

KONU ÖZEL GÖRELİLİK VE KUANTUM FİZİĞİNE GİRİŞ

Ether Hipotezi: Evreni dolduran bir ether ortamı varsa ortamda yapılan hareketler, suya atılan bir taşın su ortamında dalgalanmalara sebep olduğu gibi etherde de dalgalanmalara sebep olmalıdır. Dünya'nın Güneş çevresinde yaptığı dönme hareketi etherde dalgalanmalara neden olmalı ve Güneş'ten gelen ışınlar, dalgalanma doğrultusunda ve zıt yönde hareket ediyorsa bir dirençle karşılaşır hızını azaltmalıdır. Farklı doğrultularda hareket eden ışının farklı hız değerlerinin olması etherin varlığının ispatı olduğunu düşünen Albert Abraham Michelson ve Edward Morley ışık hızındaki değişimleri ölçmek ve ether ortamının varlığını ispatlamak için 1887 yılında ünlü Michelson-Morley deneyini yapmışlardır. Beklentiye göre ışık demetleri, farklı zamanlarda ekrana yansıyacaktı. Çift yarık deneyinde olduğu gibi ışıktaki girişim gözlenecek ve girişimin saçakları faz farkına göre oluşacaktı. Ancak girişim saçakları ışıkların ekrana hep aynı zamanda ulaştığını gösterdi. Beklenen saçak kayması gözlenmedi.

Michelson-Morley deneyi sonucuna göre:

1. Ether hipotezinin geçerli olmadığı ispatlandı.
2. Boşluktaki ışık hızının her doğrultu ve yönde aynı değere sahip olduğu ortaya konuldu.
3. Işığın yayılmak için hiçbir ortama gerek duymayan bir elektromanyetik dalga olduğu görüşü ağırlık kazanmıştır.

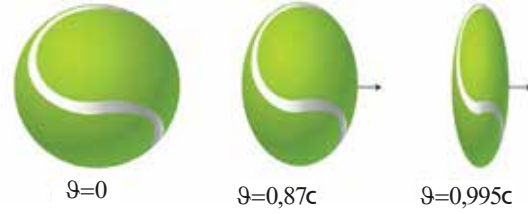
Özel Görelilik: Michelson-Morley deneyinin sonucu, Einstein tarafından farklı bir şekilde yorumlanarak özel görelilik teorisinin önermelerinden biri hâline getirildi. Albert Einstein, ışığın hızının kaynak veya gözlemcinin hareketinden etkilenmediğini, bu hızın her zaman c olduğunu özel görelilik teorisinde iki önerme ile açıklamıştır:

1. Fizik yasaları, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır.
2. Işığın boşluktaki hızı, tüm eylemsiz referans sistemlerinde aynıdır. Işık boşlukta $2,99792458 \cdot 10^8$ m/s hızla hareket eder.

Görelî Zaman: Newton mekaniğine göre uzay ve zaman kavramları tüm eylemsiz referans sistemlerinde değişmezlik gösterirken ulaşılabilir hızın bir üst sınırı yoktur. Duran ya da düzgün doğrusal hareket yapan sistemlere eylemsiz referans sistemi denir. Bir olayın gerçekleştiği durgun gözlem çerçevesinde ölçülen zaman aralığına mutlak zaman denir. Aynı zaman aralığı hareketli bir gözlem çerçevesinde daima farklı ölçülür. Hareketli gözlem

çerçevesinde ölçülen bu farklı zaman aralığına görelî zaman denir. Durgun bir gözlemciye göre hareket hâlindeki bir saat, durgun bir saatte göre daha yavaş çalıştığı görülür, bu olaya zaman genişlemesi denir.

Görelî Uzunluk: Durgun bir gözlemci, L_0 olarak ölçtüğü çubuğun boyunu ışık hızına yakın ve çubukla aynı doğrultuda v hızıyla hareket ettiğinde L_0 dan daha kısa bir L uzunluğunda ölçer. Bu olaya uzunluk büzülmesi denir. Uzunluk büzülmesi sadece cismin hareket doğrultusunda meydana gelir. Hareket doğrultusuna dik boyda büzülme olmaz. Bir tenis topu ışık hızına yakın hızlarda hareket ederse topun görünümü şeklindeki gibi olur.

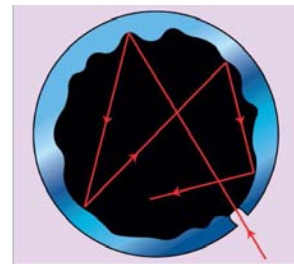


Kütle - Enerji Eşdeğerliği: 20. yüzyıl fiziğinde çığır açan Einstein'ın fizik yasaları ve ışık hızının tüm referans sistemlerinde aynı olduğu şeklindeki varsayımından hareketle geliştirdiği kütle-enerji eşdeğerliği ile ifade edilir.

$$E = m \cdot c^2$$

m kütleli bir madde ışık hızına ulaştığında $E = m \cdot c^2$ büyüklüğünde bir enerji açığa çıkar. Bu bağıntıdaki c ışık hızı, çok büyük bir değere sahip olduğu için küçük bir madde kütesinin yok olması büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasına sebep olur.

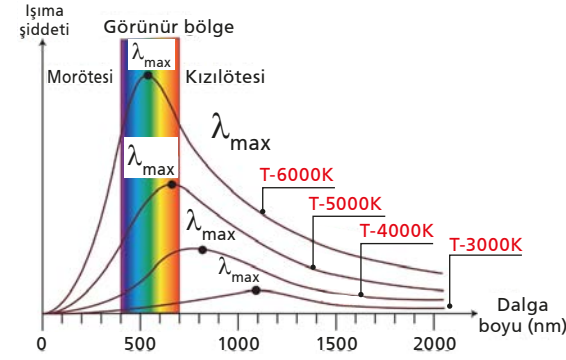
Siyah Cisim Işıması: Üzerine düşen ışığın tamamını soğuran ve sıcaklığa bağlı olarak her dalga boyunda ışıma yapan cisimlere siyah cisim denir.



