

## 5.111 Ders Özeti #4

**Bugün için Okuma:** Bölüm 1.5 (3. Baskıda 1.3), Bölüm 1.6 (3. Baskıda 1.4 )

**Ders #5 için Okuma:** Bölüm 1.3 (3. Baskıda 1.6 ) – Atomik Spektrumlar, Bölüm 1.7 de eşitlik 9b ye kadar (3. Baskıda Bölüm 1.5 de eşitlik 8b ye kadar) – Dalga Fonksiyonları ve Enerji Seviyeleri, Bölüm 1.8 (3. Baskıda 1.7) – Baş Kuantum Numaraları

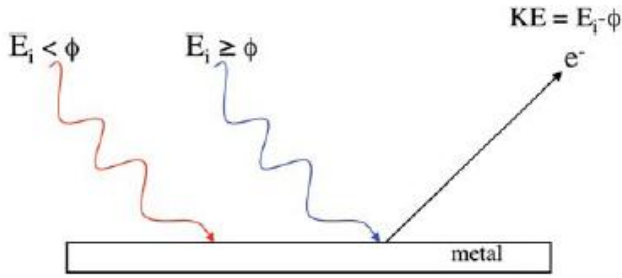
---

**Konular:** I. Parçacık olarak ışık  
A) fotoelektrik etki  
B) foton momentumu  
II. Dalga olarak madde  
III. Schrödinger eşitliği

