

FZM 305: Kuantum Mekanikası I

1. HAFTA

Deniz Yılmaz

KAYNAKLAR

Bu ders sunumu hazırlanırken aşağıdaki kaynak kullanılmıştır:

Kuantum Mekanii ve Atom Fiziđi Ders Notları

Z. Zekeriya AYDIN

Ankara Üniversitesi

KUANTUM TEORİSİNE YOL AÇAN DENEY ve MODELLER

19. yüzyılın sonlarına doğru, bilinen Klasik Fizik teorilerinin tüm fiziksel olayları açıklamakta yeterli olduğuna inanılıyordu. Fiziksel olaylar parçacık olayları ve dalga olayları olmak üzere ikiye ayrılabilir; bunları Newton mekaniği ile ve elektromanyetik teoriyle yani dalga teorisiyle incelemek mümkün oluyordu.

Fakat 1900' lerde ortaya çıkan bazı olaylar, klasik fizik ile anlaşılamiyordu. Böylece klasik fiziğin yetersizlikleri ortaya çıkmaya başlamıştı. Bu durum **Kuantum Fiziğinin** ortaya çıkıp gelişmesine yol açmıştır.

Kuantum teorisi, atomik ölçekte meydana gelen olayları inceler; madde ve ışığın, 10^{-8} cm' den daha küçük boyutlu kısımlarına bakıldığında ortaya çıkan görünümü betimler.

Kuantum teorisine yol açan olay ve deneyler:

I. Işığın parçacık niteliğini içeren olay ve deneyler:

- a) Siyah cismin ışıması (Planck, 1900)
- b) Fotoelektrik olay (Einstein, 1905)
- c) Compton saçılması (Compton, 1923)

II. Fiziksel niceliklerin kesikli (kuantumlu) değerlere sahip olmasını içeren olay ve deneyler:

- d) Katıların öz ısıları (Einstein, 1907; Debye, 1912)
- e) Spektroskopik seriler (Balmer, 1885; Ritz, 1908)
- f) Franck-Hertz deneyi (Franck ve Hertz, 1913)
- g) Rutherford deneyi (Rutherford, 1911)
- h) Bohr modeli (Bohr, 1913)
- ı) Stern-Gerlach deneyi (Stern ve Gerlach, 1922)

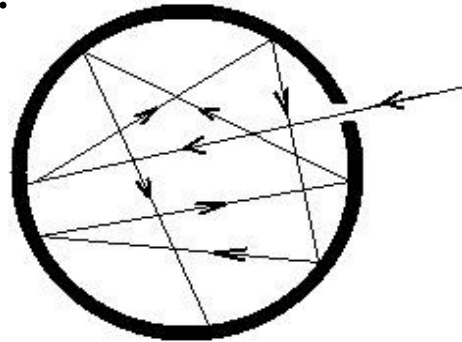
III. Elektronların dalga niteliğini içeren model ve deneyler:

- i) de Broglie modeli (de Broglie, 1924)
- j) Elektronlarla kırınım deneyi (Davisson ve Germer, 1927; Thomson, 1928)

