

# Kuantum Fiziğinin Gelişimi

## (Quantum Physics)

- 1900'den 1930'a
  - Kuantum Mekanik Düşüncesinin Gelişimi
    - Dalga Mekanik Olarak da Adlandırılır
    - Atom, Molekül ve Çekirdeği Açıklamada Oldukça Başarılıdır
- Kuantum Mekanik, Makroskopik Sistemlere Uygulandığında Klasik Mekanik İndirgenir
- Çok Sayıda Fizikçiyi Kapsar:
  - Planck Temel Kavramları Çıkarmıştır
  - Matematiksel ve Yorumsal gelişimler; Einstein, Bohr, Schrödinger, de Broglie, Heisenberg, Born ve Dirac tarafından yapılmıştır.

# Kuantum Fiziğine Duyulan İhtiyaç

Klasik Mekanikten kalan ve Göreliliğin de açıklayamadığı problemler:

- **Kara Cisim Işıması (Blackbody Radiation)**
  - Isıtılan bir cisimden yayılan Elektromagnetik ışıma
- **Fotoelektrik Olay (Photoelectric Effect)**
  - Üzerine ışık düşen bir metalden elektronların yayılması
- **Spektrum Çizgileri (Spectral Lines)**
  - Bir elektrik deşarj túbünde gaz atomları tarafından salınan keskin spektrum çizgileri

# Karacisim Işıması

## (Blackbody Radiation)

- Herhangi bir sıcaklıktaki bir cismin Elektromagnetik Işıma yaptığı bilinir
  - Buna bazen Termal Işıma (Thermal Radiation) denir.
  - Işınımın spektrumu, sıcaklığa ve malzemenin özelliklerine bağlıdır
  - Stefan-Boltzmann denklemi, ışınan toplam gücü tanımlar

# Stefan-Boltzmann Denklemi

Yayılan ışımının Gücü Sıcaklıkla Artar

$$P = \sigma A e T^4$$

Burada,  $P$  = watt olarak ışınan güç,

$A$  = alan,  $m^2$

$\sigma$  = Stefan-Boltzmann sabiti =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

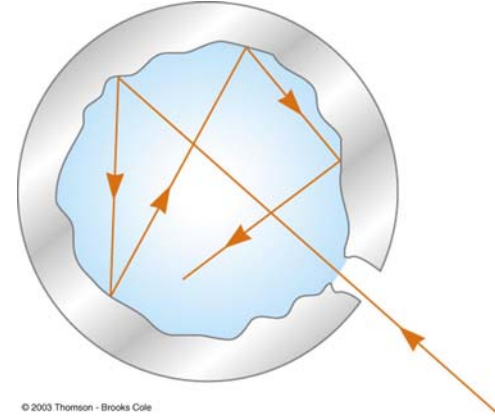
$T$  = Sıcaklık (Kelvin)

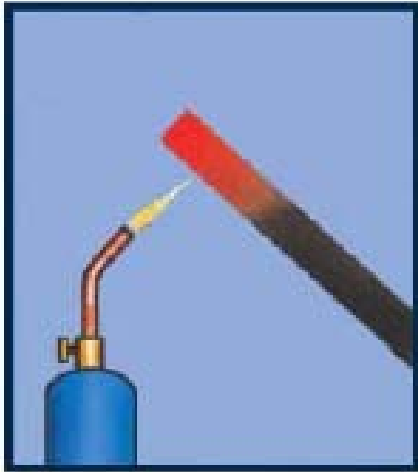
$e$  = yayabilirlik (0-1 arası bir sabit)

(1: kusursuz yayıcı)