Kovuk içinde ışığın soğurulma modeli

Siyah cisimler tarafından cismin sıcaklığına bağlı olarak yapılan ışımaya da siyah cisim

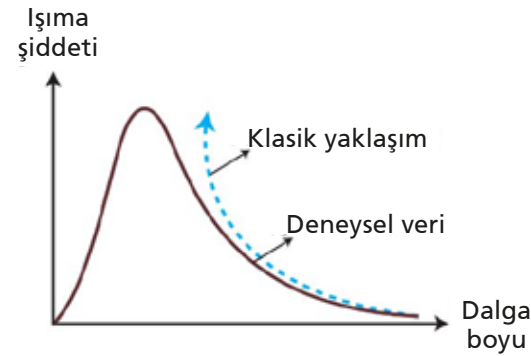
ışması denir. Güneş ve yıldızların yaptığı ışıma, yüksek sıcaklığa kadar ısıtılan demirden yayılan ışıma, kor hâline gelmiş kömür parçaları arasındaki ışıma siyah cisim ışımasına örnek olarak verilebilir. Siyah cisimler görünür bölgede kırmızı ışıma yaparken cismin sıcaklığı arttıkça turuncu, sarı, yeşil ve maviye doğru değişen ışımlar yapar.



Cisim en şiddetli ışıması gerçekleştirdiğinde ışımanın dalga boyu ile sıcaklığı ters orantılıdır. Wien Yasası ile bu durum şu şekilde ifade edilir:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Klasik yaklaşıma göre cismin yapacağı ışıma şiddeti, frekansa bağlı olarak sürekli artış göstermelidir. Bu durum ışımanın dalga boyu küçüldükçe maddenin yayacağı enerjinin sonsuz bir değere yaklaşması demektir.



Planck Hipotezi: Planck, ışığı klasik fizikte olduğu gibi dalga modeli olarak değil kuantlardan oluşan paketler şeklinde düşünmüştür.

1. Siyah cisim ışıması yapan bir cismin moleküllerinin enerjisi kesikli değerler alabilir.

$$E_n = n \cdot h \cdot f \quad (h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})$$

2. Moleküller, kesikli paketler hâlinde enerji yayar ve soğurur. Moleküller bir kuantum seviyesinden diğer kuantum seviyesine geçiş yapar.

$$E = h \cdot f$$

SORULAR

1) Michelson-Morley deneyinin sonucunda ışık hızının tüm referans sistemleri için aynı olduğunu ortaya çıkıttı.

Bu sonucun modern fiziğe en büyük katkısı aşağıdakilerden hangisidir?

- A) Siyah cisim ışıması
- B) Elektronun saptanması
- C) İzafiyet teorisi
- D) X ışınlarının keşfedilmesi
- E) Fotoelektrik olay

2) 19.yy sonlarına doğru klasik fiziğin açıklamakta yetersiz kaldığı fiziksel olayları açıklayan yeni teorileri kapsayan çalışmalar fizikte modern fizik denilen yeni dönemi başlattı.

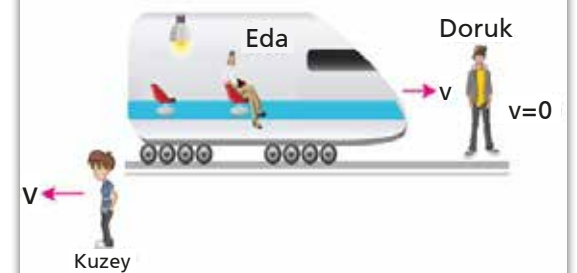
Buna göre;

- I. Siyah cisim ışıması
- II. Özel görelilik
- III. Termodinamik

olaylarından hangileri modern fiziğin doğmasına katkıda bulunmuştur?

- A) Yalnız I
- B) I ve II
- C) I ve III
- D) II ve III
- E) I, II ve III

3) v hızıyla ilerleyen vagonun tavanında bulunan ışık kaynağından çıkan ışınların hızını Eda v_1 , Kuzey v_2 , ve Doruk v_3 olarak gözlemliyor.



Buna göre v_1 , v_2 ve v_3 hız büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?

- A) $v_2 > v_3 > v_1$
- B) $v_2 > v_1 > v_3$
- C) $v_3 > v_2 > v_1$
- D) $v_1 = v_2 = v_3$
- E) $v_3 > v_1 > v_2$

CEVAP ANAHTARI: 1) C, 2) B, 3) D

KONU FOTOELEKTRİK OLAY - I

Foton: Max Planck'ın siyah cisim ışıması konusundaki fikirlerinden etkilenen Einstein, ışığın enerji paketlerinden oluştuğunu düşündü. Einstein, Planck'ın atomlara uyguladığı matematiksel kuant (enerji paketi) fikrini ışığa uygulamıştır. Işığı oluşturan bu enerji paketleri sonradan foton adını almıştır. Maxwell denklemleriyle özetlenen ışığın dalga tanımıyla çeliştiği için başlangıçta bu fikre pek sıcak bakılmamıştır. Ancak yapılan deneyler, Einstein'ın ışık tanecikçi fikrini desteklemiştir. Bir ışık demetinde enerji taşıyan küçük enerji paketlerine foton denir.

Fotonların özellikleri

- Işık hızıyla hareket eder.
- Kütleleri ve durgun enerjileri yoktur.
- Frekans veya dalga boylarına bağlı olarak enerji ve momentuma sahiptir.
- Soğurulduğunda yok olur.
- Kütle olmamasına rağmen madde ile etkileşime girebilir.
- Hiçbir sistemde durgun halde bulunamaz.
- Elektrikçe yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alandan etkilenmez.

h Planck sabiti olmak üzere bir foton $E = h \cdot f$ ile verilen E enerjisine sahiptir. c ışık hızı olmak üzere frekans, dalga boyu ve hız arasında

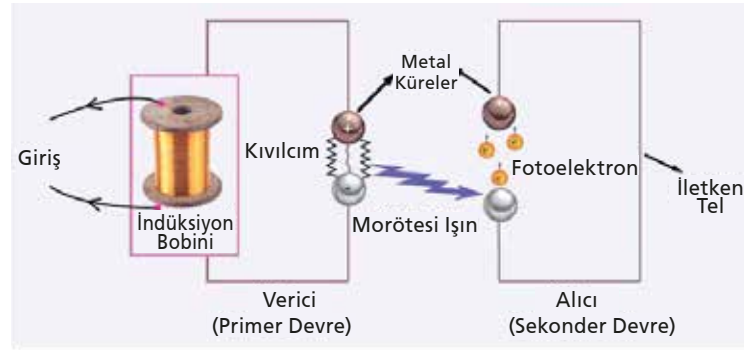
$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ eşitliği vardır.}$$

Fotonun enerjisi,

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

ile bulunur.