Siyah Cismin Isıl Işınımı

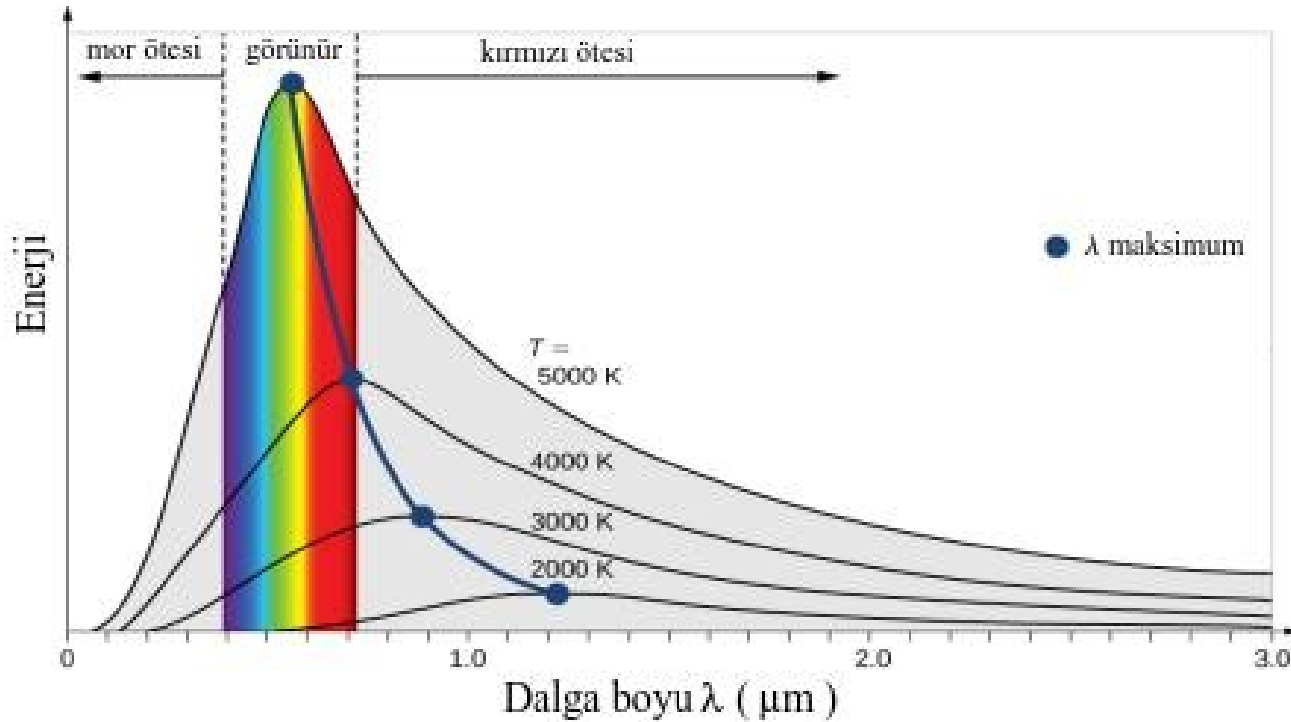
Her frekansta ışınım salabilen ve her frekanstaki ışınımları soğurabilen sistemlere **siyah cisim** denir.

Herhangi bir maddesel blok içinde yer alan kapalı bir kovuk, siyah cisme iyi bir örnektir. Böyle bir kovuğun iç duvarları belirli bir T sıcaklığında tutulursa, duvarlar sürekli olarak mümkün olan her frekansta ve her doğrultuda elektromanyetik ışınım salar; fakat kovuk içerisindeki ışınımın enerjisi devamlı olarak artmaz. Çünkü içerideki ışınımın şiddeti arttıkça, içerideki ışınımın duvarlar tarafından soğurulma olasılığı da artar.



Siyah cisim, bütün dalga boyları için ideal bir ışınım soğurucu ve ideal bir ışınım salıcıdır.

Kovuk içindeki ışınımı gözlemek için, duvardan dışarıya bir küçük delik açılır. Bu delikten dışarı alınan ışınım, dalga boyuna göre kırılma indisi neredeyse hiç değişmeyen bir CaF_2 (kalsiyum florür) prizmasıyla çeşitli frekanslardaki bileşenlerine ayrılırsa, sürekli bir spektrum elde edilir.



$$T \lambda_{\text{maks}} = 0.2898 \text{ cm K}$$

Bu dağılım eğrisini izah etmek için o zamanlarda ortaya atılmış iki teorik formül vardı: Rayleigh-Jeans ve Wien formülü.