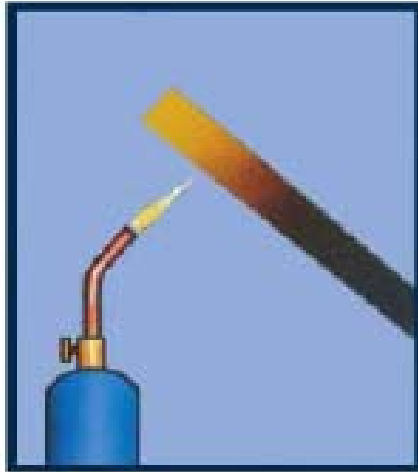
# Karacisim

- Karacisim, bütün dalgaboylarındaki ışığı absorblayabilen ideal bir cisimdir.
- Belirli bir yüksek sıcaklığa kadar ısıtıldığında, tüm dalgaboylarında elektromagnetik ışımaya başlar
- Karacisim için  $e=1$  dir
- İçi oyuk bir cisim ideal absorblamaya iyi bir örnektir

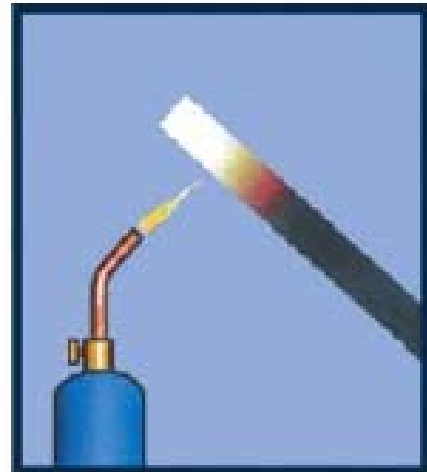




a



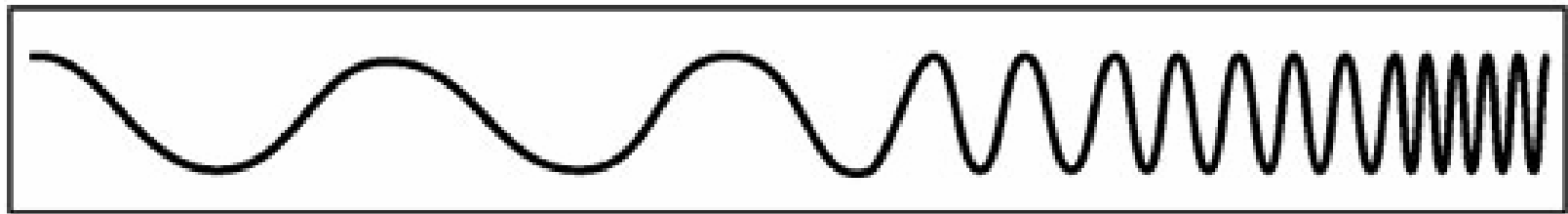
b



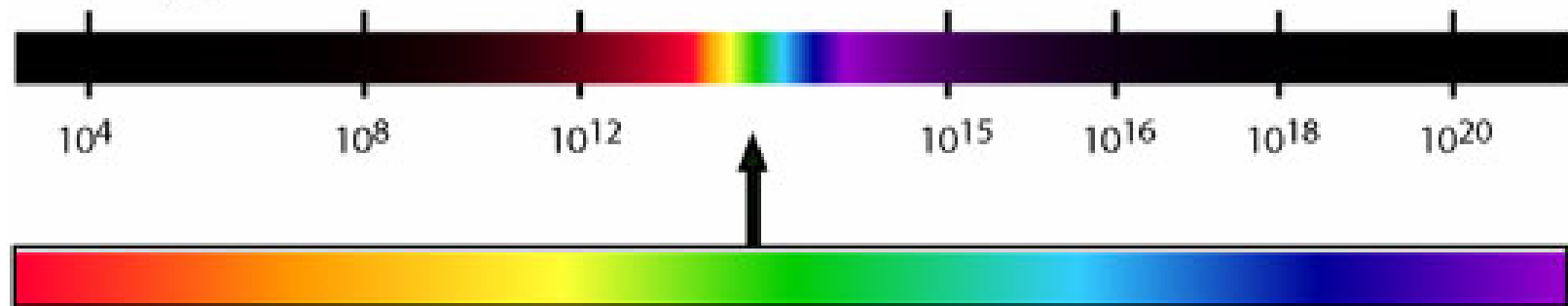
c

# THE ELECTRO MAGNETIC SPECTRUM

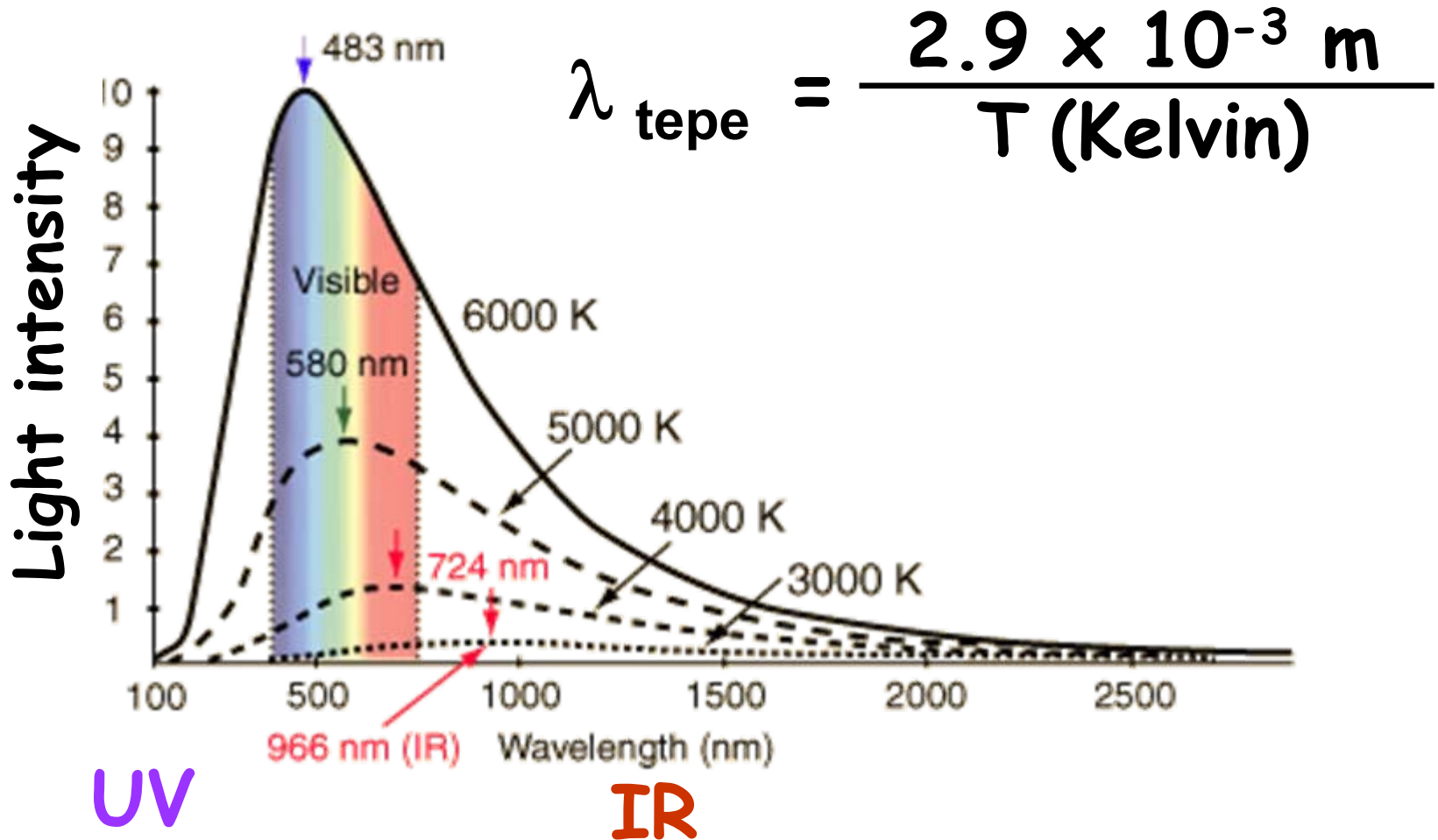
Wavelength  
(metres)



Frequency  
(Hz)