Hertz'in Fotoelektrik ile İlgili Çalışmaları: Fotoelektrik olay, ilk defa 1887 yılında Heinrich Rudolf Hertz tarafından elektromanyetik dalgaların varlığını kanıtlamaya çalışırken ortaya konulmuştur.

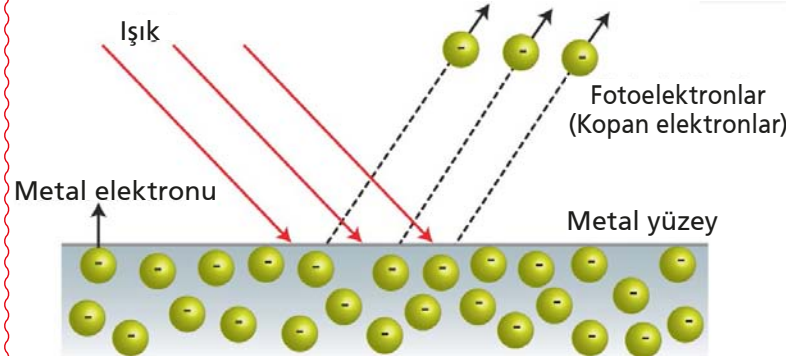


Hertz'in fotoelektrik etkiyi gözlemlediği düzeneğin şematik gösterimi

Hertz, deneyinde bobin, verici (primer) devredeki iki küresel elektrot arasında kıvılcım oluşturacak şekilde yüklemeye

yapmaktadır. Bu iki metal küre arasında kıvılcımlar nedeniyle oluşan morötesi ışınlar, alıcı (sekonder) devrede bulunan küresel elektrotlardan birine düşerek buradan elektron söker. Sökülen bu elektronların diğer küresel elektrotla ulaşmasıyla alıcı devrede bir fotoelektrik akım meydana gelir. Bu düzenekte vericideki morötesi ışıma engellenecek olursa fotoelektrik akım da kesilmekte, engellenmediği durumda ise fotoelektrik akım tekrar oluşmaktadır. Hertz yaptığı bu deneyle fotoelektrik etkiyi hava ortamında gözlemleyen ilk bilim insanı olmuş ve yüksek enerjili ışınların metal topuzlardan elektron sökebildiğini göstermiştir. Hertz'in üzerinde fazla durmadığı bu olayın tümüyle açıklığa kavuşturulması 1905 yılını bulmuştur. Einstein, Planck'ın kuantalama kavramını elektromanyetik dalgalar için kullanarak ışığın bir enerji paketi olarak düşünülebileceğini söylemiştir. Bu enerji paketleri, daha sonraları Gilbert Newton Lewis tarafından foton olarak adlandırılacaktır.

Bir kaynaktan yayılan fotonların bir madde yüzeyine düşürülmesi suretiyle maddeden elektron koparılması şeklinde gerçekleşen olaya fotoelektrik olay denir. Fotoelektrik olay ışığın tanecikli yapısını ortaya koyan ilk olaydır.



Metal Cinsi	Eşik Enerjisi (eV)
Sodyum	2,6
Bakır	4,70
Gümüş	4,73
Demir	4,14
Alüminyum	4,08
Çinko	4,31
Platin	6,35
Demir	4,50

ne o levhanın bağlanma (eşik) enerjisi denir. E_0 ile simgelenir. Eşik enerjisi metalin cinsine bağlıdır.

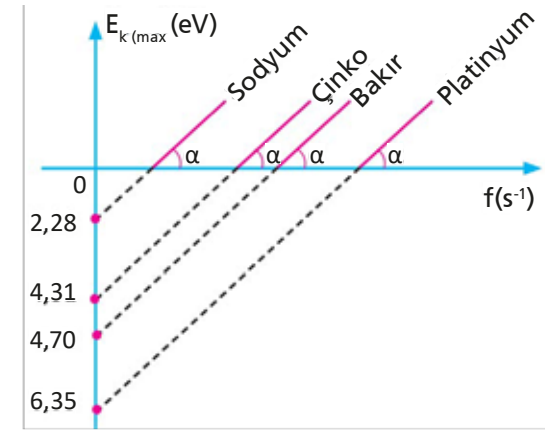
Fotoelektrik denklemi

$$E_{\text{foton}} = E_{\text{bağlanma}} + E_{K(\text{max})}$$

ile bulunur. Metal üzerine gönderilen bir fotonun bu metalden elektron sökebilmek için sahip olması gereken minimum frekans değerine eşik frekansı (f_0) bu frekansa ait minimum dalga boyuna ise eşik dalga boyu (λ_0) denir. Sadece metalin cinsine bağlıdır.

$$E_0 = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$$

Elektronların yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları kinetik enerjiye maksimum kinetik enerji denir. Yapılan çalışmalarda metalden kopan elektronların kinetik enerjisi metal yüzeye düşürülen ışığın şiddetine (foton sayısına) bağlı değildir. Işığın frekansına ya da dalga boyuna bağlıdır.



Farklı metaller için fotoelektronların maksimum kinetik enerji ve frekans grafiği

metalin bağlanma enerjisini, frekans eksenini kestiği tüm değerler ise eşik frekanslarını gösterir.

SORULAR

1. Bir fotoelektrik devreye düşürülen eşik dalgaboyu 3100 Å olan katot metaline dalgaboyu;

- 1550 Å
- 3100 Å
- 6200 Å

olan fotonlar düşürüldüğünde hangi devrelerde kesinlikle akım oluşur?