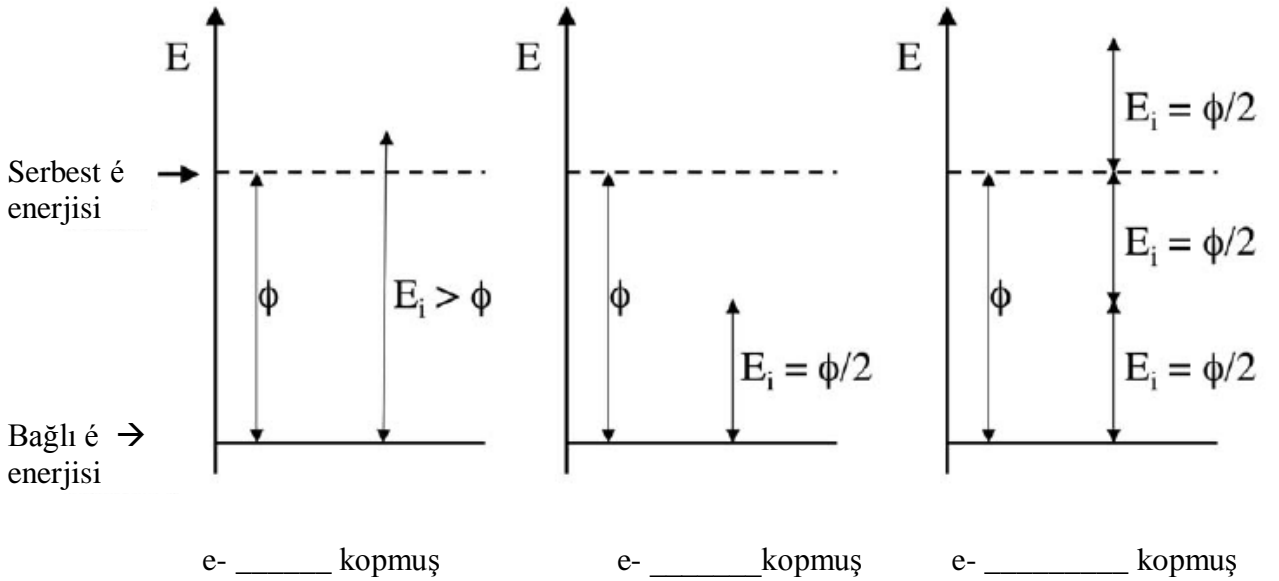
---

### I. PARÇACIK OLARAK IŞIK

#### A) Fotoelektrik Etki (Ders #3' den devam)

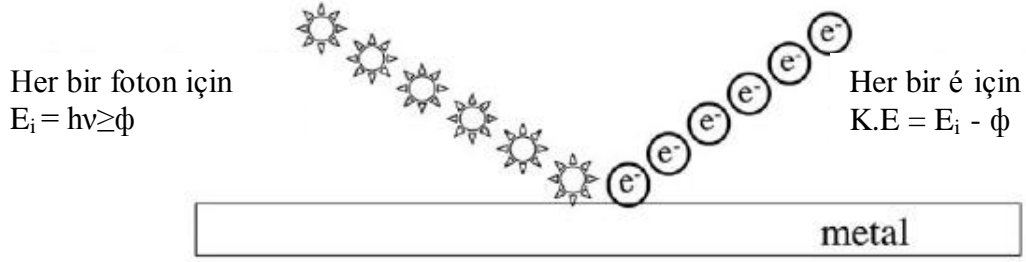


Gelen fotonun enerjisi ( $E_i$ ), elektronun kopartılması için, metalin iş fonksiyonuna ( $\phi$ ) eşit veya daha büyük olmalıdır.



Energileri  $\phi/2$  ye eşit olan üç tane foton bir elektron KOPARAMAYACAKTIR!

Metal yüzeyinden kopan elektronların sayısı, fotonların enerjisi ile değil, metal ( $E_i \geq \phi$  kabul edin) tarafından soğurulan fotonların \_\_\_\_\_ ile orantılıdır.



- Işık **şiddeti (I)** (enerji/s) bir saniyede kopan foton sayısı toplamı ile orantılıdır.
- Yüksek şiddet, daha fazla \_\_\_\_\_ anlamına gelir, daha fazla \_\_\_\_\_ DEĞİL.

Şiddet birimi (I) :  $W =$  \_\_\_\_\_

#### Foton ve elektron içeren problemleri çözerken yardımcı olacak terminolojiler:

- **fotonlar:** ışık da denir, elektromanyetik ışıma,, vs.  
\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, veya \_\_\_\_\_ ile tanımlanabilir.
- **elektron:** fotoelektron da denir.  
\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, veya  $\lambda$  ile tanımlanabilir. (bugünkü notlarda bölüm II ye bakınız)
- **eV** enerji birimidir =  $1.6022 \times 10^{-19}$  J.

#### ŞİMDİ SINIFTA FOTOELEKTRİK ETKİ DENEYİ YAPILACAKTIR:

Metal yüzey: Zn,  $\phi =$  \_\_\_\_\_

Gelen ışık kaynakları:

- 254 nm  $\lambda'$  ya sahip UV lambası
- Kırmızı lazer ışını ( $\lambda = 700$  nm)

Önce, Zn plaka yüzeyinden elektron koparmak için UV veya kırmızı ışığa ait tek bir fotonunun enerjisinin yeterli olup olmadığını saptamak amacıyla şu problemi çözelim. Kalibrasyon için, ışık demetindeki fotonların sayısını da hesaplayacağız.

İki ışık kaynağını düşünelim: bir UV lambası ( $\lambda = 254$  nm) ve bir kırmızı lazer ( $\lambda = 700$  nm).

- 1) UV lambasından yayımlanan bir fotonun enerjisi nedir?
- 2) Kırmızı lazerden yayımlanan bir fotonun enerjisi nedir?
- 3) Şiddeti (I)= 1.00 mW olan lazerden 60 s içinde yayımlanan toplam foton sayısı nedir?

1) UV lambasından yayımlanan bir fotonun enerjisi nedir?  $\lambda = 254 \text{ nm}$

$$E = \text{_____} \quad v = \text{_____} \quad E = \text{_____}$$

$$E = \text{_____} \quad E = \text{_____}$$

UV lambası çinko plaka yüzeyinden elektron koparmak için \_\_\_\_\_ yeterli enerjiye sahiptir (Zn'nun  $\phi = 6.9 \times 10^{-19} \text{ J}$ ).

2) Kırmızı lazerden yayımlanan bir fotonun enerjisi nedir?  $\lambda = 700 \text{ nm}$

$$E = \text{_____}$$

$$E = (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js})(2.998 \times 10^8 \text{ m/s}) \quad E = \text{_____}$$

\_\_\_\_\_

Kırmızı lazer çinko plaka yüzeyinden elektron koparmak için \_\_\_\_\_ yeterli enerjiye sahiptir (Zn'nun  $\phi = 6.9 \times 10^{-19} \text{ J}$ ).

