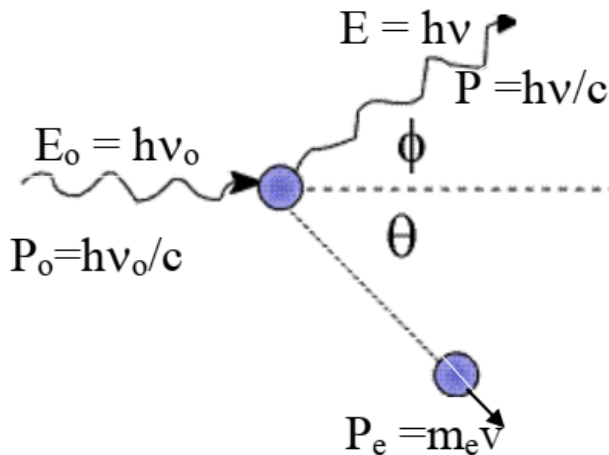


Compton Saçılması

Bir elektronla esnek olmayan etkileşmeye giren yüksek enerjili bir X-ışını fotonunun enerjisinde azalma meydana gelmesi ilk defa 1923 yılında A. H. Compton tarafından gözlemlendiğinden Compton Saçılması olarak adlandırılmıştır. Elbette ki etkileşmeden önce elektron serbest halde değil atoma bağlı durumdadır. Ama fotonun enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden çok yüksek ise, bağlanma enerjisi göz ardı edilip elektronun serbestmiş gibi düşünülebilir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi serbest bir elektron üzerine $h\nu$ enerjili ve $\frac{h\nu}{c}$ momentumlu bir foton düştüğünde, foton geliş doğrultusundan bir ϕ açısı ile ve daha düşük frekansta saçılırken, serbest hale geçen elektronda fotondan kazandığı bir p momentumu ile fotonun geliş doğrultusuyla bir θ açısı yapacak şekilde serbest olarak yoluna devam eder.

Bu olayın önemli sonuçlarından biri elektromanyetik ışımının sadece dalga modeli ile açıklanamayacağını göstermesidir. Yüklü parçacıkların elektromanyetik ışımaya maruz kaldıkları zaman saçılmasını açıklayan klasik teori gelen ışının dalga boyunda bir değişim öngörmemektedir (Thomson Saçılması, elastik saçılma). Böylesine sıra dışı bir sonuç ışığın parçacık gibi davranmasını gerektirmektedir. Compton' un deneyi ışığın, enerjisi frekansıyla orantılı olan bir *parçacıklar* fırtınası gibi davrandığını göstermektedir.

Yüksek enerjili fotonlarla elektronların etkileşmesi sonucu enerjinin bir kısmı elektrona aktarılıp onun saçılmasına yol açarken geldiğinden farklı bir doğrultuda saçılan foton enerjinin geri kalan kısmını alır. Bu saçılma hadisesi elbette ki momentum ve enerji korunumu yasalarına uygun şekilde gerçekleşir. Bu iki temel yasa ile beraber momentumun ve enerjinin rölativistik tanımı ve Planck'ın enerjii frekansa bağlayan yasası kullanılırsa son dalgaboyunu veren formül kolayca türetilir:



Enerjinin korunum kanunu:

$$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

Momentumun korunum kanunu:

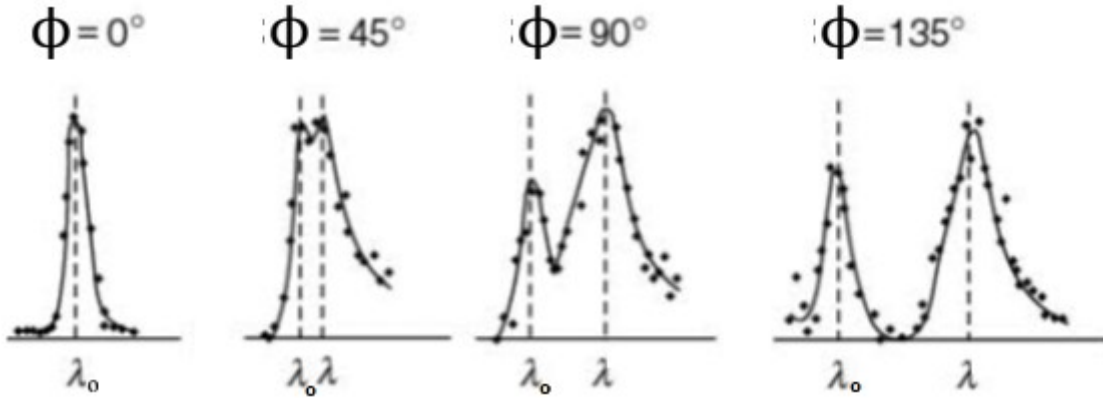
$$\frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos\phi + \frac{m_0v}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \cos\theta \quad \text{and} \quad \frac{h\nu_0}{c} = \frac{h\nu}{c} \sin\phi - \frac{m_0v}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \sin\theta$$