- A) Yalnız I
- B) Yalnız II
- C) Yalnız III
- D) I ve II
- E) II ve III

2. Dalga boyu 1550 Å olan fotonun enerjisi kaç eV

olur? ($hc = 12400 \text{ eV} \cdot \text{Å}$)

- A) 3
- B) 5
- C) 6
- D) 8
- E) 10

3. Bir fotoelektrik devrede sökülen elektron sayısı;

- I. ışık şiddeti
- II. katot metalinin yüzey alanı
- III. ışık kaynağının katot metaline uzaklığı

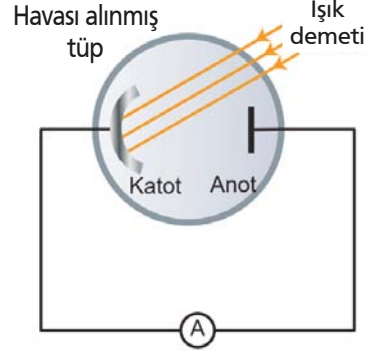
niceliklerinden hangisi ile doğru orantılıdır?

- A) Yalnız I
- B) Yalnız II
- C) Yalnız III
- D) I ve II
- E) II ve III

CEVAP ANAHTARI: 1) A- 2) D - 3) D

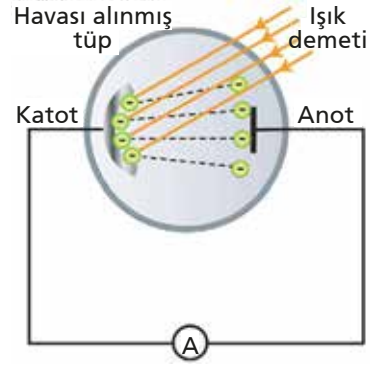
KONU FOTOELEKTRİK OLAY - II

Fotosel: Üzerine düşürülen ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklere fotosel denir.



Fotoelektrik Akım: Katot levha üzerine yüksek enerjili tek renkli ışık düşürüldüğünde ampermetre tarafından katot ve anot arasında bir elektron akışı sonucunda meydana gelen akıma fotoelektrik akım (I_0) denir.

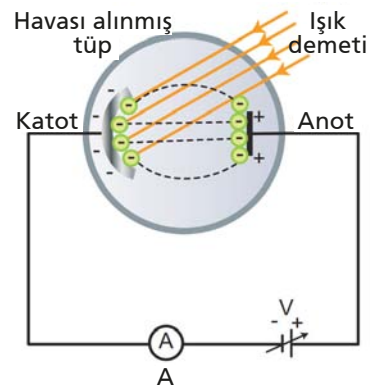
Katot levhaya düşürülen bir foton, enerjisini bu metalde bulunan elektronlardan birine verir ve kendisi soğurulur. **Bir foton ancak bir elektron sökebilir.**



Oluşan I_0 akımını artırmak için,

- Metal yüzeyine düşürülen ışığın şiddetini (foton sayısını) artırmak
- Katot yüzeyini büyütmek
- Anot-katot levhaları arasındaki uzaklığı azaltmak
- Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjilerini artırmak
- Bağlanma enerjisi küçük metal kullanmak

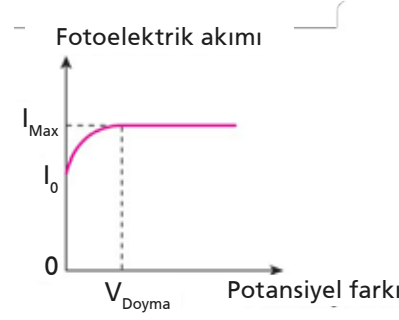
- Işık kaynağı noktasal ise ışık kaynağını katot levhasına yaklaştırmak
- Anot yüzeyini büyütmek



Fotosele Üreteç Bağlanması: Ayarlanabilir üreticinin pozitif kutbu fotoselin anot, negatif kutbu fotoselin katot levhasına bağlandığında katot ve anot levhaları arasında oluşan elektrik alan etkisiyle katot yüzeyinden koparılan elektronlar hızlandırılarak sapmaları azalır ve I_0 akımı artar.

Doyma Gerilimi: Gerilim belirli bir değere ulaştığında katot metalinden kopan bütün elektronlar, elektrik alanının etkisi ile anot levhasına ulaşır. Bu durumda akım maksimum ve sabit bir değer alır. Akımı maksimum yapan gerilime doyma gerilimi denir. Doyma gerilimine ulaşıldıktan sonra gerilim artırılrsa da oluşan maksimum akımın (I_{Max}) büyüklüğü değişmez.

Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisine eşit ise ($E_f = E_0$) metalden elektron koparılır. Kopan elektronlar anot-katot arasında oluşan elektrik alan içerisinde hızlanır. Elektronların kazandığı kinetik enerji elektrikselsel kuvvet tarafından yapılan iş ($W = e \cdot V$) kadar olur. Elektronlar $E_k = e \cdot V$ büyüklüğünde kinetik enerjisiyle anot levhasına ulaşır ve devrede akım oluşur.

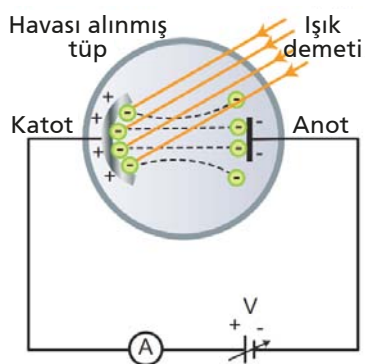


Maksimum Akım: Maksimum akımı artırmak için;

- katot yüzeyine düşen ışık şiddeti bir başka ifadeyle foton sayısı artırılmalıdır.
- kaynak noktasal bir kaynağa katot yüzeyine yaklaştırılmalıdır.
- katot yüzeyinin alanı artırılmalıdır.
- anot yüzeyinin artırılmalıdır.
- anot-katot arası uzaklığın azaltılmalıdır.

