde bir olgu olarak tanımladığı bir de teori ortaya atmıştı. Fakat teorisi, elektronu atomun bir parçası olarak tanımlamıyordu. 1897 yılında ise İrlandalı fizikçi George Francis FitzGerald, Thomson'un parçacıklarının (korpüsküllerinin) gerçekten "serbest elektronlar" olduğunu öneriyor, fakat bunu Thomson'un değil Larmor'un teorisiyile açıklıyordu.

Daha sonraları anlamlarındaki ufak tefek değişikliklerle birlikte, Thomson'un ikinci ve üçüncü varsayımları da kabul gördü. Thomson, Lennard ve başkalarının 1897 yılı boyunca yaptığı deneyler bazı belirsizlikleri ortadan kaldırmaya yeterli olmadı. Fakat izleyen yıllar boyunca yapılan başka deneyler tam olarak her şeyi açıklıyordu. Ve atom fiilen olmasa da teorik olarak bölünüyordu!..

Atomun maddenin temel yapıtaşı olmayıp onu oluşturan daha temel birimlerin ortaya çıkması, atom hakkında yeni teoriler geliştirmeyi gerekli kılıyordu. Thomson'un dediği gibi atomlar yalnızca elektronlardan oluşuyorsa, bu parçacıklar atomu nasıl oluşturuyordu? Thomson bunun için bir atom modeli öne sürdü: Thomson'a göre atom, bin-

Clinton J. Davison, Lester H. Germer, George Paget Thomson ve Alexander Reid, elektroni madde-dalga özelliklerini aynı anda gösterdiler.

Aynı yıl Hund, moleküllerde bulunan potansiyel engellerinde "elektron tünelleme"yi açıkladı.

1928 Dirac, "görel elektron denklemini" ortaya attı.

1928-29 Nevill F. Mott, elektronların dalga-mekaniksel dağılım kuramını formüle etti.

1928-31 Felix Bloch, Léon Brillouin, Lothar Nordheim ve Rudolf Peierls, kristal örgüler içindeki atomlar üzerine ayrıntılı bir dalga mekaniği kuramı geliştirdi.

Çekirdek ve Temel Parçacık Fizikinde Elektron

1928 Dimitri Skobeltsyn, kozmik ışınlarda elektronların varlığını gösterdi.

1929-30 Pauli, β -bozunumunda enerji ve momentum korunumunu sağlamak için, yüksüz bir parçacık olan "nötrino"yu ortaya attı.

1931 Dirac görel elektron kuramındaki "deşik"leri, daha sonraları "pozitron" olarak adlandırılan, elektronun karşı parçacığıyla açıklama yoluna gitti.

1932 Nötron'un James Chadwick tarafından keşfi, atom çekirdeğinin bileşimi konusundaki en önemli probleme çözüm getirdi. Heisenberg üç ay sonra Mayista, nötron ve protonlar arasında değişim kuvvetleri olduğunu öne sürdü.

1932-33 Carl Anderson, kozmik ışınlarda pozitronun varlığını keşfetti. Fermi, elektron-nötrino çiftinin oluşumunu içeren, β -bozunumuna ilişkin kuantum alan kuramını sundu.

1934 Hideki Yukawa, daha sonraları mezon olarak adlandırılacak olan orta kütleli kuramsal parçacıkların değişimiyle ilişkilendirildiği çekirdek kuvvetleri kuramını öne sürdü. İlk kez, güçlü ve zayıf kuvvetler arasındaki farki net olarak ortaya koymuş oldu.

1936-37 Kozmik ışınlarda, orta kütleli yeni bir parçacık olan mezotronun keşfi gerçekleşti.

1938-39 Pauli, Markus Fierz ve Frederick Belinfante, yarı-tamsayı spin Fermi-Dirac istatistiği, tamsayı spin Bose-Einstein istatistiği ile birleştirerek, genel spin-istatistik kuramını geliştirdi.