# Karacisim Işımması





Sıcaklığa bağlı olarak  $\lambda_{\text{tepe}}$  için örnekler:

$$T \quad \lambda_{\text{tepe}} = \frac{2.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{T(\text{Kelvin})}$$

---

**310<sup>0</sup>K**  
(vücut sıcaklığı)

$$\frac{2.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{310^0} = 9 \times 10^{-6} \text{ m}$$

infrared ışık  
(kızılötesi)

---

**5800<sup>0</sup>K**  
(Güneş yüzeyi)

$$\frac{2.9 \times 10^{-3} \text{ m}}{5800^0} = 0.5 \times 10^{-6} \text{ m}$$

görünür ışık

# Karacisim Işıma Grafiği

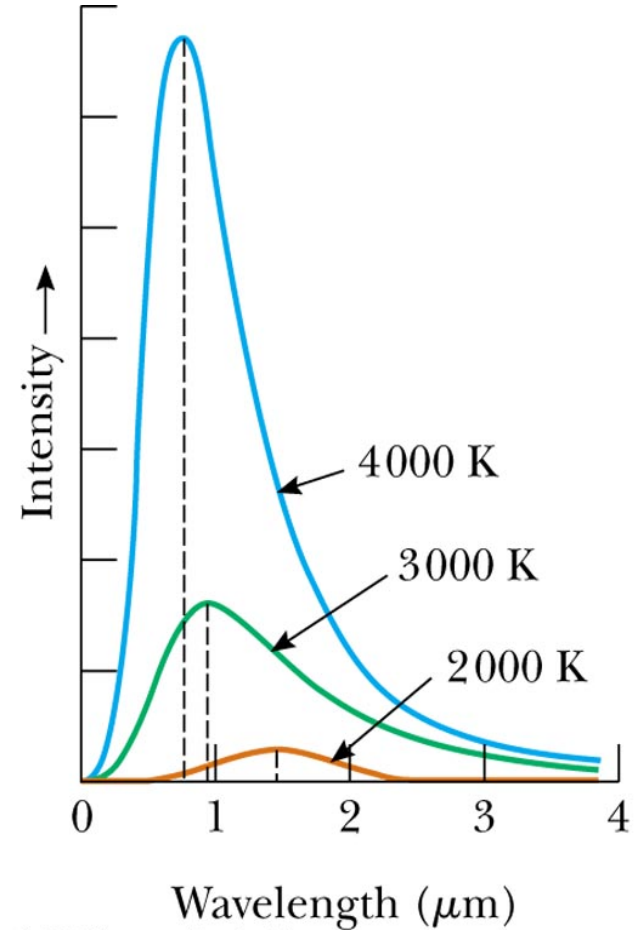
- \* Sıcaklık arttıkça toplam enerji de artar (eğrilerin altında kalan alan)
- \* Sıcaklık arttıkça eğrilerin maksimumları sola doğru kayar

## Wien Yerdeğiştirme Yasası:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 0.2898 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$$

( $\lambda_{\max}$ , eğri tepesinin dalgaboyu)