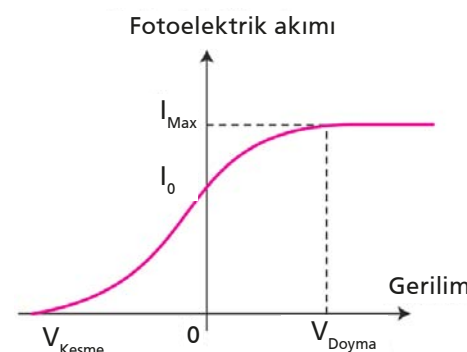
Katot levhasına düşürülen fotonların frekansının artırılması maksimum akımın büyüklüğünü değiştirmez. Çünkü maksimum akımın belirleyicisi anot levhasına ulaşan elektron sayısıdır.

Kesme Potansiyeli: Ayarlanabilir üreticinin pozitif kutbu fotoselin katot, negatif kutbu fotoselin anot levhasına bağlandığında metal yüzeyini maksimum kinetik enerji ile terk eden elektronlar, elektrik alan nedeni ile yavaşlatılır. Bu durumda anot levhasına ulaşan elektron sayısında ve buna bağlı olarak devrede oluşan akımda azalma olur.



Üreticinin gerilimi artırıldığında anot levhasına ulaşan elektron sayısı giderek azalır. Bu da devrede oluşan akımın iyice azalmasına neden olur. Üreticinin gerilimi artırılarak belli bir değere ulaştığında hiçbir elektron, anot levhasına ulaşamaz ve devredeki akım kesilir.

Anot levhasına ulaşan elektron sayısını sıfırlayarak devreden geçen akımın kesilmesine neden olan gerilim değerine kesme potansiyeli (durdurma gerilimi) denir.



Devrede katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjisi metalin eşik enerjisinden büyükse ($E_f > E_0$) katot levhasından elektron koparılır. Kopan elektronlar metalden bir EK kinetik enerjisiyle ayrılır.

$E_k > e \cdot V$ ise kopa-

ran elektronlar anot levhasına $E = E_k - e \cdot V$ kinetik enerjisi ile çarpar ve devrede akım oluşur.

$E_k < e \cdot V$ ise koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede akım oluşmaz.

$E_k = e \cdot V$ ise koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede akım oluşmaz. Bu durumda uygulanan gerilim durdurma gerilimine eşit olur.

$$E_k = e \cdot V_{Kesme}$$

Kesme gerilimi, fotoelektronların metal yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları maksimum kinetik enerjiye bağlıdır. Anot-katot arasındaki elektrik alanının yaptığı iş, maksimum kinetik enerjiye eşit olduğunda elektronlar anota ulaşamaz.

$$V_{Kesme} = \frac{h \cdot f - E_0}{e}$$

Kesme potansiyelini arttırmak için eşik enerjisi daha küçük metal kullanmak, fotonların frekanslarını arttırmak işlemleri yapılabilir.

Kesme potansiyeli uygulanmış bir fotoselin yüzeyine düşürülen ışığın şiddeti artırılrsa da devrede akım oluşmaz. Kaynağın ışık şiddeti artırılrsın ya da azaltılrsın kopan elektronların maksimum kinetik enerjileri değişmediğinden kesme potansiyeli değişmez.

Fotosellerin Kullanım Alanları:

- Fotoseller,
- sinema filmlerinin ses kayıt okumasında
 - otomatik açılıp kapanan kapılarda
 - elektronik dizgi makinelerinde
 - yangın ve duman detektörlerinde
 - asansörlerin kata ulaştığında durması
 - otomatik kapı bariyerlerine araç yaklaştığında bariyerin açılması için kullanılır.

SORULAR

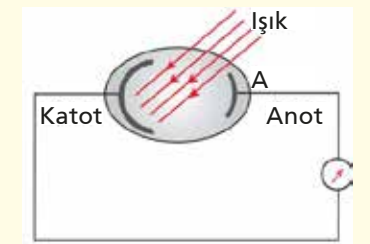
1. Bir fotoelektrik devrede sökülen elektron sayısı;

- Işık şiddeti
 - katot metalinin yüzey alanı
 - ışık kaynağının katot metaline uzaklığı
- niceliklerinden hangisi ile doğru orantılıdır?

- A) Yalnız I B) Yalnız II
C) Yalnız III D) I ve II
E) II ve III

2. Şekildeki fotoselden kopartılan elektronlar 8 eV'luk maksimum kinetik

enerji ile metal levhadan ayrılıyor.



Katot metalinin eşik dalga boyu 6200 Å olduğuna göre, gelen fotonun enerjisi kaç eV'tur? ($hc = 12400 \text{ eV} \cdot \text{Å}$)

- A) 4 B) 7
C) 10 D) 12
E) 18

CEVAP ANAHTARI: 1) D- 2) C

KONU MODERN FİZİK ÜNİTE DEĞERLENDİRME

Foton: Max Planck'ın siyah cisim ışıması konusundaki fikirlerinden etkilenen Einstein, ışığın enerji paketlerinden oluşuyor olabileceğini düşündü. Einstein, Planck'ın atomlara uyguladığı matematiksel kuant (enerji paketi) fikrini ışığa uygulamıştır. Işığı oluşturan bu enerji paketleri sonradan foton adını almıştır. Maxwell denklemleriyle özetlenen ışığın dalga tanımıyla çeliştiği için başlangıçta bu fikre pek sıcak bakılmamıştır. Ancak yapılan deneyler, Einstein'ın ışık tanecığı fikrini desteklemiştir. Bir ışık demetinde enerji taşıyan küçük enerji paketlerine foton denir.