1947 Cecil F. Powell ve çalışma arkadaşları, pi-mezonu (pion) keşfettiler.

1947-50 İlk renormalize edilmiş görel kuantum alan elektrodinamiği; Hendrik Kramers, Ernst C. G. Stueckelberg ve Sin-Itiro Tomonaga tarafından bulundu. Ön çalışmalar değerlendiren Julian Schwinger, Richard P. Feynman, Freeman Dyson, Abdus Salam ve John Ward tarafından oluşturuldu.

1956 Tsung-Dao Lee ve Chen Ning Yang zayıf etkileşimlerde parite (sağ-sol simetrisi) bozunumu öngörerek deney yapılmasını önerdiler. Parite bozunumu 1957'de kesinleşti.

1957-58 zayıf etkileşimlerin V-A kuramı adıyla anılan evrensel kuramı sırayla George C.G. Sudarshan, Robert E. Marshak, R. Feynman ve Murray Gell-Mann tarafından öne sürüldü.

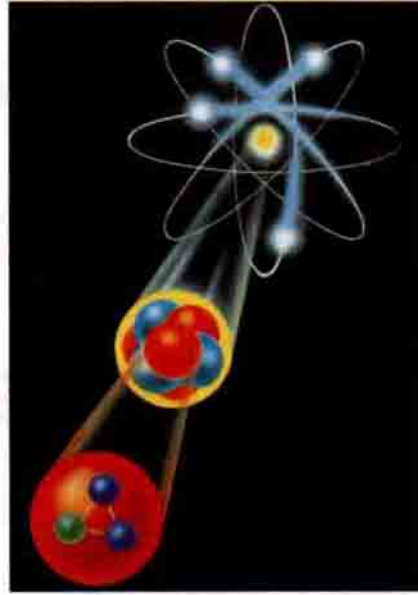
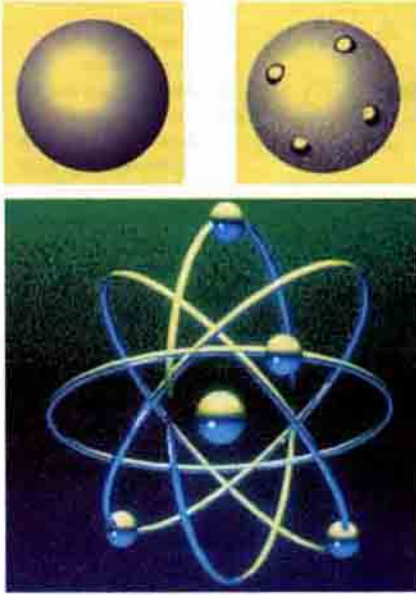
1962 Muon'la ilişkili ikinci bir tip nötrino Leon Lederman ve çalışma arkadaşları tarafından bulundu.

1964-71 Elektrodinamik ve zayıf etkileşimlerin (elektrozayıf etkileşimler) renormalize edilmiş ve birleştirilmiş bir kuramı, Peter Higgs, Sheldon Glashow, Steven Weinberg, Abdus Salam ve Gerard 't Hooft tarafından geliştirildi.

1973 Zayıf etkileşimde yüksüz akımlar CERN'de keşfedilerek elektrozayıf akımlar kuramı kanıtlandı.

1975 M. Perl ve çalışma arkadaşları elektron ve muon ailesinden sonra üçüncü bir tau-leptonu buldular.

1983-84 Zayıf ara bozonlar W^+ , W^- ve Z^0 CERN'de keşfedildi.



Değişen atom kuramı: Atom, elektronun keşfinden önce bölünemez bir temel yapıydı (sol üst). Thomson, elektronu keşfinden sonra "üzümlü kek" modelini öne sürdü (sağ üst). Atomun ağır bir çekirdeği olduğunu bulunmasıyla Niels Bohr klasik atom modelini ortaya attı (altta). Bugün atomun daha temel olarak kuarklardan oluştuğunu biliyoruz (yanda). Şekilde bu sembolik olarak gösterilmiştir.

lerce minik eksi elektrik yüklü parçacığın, kütsüz bir artı yük bulutunun içinde kümelenmiş bir yapıydı. Bu modele "üzümlü kek" adını vermişti. Bir süre sonra bu teorinin yanlış olduğu kendi öğrencisi olan Ernest Rutherford tarafından gösterildi. Rutherford, farklı parçacık demetleri kullanarak, atomun küçük bir çekirdeğe sahip olduğuna ilişkin kanıtlar buldu. Rutherford, atomun Güneş Sistemi'nin küçük bir benzeri olduğunu, yani ortada artı yüklü çekirdek ve etrafını çevreleyen birkaç elektrondan oluştuğunu öne sürdü. Bu çekirdeğin proton ve nötron adı verilen ve elektronlardan çok daha ağır olan parçacıklardan oluştuğu sonradan ortaya çıktı!