Wien' in enerji yoğunluk dağılımı:

Wien, termodinamik tartışmaları kullanarak, Stefan-Boltzman yasasını aldı ve onu yayınlanan karacisim ışınması enerji yoğunluğunu elde etmek için genişletti:

$$U(\nu, T) = A\nu^3 e^{-\beta\nu/T}$$

burada, A ve β ampirik olarak tanımlanan parametrelerdir (deneysel verilere uyacak şekilde ayarlanabilir).

Wien' in formülü küçük dalga boyu bölgesinde geçerlidir.

Rayleigh-Jeans enerji yoğunluk dağılımı:

Rayleigh kovuk içerisindeki elektromanyetik ışınımın doğasını anlamaya çalıştı. Buna göre kovuk içerisindeki dalgalar durağan olmalıdır. Işınım alanı her bakımdan, basit harmonik titreşiciler topluluğu gibi davranır.

Kovuktan yayılan ışınımın ortalama enerjisi her bir titreşicinin ortalama enerjisi ile frekansları ν ile $\nu + d\nu$ arasında olan kip sayısının çarpımı ile elde edilir (Rayleigh-Jeans formülü):

$$N(\nu) = 8\pi\nu^2/c^3$$

$$\langle E \rangle = kT$$

$$U(\nu, T) = N(\nu) \langle E \rangle = (8\pi\nu^2/c^3)kT$$

Rayleigh-Jeans' in formülü büyük dalga boyu bölgesinde geçerlidir.

Planck' in enerji yoğunluk dağılımı:

Max Planck önce deneme yoluyla düşük ve yüksek frekans limitlerinde Wien ve Rayleigh-Jeans formüllerini veren ve orta bölgede de deneysel eğrilerle uyuşan bir ampirik formül buldu. Daha sonra ise bulduğu ifadeye teorik bir neden aradı ve ifadeyi elde edebilmek için şu üç koşulun benimsenmesinin zorunlu olduğunu gördü:

- Bir çizgisel harmonik titreşicinin enerji düzeyleri sürekli değil, kesikli olmalıdır: $\varepsilon_0=0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n, \dots$
- Bu enerji düzeyleri eşit aralıklı olmalıdır: $\varepsilon_n = n\varepsilon_1$
- Ardışık iki enerji düzeyi arasındaki fark, titreşicinin ν frekansının bir katı olmalıdır: $\varepsilon_n = C_2\nu$ (burada C_2 katsayısı artık h ile gösterilir ve Planck sabiti olarak adlandırılır).

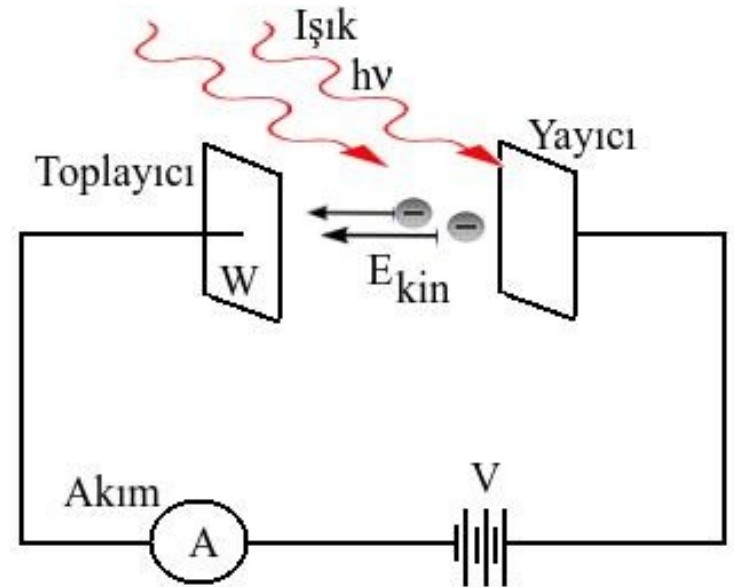
$$U(\nu, T) = N(\nu) \langle E \rangle = (8\pi\nu^2/c^3) (h\nu / (e^{-h\nu/kT} - 1))$$

Fotoelektrik Olay

Temiz bir metal yüzey üzerine ışık düşürüldüğünde, metal yüzeyden elektronlar sökülür. Metalden metale değişen bir eşik frekansı vardır ve ancak bu eşik frekanstan daha yüksek frekanslı elektromanyetik ışınım elektron sökebilmektedir. Bu olaya **fotoelektrik olay** denir.