3) Şiddeti (I) 1.00 mW olan lazerden 60 s içinde yayımlanan toplam foton sayısı nedir? 1.00 mW =  $1.00 \times 10^{-3} \text{ J/s}$

$$1.00 \text{ mW} = 1.00 \times 10^{-3} \text{ J/s}$$

$$\frac{1.00 \times 10^{-3} \text{ J}}{\text{s}} \times \text{_____} \times \text{_____} =$$

Işık şiddeti \_\_\_\_\_ fotonların enerjisi ile ilişkilidir. Işık şiddeti foton **sayısı** ile ilişkilidir.

**IŞIK HEM BİR DALGA HEM DE KÜTLESİZ BİR PARÇACIKTIR.** Einstein, bize her iki tanımın (dalga ve parçacık) bir çelişki olmaksızın bir arada bulunabileceğini göstermiştir.

## B) FOTON MOMENTUM

Işık bir parçacık akımı ise, bu parçacıkların her biri bir momentuma sahip olmalıdır. Einstein, hareketin göreceli bağıntılarını kullanarak, bir fotonun, sıfır kütleyle sahip olmasına rağmen, momentuma sahip olacağını göstermiştir!

$$p = hv/c \quad \text{ve} \quad \text{o halde} \quad c = \lambda v \quad p = \text{---}/\text{---}$$

Foton momentum gözlemi (Arthur Compton, 1927 Nobel ödülü) ışığın parçacık gibi davrandığının diğer bir kanıtıdır.

## II. DALGA OLARAK MADDE

**1924 Louis de Broglie** (Doktora tezi ve 1929 Nobel Ödülü!) ışığın dalga ve parçacık özelliklerine sahip oluşuna benzer şekilde, maddenin (elektronlar) de hem parçacık hem de dalga gibi davranabileceğini önerdi. de Broglie, Einstein'ın fotonun momentumu ( $p$ ) =  $h/\lambda$  fikrini kullanarak, şunu önerdi:

$$\text{Bir parçacığın dalga boyu} = \lambda = \frac{h}{p} \quad \begin{array}{l} h = \text{Planck sabiti} \\ m = \text{parçacık kütlesi} \\ v = \text{parçacık hızı} \end{array}$$

$$mv = \text{doğrusal momentum (p)} \quad \text{o halde} \quad \lambda = \frac{h}{(mv)}$$

madde dalgası için **de Broglie** dalgaboyu

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{(mv)}$$

Madde dalgalarının önceden niçin gözlenmediğini düşünmek için bir hesaplama yapalım.

94 mil/saat (\_\_\_ m/s) hızla kaleye doğru gelen 5 oz (0.142 kg) ağırlığında bir beyzbol topu düşünelim.

$$\lambda = \text{---} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ s}}{(\quad)(\quad)}$$

$$\text{Not: } J = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

$\lambda = \text{---}$  ölçülemeyecek kadar küçük!!!

Şimdi  $1 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$  hızla hareket eden **elektronun** ( $9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )  $\lambda$ 'sını düşünelim:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^2\text{s}}{(9 \times 10^{-31} \text{ kg}) \times (1 \times 10^5 \text{ ms}^{-1})}$$

$\lambda = \text{_____ m} = \text{_____ \AA}$ . Bu  $\lambda$ ' yı, atomun çapı ( $1-10 \text{ \AA}$ ) ile mukayese edin!

**Clinton Davisson ve Lester Germer** (1925) Ni kristalini kullanarak elektronları kırınıma uğrattı ve kırınım desenlerinin oluştuğunu gözledi. Böylece elektronun dalga özelliği doğrulandı.

**G.P. Thomson** da benzer bir keşif yaptı. Oldukça ince altın folyodan geçen elektronların kırınım desenleri oluşturduğunu gösterdi. 1937 Nobel Ödülünü Davisson ile paylaşan Thomson şunu gösterdi:

**ELEKTRONLAR HEM DALGA HEM DE PARÇACIK ÖZELLİĞİNE SAHİPTİR.**

Parçacıklar elektron gibi dalga özelliğine sahipse, bir elektronun hareket denklemini nedir?