ampirik (gözleme dayanan) bir ifadedir



# Morötesi Felaketi

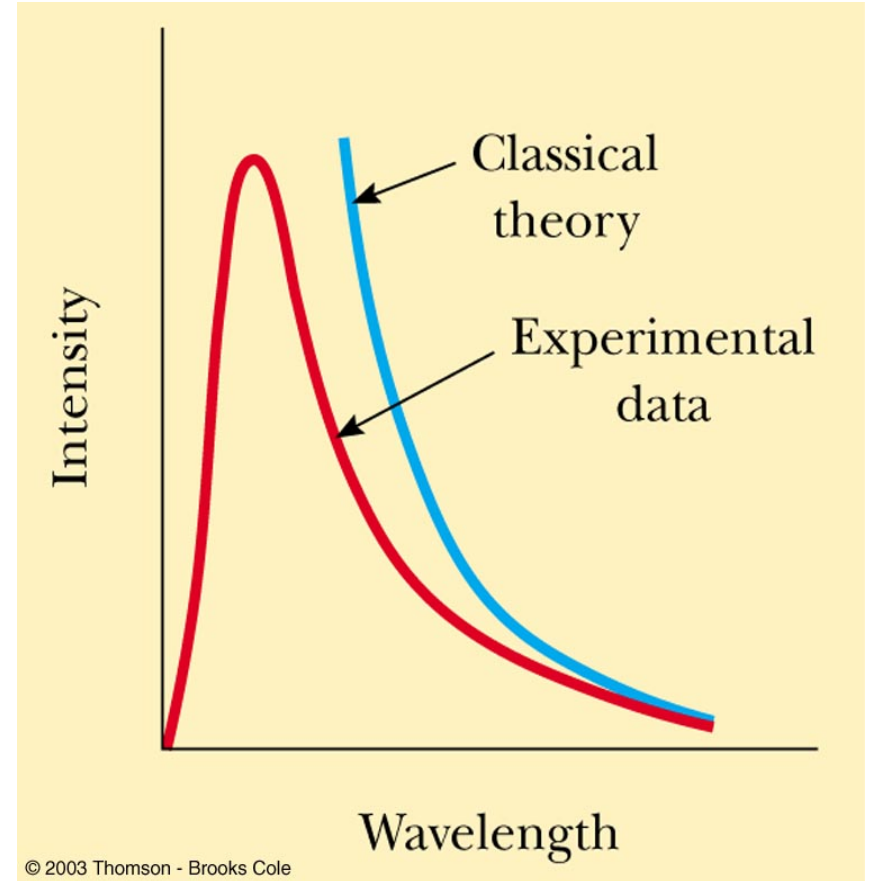
## (Ultraviolet Catastrophe)

- Klasik teori deneysel sonuçlarla uyuşmaz

– Rayleigh-Jeans yasası

$$I = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$

- Yüksek dalgaboylarında uyum iyidir
- Düşük dalgaboylarında, klasik teori, sonsuza giden enerji ortaya çıkarır
- Ama deneysel olarak gözlenen bu değildir
- Bu ıraksamaya “morötesi felaketi” denir



# Planck'ın Çözümü

- Planck, karacisim ışımasının rezonatörler tarafından yayıldığını öne sürdü, buna göre;
- Rezonatörler atomik boyutta yüklü titreşicilerdi (osilatör)
- Rezonatörler sadece belirli değerlerde enerjiler yayabilirdi,

$$E_n = n h \nu$$

- $n$  *quantum sayısı* olarak adlandırılır ( $n=1,2,3,\dots$ )
  - $\nu$  (veya  $f$ ) titreşimin frekansı
  - $h$  *Planck sabiti*,  $h=6.626 \times 10^{-34}$  J s
- 
- Anahtar nokta, Enerji Düzeylerinin Kuantize olmuş olmasıdır. Yani ancak belirli ve kesikli değerler alabilmesidir.

# Enerjinin Kuantize Olması İlkesine Dayanarak, Planck Yasası

İki biçimde yazılır:

Dalgaboyuna bağlı olarak,

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Frekansın fonksiyonu olarak,