* Işınımın frekansı sabit tutulup şiddeti artırılırsa, sökülen fotoelektronların sayısı artar ama kinetik enerjileri değişmez.

* Işınımın şiddeti sabit tutulup frekansı artırılırsa, sökülen fotoelektronların kinetik enerjileri artar ama foto-elektron akımı değişmez.



$$h\nu = W + E_{kin}$$

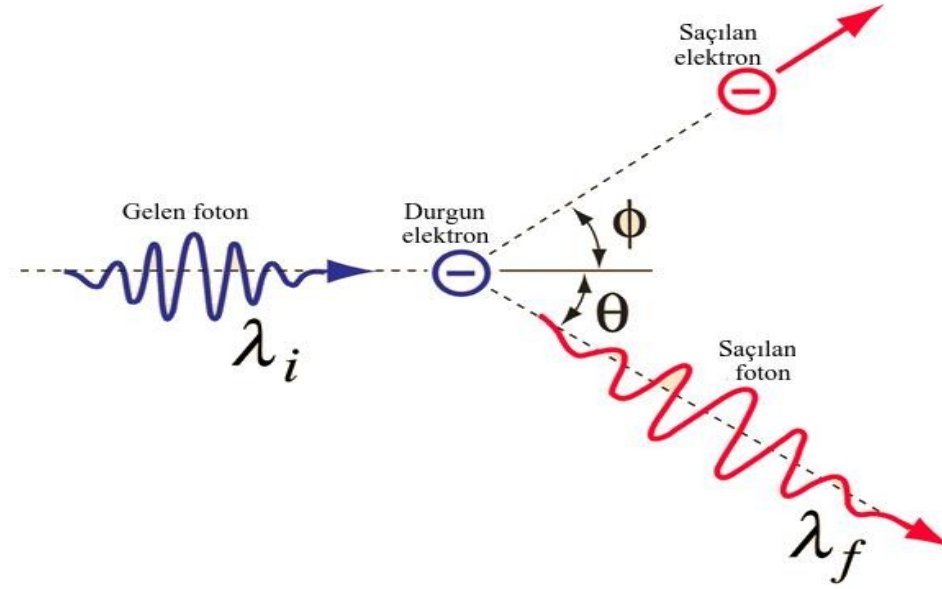
Compton Saçılması

Işınının parçacık doğasının en dolaysız kanıtını **Compton olayı** verir. Compton 1923' te molibdenyumdan elde edilen 20 keV enerjili X-ışınlarının hafif elementli metal yapraklardan saçılmasını inceledi.

Klasik teoriye göre saçılan ışınım gözlem açısına göre şiddet dağılımı $(1 + \cos^2\theta)$ gibidir.

Compton' un yaptığı deneylerde ise saçılan ışınım, verilen bir θ açısında iki farklı dalgaboyuna sahipti. Bunlardan biri gelen X-ışınının dalgaboyuna eşit idi; diğeri ise daha büyük olup $(1 - \cos\theta)$ şeklinde θ saçılma açısına bağlıydı.

Compton, gelen ışınımı $E = hv$ enerjili ve $p = hv/c$ çizgisel momentumlu bir foton demeti (dalga paketi) olarak ele alıp, tıpkı bilyardo topları gibi, bir fotonun bir elektronla esnek çarpışma yaptığını düşünerek deney sonucunu doğruladı:



$$\lambda_f - \lambda_i = \Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta)$$

$h/m_0 c = 2.4 \times 10^{-10}$ cm : elektronun Compton dalgaboyu.