Fotonların özellikleri

- Işık hızıyla hareket eder.
- Kütleleri ve durgun enerjileri yoktur.
- Frekans veya dalga boylarına bağlı olarak enerji ve momentuma sahiptir.
- Soğurulduğunda yok olur.
- Kütleli olmamasına rağmen madde ile etkileşime girebilir.
- Hiçbir sistemde durgun halde bulunamaz.
- Elektrikçe yüksüz oldukları için elektrik ve manyetik alandan etkilenmez.

h Planck sabiti olmak üzere bir foton $E = h \cdot f$ ile verilen E enerjisine sahiptir. c ışık hızı olmak üzere frekans, dalga boyu ve hız arasında

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ eşitliği vardır.}$$

Fotonun enerjisi,

$$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda} \text{ ile bulunur.}$$

Fotoelektrik olayda maddenin yüzeyinden yayılan elektronlara fotoelektron adı verilir. Fotoelektrik olayda foton bir parçacık olarak bir başka parçacıkla (elektronla) etkileşir.

Fotonun yüzeyden elektron sökebilmesi için gerekli olan en küçük enerji değerine o levhanın bağlanma (eşik) enerjisi denir. E_0 ile simgenir. Eşik enerjisi metalin cinsine bağlıdır.

Fotoelektrik denklemi

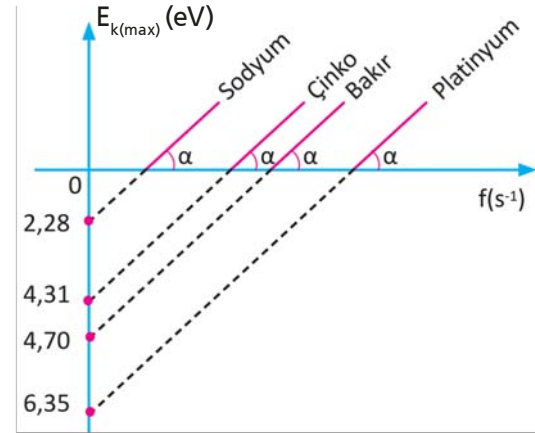
$$E_{\text{foton}} = E_{\text{bağlanma}} + E_{K(\text{max})}$$

ile bulunur. Metal üzerine gönderilen bir fotonun bu metalden elektron sökebilmek için sahip olması gereken minimum frekans değeri eşik frekansı (f_0) bu frekansa ait minimum dalga boyuna ise eşik dalga boyu (λ_0) denir. Sadece metalin cinsine bağlıdır.

$$E_0 = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$$

Elektronların yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları kinetik enerjiye maksimum kinetik enerji denir. Yapılan çalışmalarda metalden kopan elektronların kinetik enerjisi metal yüzeye düşürülen ışığın şiddetine (foton sayısına) bağlı değildir. Işığın frekansına ya da dalga boyuna bağlıdır.

Grafik incelendiğinde farklı metaller için çizilen tüm doğruların birbirine paralel olduğu görülür. Bunun sebebi tüm doğruların eğiminin h Planck sabitini vermesidir. Ayrıca grafiklerin enerji eksenini kestiği değerler, o metalin bağlanma enerjisini, frekans eksenini kestiği tüm değerler ise eşik frekanslarını gösterir.



Farklı metaller için fotoelektronların maksimum kinetik enerji ve frekans grafiği

1919 yılında Einstein, ışık fotonlarının doğrusal bir momentuma sahip olduğunu ileri sürmüştü, fotonların atom ile etkileşimlerinde soğurulmalar veya yayınlanmalar olabilmesi için atoma enerji ve momentum aktarılması gerektiğini söylemiştir.

Einstein, enerjisi $E_f = h \cdot f$ olan bir fotonun momentumu için

$$P = E_f / c$$

$$P = (h \cdot f) / c$$

bağıntılarını ileri sürmüştür.

Arthur Holly Compton fotonların hem enerji hem de momentum taşıdığı fikrini destekleyen bir deney yapar. Compton, bir karbon hedefe X-ışınları gönderir. Elektronla çarpıp saçılan X-ışınlarının şiddetini ve dalga boyunu ölçerek saçılmanın klasik dalga teorisi ile açıklanamayacağını gösteren önemli sonuçlara ulaşır.

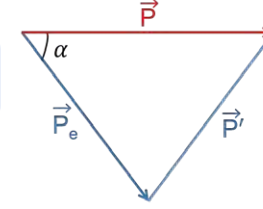
Bir elektrona gönderilen enerjisi E , frekansı f ve dalga boyu λ olan X-ışını fotonu bu çarpışma sırasında bir parçacık gibi davranarak elektronun saçılmasını sağlar.

Foton ve elektronun çarpışması, merkezi olmayan esnek çarpışma şeklinde gerçekleşir.

Momentumun korunumu yasası gereği, gelen fotonun momentumu (P), saçılan fotonun

momentumu (P) ile saçılan elektronun momentumunun (P_e) vektörel toplamına eşittir.

$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_e$$



Enerjinin korunumu yasasından, gelen fotonun enerjisi (E_f) saçılan fotonun enerjisi (E_f') saçılan elektronun kinetik enerjisi (E_e) ise

$$E_f = E_f' + E_e$$

Gelen fotonun enerjisi saçılan fotonun enerjisinden büyüktür.

$$E_f > E_f'$$

Fotonların enerjileri frekansları ile doğru orantılı olduğundan gelen fotonun frekansı (f) saçılan fotonun frekansından (f') daha büyük olur.

Compton saçılması sırasında fotonun dalga boyu ve frekansı değişse de aynı ortamda ilerleyen fotonların hızlarının büyüklükleri eşit olduğundan gelen ve saçılan fotonların hızlarının büyüklükleri de eşit olur.

Elektronun hızı ise fotonların hızından daha küçüktür.

Compton Saçılmasında;

- Foton soğurulmaz.
- Gelen foton, saçılan foton ve elektron aynı düzlemde.
- Fotonun çarpışmadan önceki ve sonraki hızı (c) aynıdır. Foton ışık hızıyla hareketine devam eder.
- Çarpışmadan sonra fotonun enerjisi ve frekansı azalır ($E > E'$ ve $f > f'$).

• Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyundan büyüktür ($\lambda < \lambda'$).

• Çarpışma esnek olduğundan enerji korunur. Çarpışmadan önceki enerji çarpışmadan sonraki enerjiye eşittir.