Elektronun bulunuşundan sonra, yanıtlanmamış çok soru kalmıştı. Fakat atomların elektron içerdiklerinin keşfinden sonra fizikçiler, atomun yapısı ile ilgili çalışmalara yöneldiler ve o günden bu yana çok önemli sonuçlar elde ettiler. Elektron, uzun bir liste oluşturan temel parçacıklardan yalnızca ilk keşfedileniydi. Daha sonraları fotonlar, muonlar, kuarklar ve daha pek çok atom-altı temel parçacık bulundu.

Bugün büyük hızlandırıcılarda bu türden sayısız parçacık deneyleri yapıyor ve bu deneyler sonucunda belki de evrenin yapısının açıklanmasına yardımcı olacak ipuçları aranıyor. Elektronlar, temel parçacıklar ailesinin yal-

nızca en iyi bilinen üyelerinden biri. Çok küçük boyutlardaki tüm bu parçacıkların yükleri, kütleleri var ve "spin" adı verilen ilginç özelliklere sahipler. Bu parçacıkların neden bu tür özelliklere sahip olduklarının açıklanması ise gelecek yüzyılın en önemli araştırma konusu...

Nedir Bu Elektron?

Elektron, bulunduğu dönemde, doğal olarak bir taneçik yani fiziksel bir nesne olarak düşünülmüştü. Dolayısıyla Newton yasalarıyla belirlenmiş yörüngeler çizmesi gerektiği sanılıyordu. Yüzyılımızın başında fizikçiler, bir atomun elektriksel temel bileşenlerden oluşumunu, tümüyle Newton mekaniğinin bir problemi biçiminde ele aldı. Bu görüş, çeşitli gezegensel modellerin geliştirilmesine yol açtı. Fakat, bu modellerden hiçbirisi elektronun özelliklerini tam olarak açıklayamadı.

Doğru modellerin ortaya çıkması ancak elektronu yalnızca parçacık değil aynı zamanda bir dalga olarak düşünmekle mümkün olabildi. İlk başlarda yalnızca bir varsayım olan bu düşünce deneylerle doğrulandı. Örneğin, 1927 yılında Thomson'un oğlu G. P. Thomson, bir dalga özelliği olan kırınım deneyini elektronlar ile gerçekleştirdi. Bu aynı zamanda, 1924 yılında Louis de Broglie'nin kuramsal olarak öne sürdüğü dalga-parçacık ikiliğinin de (duality) deneysel kanıtıydı. de Broglie bağlantısı, elektronunun λ ile ifade edilen karakteristik dalgaboyunu, bir parçacık özelliği olan ve p ile gösterilen momentumuna h Planck sabitiyle bağlayan $\lambda = h/p$ bağıntısıdır. Bu, atomun daha ileri ve karmaşık bir kuramı olan dalga mekaniğinin en önemli bağıntısıdır.

Dalga mekaniği teorisine göre, elektronlar çekirdeğin etrafında belli yörüngelere sahip değiller; uzayda belli bir noktada, elektronun bulunma olasılığını veren ve matematiksel olarak gösterilebilen bir dalga fonksiyonu ile ifade ediliyor. Yani, elektronun belli bir yörüngede bulunduğu ancak yüksek bir olasılıkla verilebiliyor. Buna göre eski teorideki kesinlik, dalga fonksiyonu ile belirlenen istatistiksel bir olasılığa dönüşüyor.