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{kT} - 1}$$

Bu denklemler deneysel sonuçlar ile tam bir uyum içerisindedir

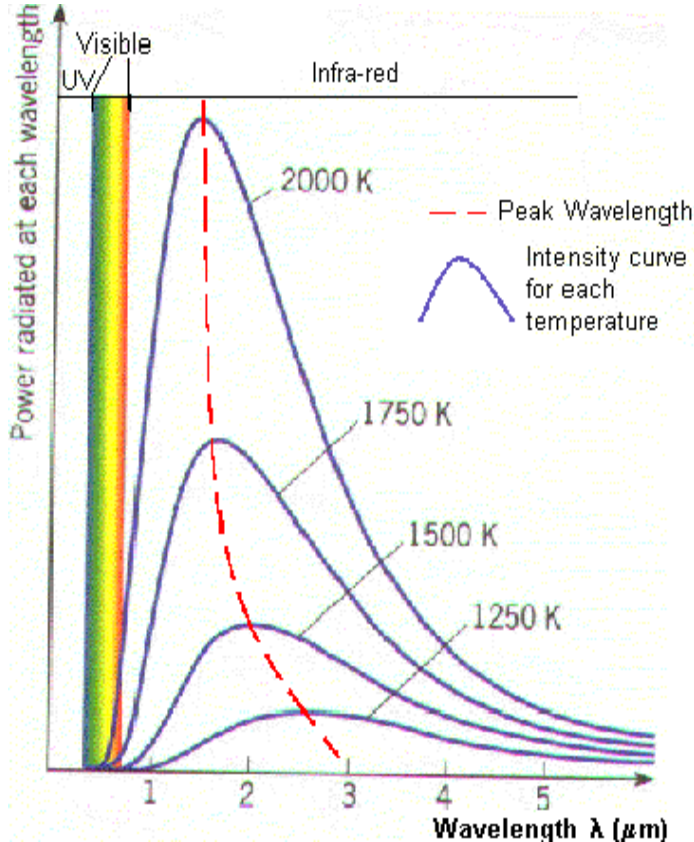


**Max Planck**

Anlatılanları Bir Başka Açıdan  
Yeniden Ele Alırsak

# Işık ve enerji

- 1900 yılı önceleri enerji ve maddenin farklı şeyler olduğu düşünülüyordu.
- Planck, akkor halindeki katıların yaydığı ışınları incelemiştir.



Bir katı cisim ısıtıldığında,

- Işıma şiddeti artar
- $\lambda_{\text{max}}$  daha küçük dalgaboyuna kayar

**Klasik fizik** bu gözlemi açıklayamaz !

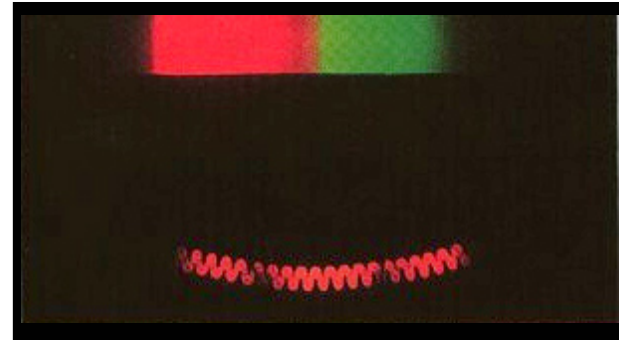
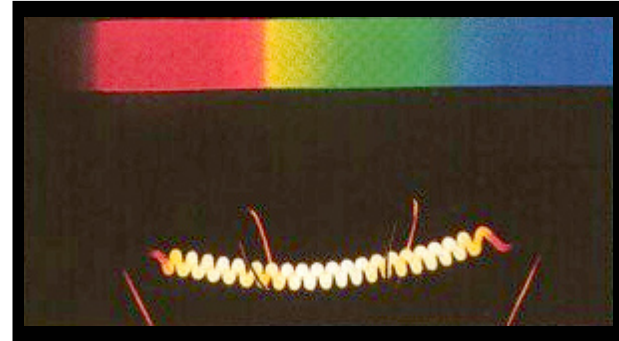
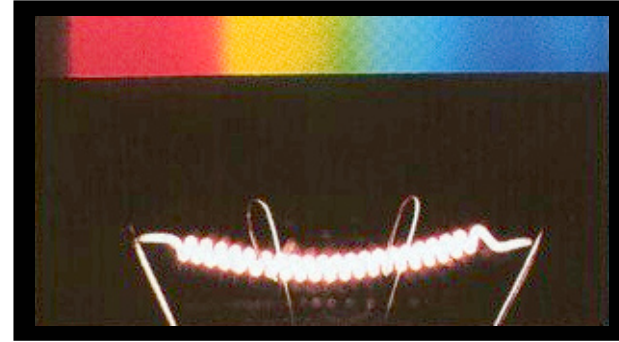
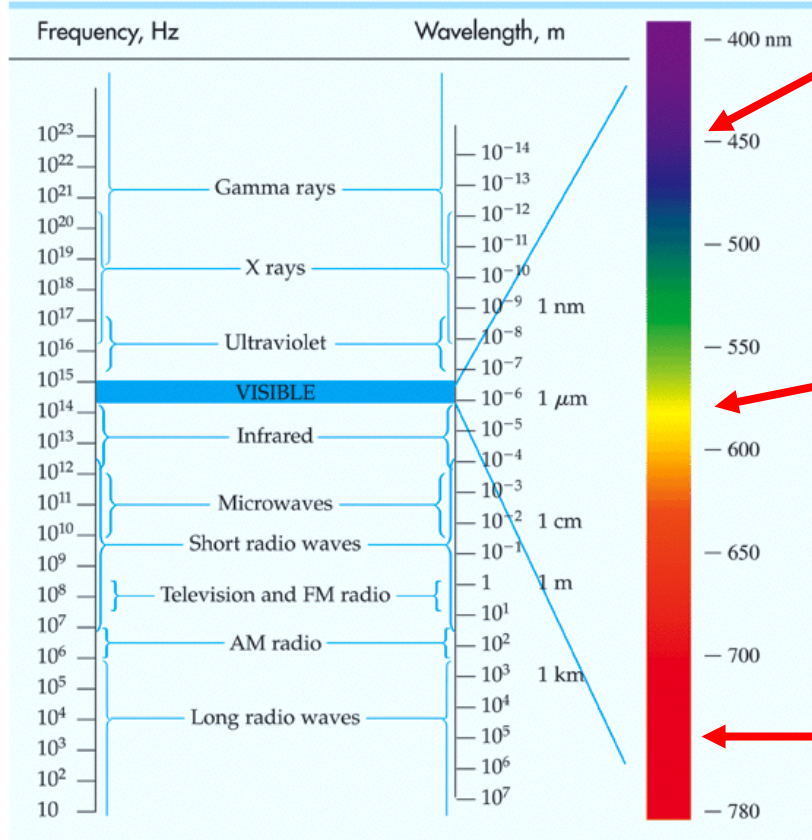
**Morötesi Felaketi**