Momentum korunur. Gelen fotonun momentumu (P), çarpışmadan sonra saçılan fotonun momentumu (P') ile saçılan elektronun momentumunun (P_e) vektörel toplamına eşittir. Işığın tanecikli yapısını destekler.

Compton ve Fotoelektrik Olaylarının Benzer Yönleri: Aynı durum metal yüzeyinden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri için de geçerlidir. Işık şiddeti artırıldığında yüzeye düşen foton sayısı artar, buna bağlı olarak yüzeyi terk eden fotoelektronların sayısı da artar. Ancak fotoelektronların maksimum kinetik enerjilerinde bir değişiklik olmaz.

Fotoelektrik olayında dalga doğasının açıklayamadığı bir nokta da fotoelektronların metalden ayrılma sürecidir. Fotoelektrik olayı gibi Compton olayı da ışığın dalga doğası tarafından açıklanamamıştır. Compton olayında klasik fizik tarafından açıklanamayan bir diğer nokta da saçılan elektronların gelen fotonların doğrultusunda olmayıp bu doğrultu ile belli bir açı yapmasıdır. Fotoelektrik olayında da Compton olayında da ışık dalga olarak değil tanecik olarak davranmıştır.

Newton, ışığın tanecik yapısını kullanarak kırılma ve yansıma olaylarını açıklamıştır. Christian Huygens, ışığın dalga teorisinin yansıma ve kırılma olaylarını da açıkladığını kanıtlamış ancak bu görüş destek görmemiştir. Thomas Young, girişim deneyini yaparak ışığın dalga doğasını açıkça ortaya koymuştur. Einstein, ortaya koyduğu teoriyle ışığın foton adı verilen enerji paketlerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Bu durumlar ışığın ikili doğaya sahip olduğunu gösterir. Işık bazı olaylarda tanecik gibi davranırken bazı olaylarda dalga yapısına sahiptir.

Madde ve Dalga Arasındaki İlişki: Louis de Broglie, 1923 yılında doktora tezinde fotonların hem parçacık hem de dalga doğasına sahip oldukları gibi maddenin her türlü hâlinin de iki özelliğe sahip olabileceğini belirtmiştir.

Broglie'ye göre elektronlar da ışık gibi ikili parçacık-dalga yapısına sahiptir. Hareket eden her elektrona bir dalga eşlik eder. Parçacıklara eşlik eden dalgalara madde dalgası denir.

Momentumu P olan maddesel parçacıkların dalga boyu Broglie tarafından

$$\lambda = \frac{h}{P} \text{ şeklinde ifade edilmiştir.}$$

Kütlesi m , hızı v olan parçacığın

momentumunun büyüklüğü $P = m \cdot v$

olduğundan Broglie dalga boyu: $\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m \cdot v}$

ÖRNEK SORULAR:

1. Aşağıdaki ışık olaylarının hangisinde foton enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır?
A) Kırılma B) Girişim C) Kırınım
D) Compton olayı E) Fotoelektrik olay

2. Işık ile ilgili,
I. doğrusal yolla yayılma
II. soğurulma
III. tanecikli özellik gösterme
özelliklerden hangileri fotoelektrik olay ve Compton saçılmasının ortak özelliklerindendir?

- A) Yalnız I B) Yalnız III C) I ve II
D) II ve III E) I ve III

CEVAP ANAHTARI: 1) D, 2) E

KONU COMPTON SAÇILMASI VE DE BROGLIE DALGA BOYU

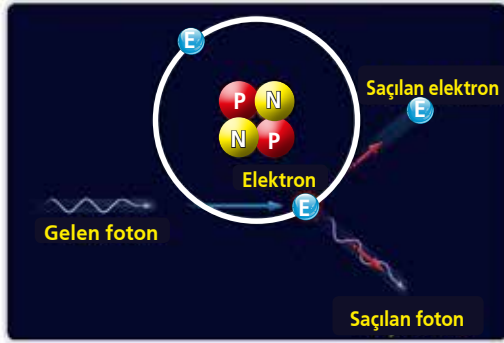
1919 yılında Einstein, ışık fotonlarının doğrusal bir momentuma sahip olduğunu ileri sürmüştü, fotonların atom ile etkileşimlerinde soğurulmalar veya yayınlanmalar olabilmeleri için atoma enerji ve momentum aktarılması gerektiğini söylemiştir.

Einstein, enerjisi $E_f = h \cdot f$ olan bir fotonun momentumu için

$$P = E_f / c \quad P = (h \cdot f) / c$$

bağıntılarını ileri sürmüştür.

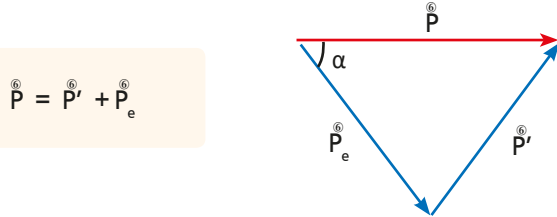
Arthur Holly Compton, fotonların hem enerji hem de momentum taşıdığı fikrini destekleyen bir deney yapar. Compton, bir karbon hedefe X-ışınları gönderir. Elektronla çarpıp saçılan X-ışınlarının şiddetini ve dalga boyunu ölçerek saçılmanın klasik dalga teorisi ile açıklanamayacağını gösteren önemli sonuçlara ulaşır.



Bir elektrona gönderilen enerjisi E , frekansı f ve dalga boyu λ olan X-ışını fotonu bu çarpışma sırasında bir parçacık gibi davranarak elektronun saçılmasını sağlar.

Foton ve elektronun çarpışması, merkezi olmayan esnek çarpışma şeklinde gerçekleşir.

Momentumun korunumu yasası gereği, gelen fotonun momentumu (P), saçılan fotonun momentumu (P') ile saçılan elektronun momentumunun (P_e) vektörel toplamına eşittir.



Enerjinin korunumu yasasından, gelen fotonun enerjisi (E_f) saçılan fotonun enerjisi (E_f') saçılan elektronun kinetik enerjisi (E_e) ise

$$E_f = E_f' + E_e$$

Gelen fotonun enerjisi saçılan fotonun enerjisinden büyüktür.

$$E_f > E_f'$$

Fotonların enerjileri frekansları ile doğru orantılı olduğundan gelen fotonun frekansı (f) saçılan fotonun frekansından (f') daha büyük olur.