Kısacası elektron ne dalga ne de parçacıktır, aslında her iki niteliği bünyesinde birarada taşıyan bir kuantum

Süperiletkenlik

Elektronun keşfinin ortaya çıkardığı en önemli sonuçlardan birisi süperiletkenliğin bulunmasıdır. Elektrik akımı, yani elektronların akışı, iletken kablolar yardımıyla sağlanır. Fakat bu metal kabloların elektriksel dirençleri vardır ve akımın telden akması sırasında bu direnç nedeniyle enerjilerinin bir kısmı atık ısıya dönüşür. Süperiletken malzemelerde ise neredeyse hiç elektriksel direnç yoktur. Dolayısıyla elektrik akımı bir süperiletkenden hiç enerji kaybına uğramadan akabilir.

Süperiletkenliğin keşfi yüzyılımızın başlarında oldu. Danimarkalı fizikçi Kamerlingh-Onnes 1908 yılında mutlak sıfırın birkaç derece üstündeki sıcaklıklarda sıvı azotun elektriksel direncini ölçerken 4,2 "K'de direncin aniden sıfıra gittiğini gözledi. Daha sonraları, bu mükemmel iletkenliğe keskin geçişin başka metal ve alaşımlarda da olduğu bulundu ve bu olguya süperiletkenlik adı verildi.

Bir metal, özelliklerine bağlı olarak değişen ve geçiş sıcaklığı adı verilen belli bir sıcaklıkta süperiletken hale gelir. Örneğin çinko için bu sıcaklık 0,88 "K iken kurşun için 7,2 "K dir.

Süperiletkenlik olgusu elektronların davranışlarıyla belirlenir: Süperiletken bir metalin kristal örgüsündeki serbest elektronların, çarparlarındaki pozitif iyonlarla etkileşimleri örgüde kusurlara neden olur. Bunun sonucunda, normalde birbirlerini itmesi gereken elektronlar arasında dolaylı bir çekim kuvveti, dolayısıyla metal içinde elektron çiftleri oluşur. "Cooper Çiftleri" adı verilen bu elektron çiftlerinin saçılma ile birbirlerinden ayrılmaları zordur. Üstelik bu çiftlerin saçılmayı önleyici kuantum özellikleri de vardır. Bu çiftler süperiletkenliğin sorumlusudur. Çünkü metallerde elektriksel iletkenlik termelde saçılmaya bağlıdır; ne kadar az sayıda saçılma olursa metal elektriksel olarak o kadar iyi iletken hale gelir.

Süperiletkenlik olgusunun kuramsal olarak açıklanması yüzyılımızın ortalarında John Bardeen, Leon Cooper ve John Schrieffer isimli üç Amerikalı fizikçi tarafından yapıldı ve bu çalışmalarına Nobel ödülü kazandı.

nesnesidir. Bu, aslında klasik Newton fiziğinden kuantum mekaniğine geçişle açıklığa kavuşan önemli bulgulardan biri. Kuantum mekaniği, klasik düşünüşle yanıtı bulunamayan pek çok sorun gibi atom modeli için de doğru bir model geliştirdi. Buna göre elektronlar çekirdek etrafında gezegen benzeri sabit yörüngelerde bulunmuyorlar, yalnızca herhangi bir anda belli bir konumda bulunma olasılığıyla belirlenebilen bir dağılım sergiliyorlar. Yani elektron, çekirdeğin etrafında, bir yerde bulunma olasılığının yoğunluğuyla ayırt edici özellik kazanan bir nesne.

Elektronun kütlesi ve yükü dışındaki en önemli ayırt edici özelliği, klasik fizikte eşdeğeri bulunmayan ve vektörel bir büyüklükle ifade edilen "spin" adlı özgün manyetik momentidir. Bu da 1925 yılında Uhlenbeck ve Goudsmit isimli iki fizikçi tarafından öne sürüldü.

Bugün kabul edilen kuramın bize söylediği, elektronun doğal elektrik yükü taşıyan leptonlar sınıfından bir temel parçacık olduğu. Diğer temel parçacıklar gibi elektron da "pozitron" olarak adlandırılan bir karşıt parçacığa sahip. 9×10^{-31} kg lık kütlesiyle atomun diğer bir elemanı olan protondan yaklaşık 2000 kez daha hafif. Bir başka deyişle, minik bir tuz zerreciğinin milyon kere milyonda biri. Elektronun taşıdığı yük miktarı ise $1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb. Referans yük olarak kabul edilen bu niceliğe 1 elektrostatik yük birimi denir.