### III. SCHRÖDINGER EŞİTLİĞİ

Mikroskobik parçacıkların, elektronlar gibi,  $\lambda$  larının büyüklüğü çevrelerindeki büyüklüklere yakın olduğu için klasik dalga eşitliğine uymazlar. Elektronların davranışını tanımlamak için dalga özelliği dikkate alınmalıdır.

**1927 Erwin Schrödinger** parçacıklar için (elektron gibi) bir hareket eşitliği yazdı. Bu eşitlik onların dalga özelliğini açıklayabildi.

Schrödinger eşitliği

$$\hat{H}\psi = \psi E$$

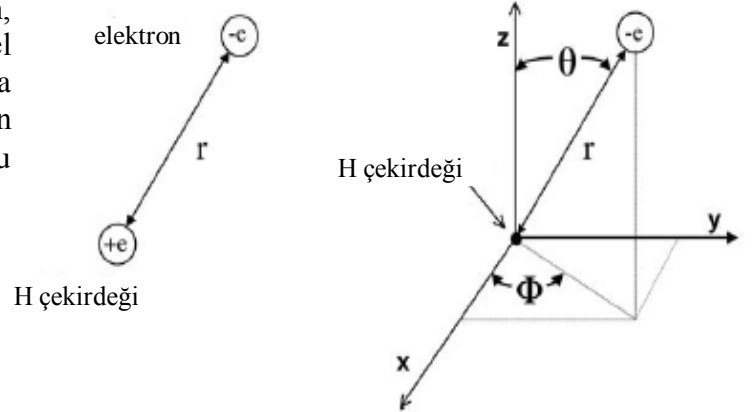
$\psi =$  dalga fonksiyonu (parçacığı tanımlar)

$$E = \text{_____}$$

$$\hat{H} = \text{_____}$$

H atomunda, potansiyel enerji  $r$  değişkeninin, yani bir uzaklığın, bir fonksiyonudur. Küresel polar koordinatlar kullanılarak eşitlik daha basit hale getirilebilir. H atomundaki bir  $e^-$  nun dalga fonksiyonu  $r$ ,  $\Theta$  ve  $\Phi$  nin bir fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$\psi(r, \Theta, \Phi)$$



H atomu için Schrödinger eşitliği:

$$\hat{H}\Psi(r,\theta,\Phi) = E \cdot \Psi(r,\theta,\Phi)$$

Hamiltonian operatörü                      Elektron için bağlanma enerjisi                      Elektron için dalga fonksiyonu

burada

$$\hat{H} = \frac{-\hbar^2}{2m_e} \left[ \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{d}{dr} \right) + \frac{1}{r^2 \sin\theta} \frac{d}{d\theta} \left( \sin\theta \frac{d}{d\theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta} \frac{d^2}{d\phi^2} \right] + U(r)$$

U(r) terimi, elektron ve çekirdek arasındaki etkileşimin potansiyel enerjisidir.

Etkileşimin potansiyel enerjisi bir Coulomb etkileşimidir...

#### COULOMB POTANSİYEL ENERJİSİ

$$F(r) = \frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Newton'un hareket eşitlikleri klasik mekaniği kullanır. Benzer şekilde, Schrödinger eşitliği de kuantum mekaniğini kullanır.

Mikroskopik parçacıklar aleminde klasik mekanik başarısızdır-daha gelişmiş bir mekaniğe ihtiyaç duyulur- kuantum mekaniği klasik mekaniği de "kapsar".

#### Schrödinger eşitliğini çözmek ne anlama gelir?

- \_\_\_\_\_ bulma, elektronların bağlanma enerjisi
- \_\_\_\_\_ bulma, orbitallerin dalga fonksiyonu

Klasik mekaniğin aksine, Schrödinger denklemi, atomun deneysel olarak gözlenen özelliklerini oldukça doğru (% 10<sup>-10</sup> dahilinde !) tahmin eder.

Hidrojen atomunda

$$\hat{H}\Psi = - \frac{1}{n^2} \frac{me^4 \cdot \Psi}{8\epsilon_0^2 h^2}$$

H atom orbitali veya dalga fonksiyonu                      E= e<sup>-</sup> nun çekirdeğe bağlanma enerjisi