Compton saçılması sırasında fotonun dalga boyu ve frekansı değişse de aynı ortamda ilerleyen fotonların hızlarının büyüklükleri eşit olduğundan gelen ve saçılan fotonların hızlarının büyüklükleri de eşit olur.

Elektronun hızı ise fotonların hızından daha küçüktür.

Compton Saçılmasında;

- Foton soğurulmaz.
- Gelen foton, saçılan foton ve elektron aynı düzlemindedir.
- Fotonun çarpışmadan önceki ve sonraki hızı (c) aynıdır.

Foton ışık hızıyla hareketine devam eder.

• Çarpışmadan sonra fotonun enerjisi ve frekansı azalır ($E > E'$ ve $f > f'$).

• Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyundan büyüktür ($\lambda < \lambda'$).

• Çarpışma esnek olduğundan enerji korunur.

Çarpışmadan önceki enerji çarpışmadan sonraki enerjiye eşittir.

Momentum korunur. Gelen fotonun momentumu (P), çarpışmadan sonra saçılan fotonun momentumu (P') ile saçılan elektronun momentumunun (P_e) vektörel toplamına eşittir. Işığın tanecikli yapısını destekler.

Compton ve Fotoelektrik Olaylarının Benzer Yönleri:

Aynı durum metal yüzeyinden koparılan fotoelektronların maksimum kinetik enerjileri için de geçerlidir. Işık şiddeti artırıldığında yüzeye düşen foton sayısı artar, buna bağlı olarak yüzeyi terk eden fotoelektronların sayısı da artar. Ancak fotoelektronların maksimum kinetik enerjilerinde bir değişiklik olmaz.

Fotoelektrik olayında dalga doğasının açıklayamadığı bir nokta da fotoelektronların metalden ayrılma sürecidir. Fotoelektrik olayı gibi Compton olayı da ışığın dalga doğası tarafından açıklanamamıştır. Compton olayında klasik fizik tarafından açıklanamayan bir diğer nokta da saçılan elektronların gelen fotonların doğrultusunda olmayıp bu doğrultu ile belli bir açı yapmasıdır. Fotoelektrik olayında da Compton olayında da ışık dalga olarak değil tanecik olarak davranmıştır.

Newton, ışığın tanecik yapısını kullanarak kırılma ve yansıma olaylarını açıklamıştır. Christian Huygens, ışığın dalga teorisinin yansıma ve kırılma olaylarını da açıkladığını kanıtlamış ancak bu görüş destek görmemiştir. Thomas Young, girişim deneyini yaparak ışığın dalga doğasını açıkça ortaya koymuştur. Einstein, ortaya koyduğu teoriyle ışığın

Işık Olayı	Tanecik Doğası	Dalga Doğası
Gölge oluşması		
Kırılma		
Işığın doğrusal yol boyunca yayılması		
Işığın birbiri içerisinden etkilenmeden geçmesi		
Yansıma		
Işık akışı		

Işık Olayı	Tanecik Doğası	Dalga Doğası
Fotoelektrik olayı		
Compton saçılması		
Polarizasyon (Kutuplanma)		
Girişim		
Ortam değiştiren ışığın bir kısmının kırılıp bir kısmının yansması		

foton adı verilen enerji paketlerinden oluştuğunu belirtmiştir.

Bu durumlar ışığın ikili doğaya sahip olduğunu gösterir. Işık bazı olaylarda tanecik gibi davranırken bazı olaylarda dalga yapısına sahiptir.

Madde ve Dalga Arasındaki İlişki: Louis de Broglie, 1923 yılında doktora tezinde fotonların hem parçacık hem de dalga doğasına sahip oldukları gibi maddenin her türlü hâlinin de iki özelliğe sahip olabileceğini belirtmiştir.

Broglie'ye göre elektronlar da ışık gibi ikili parçacık-dalga yapısına sahiptir. Hareket eden her elektrona bir dalga eşlik eder. Parçacıklara eşlik eden dalgalara madde dalgası denir.

Momentumu P olan maddesel parçacıkların dalga boyu Broglie tarafından

$$\lambda = \frac{h}{P}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Kütlesi m , hızı v olan parçacığın momentumunun büyüklüğü

$$P = m \cdot v$$

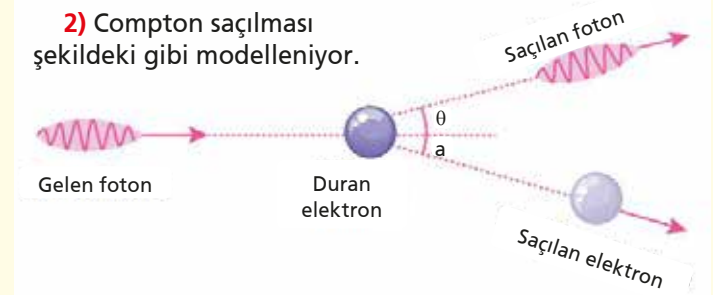
olduğundan Broglie dalga boyu: $\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{m \cdot v}$

SORULAR

1) Compton olayında gelen foton serbest elektronla çarpıştıktan sonra enerjisinin 3/4 'ünü kaybederek saçılıyor. Buna göre, gelen fotonun frekansının saçılan fotonun frekansına oranı kaçtır?

- A) 1/4 B) 3/4 C) 1 D) 3 E) 4

2) Compton saçılması şeklindeki gibi modelleniyor.



Bu durumda, saçılan fotonun gelen fotona göre, dalga boyu, momentumu ve frekansı nasıl değişir?

- A) Dalga boyu değişmez, momentumu azalır ve frekansı artar.
B) Dalga boyu artar, momentumu artar ve frekansı azalır.
C) Dalga boyu artar, momentumu ve frekansı azalır.
D) Dalga boyu ve momentum azalır, frekansı artar.
E) Dalga boyu ve momentumu değişmez, frekansı azalır.