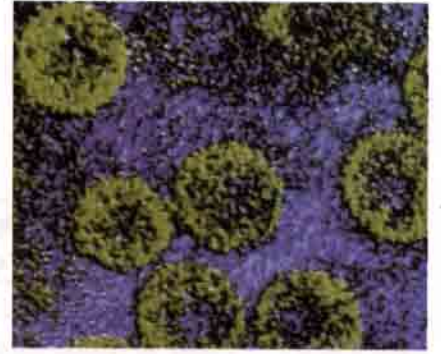
Elektronun bulunduğu günden bu yana, fizikte kuramsal birçok konu oluştu ve kuantum mekaniği, antimadde kuramı gibi 20. yüzyılın çoğu ku-



ramları da çağdaş elektron kavramı üzerine kuruldu.

Modern Teknoloji ve Elektron

Fizikte, kimyada, mühendislikte ve iletişimde yaşanan gelişmelerin temeli elektronun bulunmasına dayanıyor demek pek yanlış sayılmaz. Elektronun modern teknolojiye kazandırdığı en büyük atılım "elektronik" devrimdir. Atomun yapısı ve elektronun bundaki rolünün anlaşılması, bilim adamlarının belli elementler, kimyasal maddeler ve malzemeler hakkında yepyeni bilgiler edinmesini sağladı. Özellikle, bir elementin başka bir elementle elektron alışverişi sonucunda, malzemelerin elektriksel iletkenlik özelliklerini değiştirebileceğinin keşfi, yarı-iletken teknolojisi ile transistörler ve mikroçip-



Elektron mikroskobu optik mikroskoplarla benzer ilkeyle çalışır. Ancak burada farklı olarak ışık yerine elektron demetleri kullanılır ve bu demetler cam mercekler değil mıknatıslar tarafından odaklanır. Elektron mikroskoplarının en önemli avantajı çok iyi çözünürlük sağlaması ve optik mikroskoplardan çok daha fazla büyütebilme özelliği olmasıdır.

ler gibi elektronik aygıtların gelişmesini olanaklı kıldı. Bu, yüzyılımıza damgasını vuran "elektronik" devrimini beraberinde getirdi.

Telefon, radyo, televizyon, bilgisayar ve daha pek çok aygıt varlıklarını elektron ve onun hareketine borçlular. Çünkü bu aygıtların çalışmasını sağlayan elektrik adını verdiğimiz şey, elektronların kablolar aracılığıyla taşınmasından başka bir şey değil.

Elektronun kimya bilimindeki rolü de küçümsenemez. Atomun yapısının anlaşılmasıyla farklı atomlar, dolayısıyla farklı elementlerin varlığı ortaya çıktı. Bu elementlerin bulunup sınıflandırılmasıyla kimyacılar farklı elementlerin atomlarını biraraya getirerek yeni malzemeler üretme şansına sahip oldular. Bugün kullandığımız modern plastikler, polimerler ve ileri teknoloji ürünü malzemeler tüm bu çalışmaların sonucudur.

Kuşkusuz örnekler daha uzatılabilir. Ancak buna dergimizin sayfaları yetmez. Yüzyıl önce keşfedilen elektron adlı bu minik parçacığın yaşamımıza olan etkilerini görmek için yalnızca bulunduğumuz yerden etrafımıza bir göz atmak yeterli. Eğer elektron hakkındaki bilgilerimiz olmasaydı, bugünkü yaşamımız çok daha farklı olacaktı.

İlhami Buğdaycı

Konu Danışmanı: Tekin Dereli
Prof. Dr., ODTÜ Fizik Bölümü

Kaynaklar
The World Book Encyclopedia of Science, *Physics Today*, Chicago 1992
Rehrenberg, H., "Electron in Physics", *European Journal of Physics*, Şubat 1997
Sagré, E., *X-ışınlarından Kuarklara*, Çeviri: Çağlar Tıncaç, İstanbul 1995
www.aip.org