Bu eşitlikte ki ν_0 : gelen fotonun frekansı; ν : saçılan fotonun frekansı; h : Planck sabiti ($6,626068 \times 10^{-34}$ J.s); m_0 : elektronun durgun kütlesi ($9,10938188 \times 10^{-31}$ kg); c : ışık hızı ($2,99792458 \times 10^8$ m/s) ve ϕ : fotonun geliş doğrultusundan sapma açısıdır. Gelen ve saçılan fotonların momentumları sırasıyla $h\nu_0/c$ ve $h\nu/c$ elektron başlangıçta durgun kabul edildiğinden momentumu sıfır saçıldıktan sonraki momentumu mv , $m = \frac{m_0v}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$, durgun kütle enerjisi m_0c^2 ve saçıldıktan sonraki enerjisi ise $mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$ dir.

Bu enerji ve momentum korunumu eşitliklerindeki elektronun hızı v ve saçılma açısı θ yok edilerek gelen ve saçılan fotonun dalga boyları arasında aşağıdaki bağıntı elde edilebilir.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos\phi) = 2,426(1 - \cos\phi) \text{ pm}$$

Bu ifadeye Compton dalga boyu ismi verilir ve 2,43 pm değerine sahiptir.



Farklı saçılma açılara karşılık gelen Compton kayması, $\Delta\lambda = 2,426(1 - \cos\phi) \text{ pm}$, şekilde görüldüğü gibi Compton tarafından deneysel olarak ölçülmüştür. Compton bu deneyde karbon hedefe çok zayıf bir şekilde bağlanmış olan elektrondan x-ışınlarının saçılmasını karbon hedefine gelen x-ışını demeti ile elektron arasında bir enerji ve momentum transferi şeklinde açıklamıştır. Bu çalışmasıyla, Compton 1927 de fizik alanında Nobel ödülünü almıştır.

Parçacık Dalga İkilemi

Einstein, ışık fotonlarının doğrusal bir momentuma sahip olduğunu ileri sürmüş, fotonların atom ile etkileşimlerinde soğurulmalar veya yayınlanmalar olabilmesi için atoma enerji ve momentum aktarılması gerektiğini söylemiştir. Compton, bir karbon hedefe X-ışınları gönderdiğinde, elektrona çarpıp saçılan X-ışınlarının şiddetini ve dalga boyunu ölçerek saçılmanın klasik dalga teorisi ile açıklanamayacağını gösterdi. Bohr' da atomik bir yörüngede hareket eden elektronun açısal momentumunun her bir yörünge için sabit olduğunu hipotezi ($J=rp=nh/2\pi$) bilim dünyası tarafından kabul görmüştü. Çift yarıkli Young deneyi göstermiştir ki iki dalga arasında yapıcı bir girişim olmasa bu dalgalar birbirini yok ederler.

1924 yılında De Broglie, yukarıda bahsettiğimiz hipotezleri kullanarak şu varsayımda bulundu: tanecik ve dalganın birbirinden bağımsız olmayıp birbirlerini tamamlayan parçalar olduğu. Bir başka deyişle hareket halindeki taneciklere dalgalar eşlik eder. Bu iki niceliği birbirine bağlayan bir ifadeyi daha önce kabul görmüş teorilerden elde etmiştir. Bunlar:

Einstein'ın madde ve enerji ile ilgili ünlü denklemini kullandı:

$$E = mc^2 = pc \sqrt{1 + \left(\frac{m_0 c^2}{pc}\right)^2}$$

Burada m_0 parçacığın durgun kütlesi m is hareket halindeki kütlesi, p parçacığın momentumu ($p = mv$) ve c ışık hızıdır. Eğer parçacık çok yüksek hızlarda hareket ediyorsa $\frac{m_0 c^2}{pc} \ll 1$ olacağından

$$E = mc^2 = pc$$

Eşitliği elde edilebilir. Bu eşitliğe göre enerji ve kütle özdeşdir yani dalgalar gibi parçacıklarda enerji taşır. Planck teorisine göre bu enerji $h\nu$ ye eşittir (de Broglie göre parçacıkların ve dalganın aynı özelliklere sahip olacağından iki enerji aynı olacaktır):

$$E = h\nu = mc^2 = pc$$

Düzenleme yaparsak $p = h\nu/c = h/(c/\nu) = h/\lambda$ veya $\lambda = h/p$ eşitliği elde edilir ve de Broglie dalgası olarak adlandırılır.

de Broglie' ye göre kapalı bir yörüngede hareket eden elektronun yıkıcı bir girişime uğramaması için hareket ettiği yörüngenin çevresi ($2\pi r$) elektrona eşlik eden dalganın katları şeklinde olmalıdır:

$$2\pi r = n \lambda, n = 1, 2, 3, \dots$$

Yukarıdaki eşitlikteki $\lambda = h/p$ ifadesini bu son eşitlikte yerine yazarsak:

$2\pi r = n\lambda = nh/p$ olur. Bu eşitliği yeniden düzenlersek $rp = nh/2\pi = n\hbar$, eşitliğini elde ederiz bu da Bohr'un önemli varsayımlardan biri olan açısal momentumun kuantlaşmış olması varsayımıdır.

$$J = rp = n\hbar$$

De Broglie hipotezi nedeniyle Fizik alanında Nobel almış olmasına rağmen, varsayımı için gerçek bir deneysel kanıt yoktu. 1927'de Clinton J. Davisson ve Lester H. Germer, elektron partiküllerini nikel kristaline vurdu. Gördükleri, elektronun kristallere karşı dalga kırınımına benzer kırınımıdır. Aynı yıl, bir İngiliz fizikçi olan George P. Thomson, Davisson ve Germer benzer deneysel çalışmalar yaparak elektronların $\lambda = h/p$ dalgaboyuna sahip dalgaların eşlik ettiğini göstermiştir.

Bununla birlikte elektrona eşlik eden dalganın büyüklüğü hakkında $p = h/\lambda$ eşitliğinde bir düzenleme yaparak bilgi sahibi olabiliriz. Bu eşitliğin pay ve paydasın elektrona eşlik eden v' hızına sahip dalganın frekansı ν ile çarparsak

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{\lambda\nu} = \frac{mc^2}{v'}$$

eşitliği elde edilir. Burada $p = mv$, $h\nu = mc^2$, $\lambda\nu = v'$ dir. v ve v' sırasıyla elektronun ve elektrona eşlik eden dalganın hızlarıdır. Dolayısıyla

$$p = mv = \frac{mc^2}{v'} \text{ veya}$$

$$v \cdot v' = c^2$$

olduğu sonucuna ulaşırız. Burada elektronun hızı ışık hızından küçük olacağına göre, $v \cdot v' = c^2$ eşitliği gereği elektrona eşlik eden dalganın hızı ışık hızından büyük olmak zorundadır ($v < c$ ve $v' > c$).

Kaynaklar

[1] Prof. Dr. Fevzi KÖKSAL, Doç. Dr. Rahmi KÖSEOĞLU, "Kuantum Kimyası", Nobel Yayınları, 2012

[2] Prof. Dr. Fevzi KÖKSAL, "Kuantum Kimyası ve Fiziğinde Problemler ve Çözümleri", Nobel Yayınları, 2012

[3] Prof. Dr. Mustafa Cebe, "Kuantum Kimyası", Dora Yayıncılık, 2012

[4] Cemil Şenvar, "Atom, Molekül ve Çekirdek", Hacettepe Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 1982.

[5] John R. Taylor, Chris Zafaritos,(Çeviri editörü; Bekir Karaoğlu), "Fizik ve Mühendislikte Modern Fizik", ARTe Güven Yayınları, İstanbul, 1996.