**“The Ultraviolet Catastrophe”**

# Flamanı ısıtırsak rengi nasıl değişir?

TABLE 30-1

The Electromagnetic Spectrum



T  
a  
r  
t  
a  
r

Sıcaklık arttıkça dalgaboyu azalır.



# Siyah Cisim Işıması

## (Blackbody Radiation)

Siyah cisim ideal bir cisimdir. Şöyle ki;

1. Üzerine düşen bütün ışınları absorblar.
2. Her dalga boyunda ışıma yapar.
3. Işıma şiddeti ve spektrumu sıcaklığa bağlıdır.

### Siyah cisim örnekleri

Güneş ,  $T = 6000 \text{ K}$

– Mavi fotonlar,  $h\nu = 3\text{eV}$  (12000 K)

Akkor filaman,  $T < 6000 \text{ K}$

Kor (ateş),  $T \approx 2000 \text{ K}$

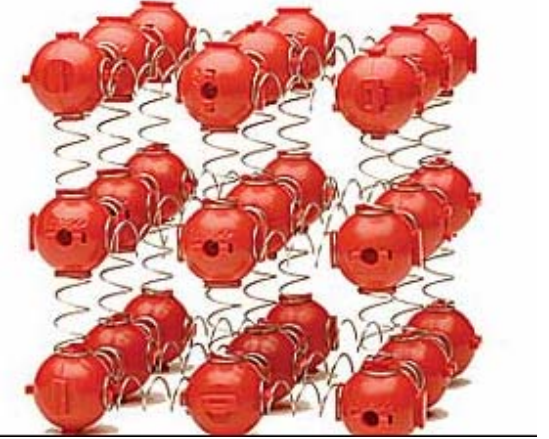
İnsan vücudu,  $T = 310 \text{ K}$  ( IR gece görüşü )

Evren (yıldız ve galaksiler),  $T=3 \text{ K}$

## Cisimler niçin ışımaya yapar?

Mutlak sıfırdan yüksek sıcaklıktaki bütün cisimler elektromanyetik ışımaya yaparlar – bu da ısı enerjisini doğurur

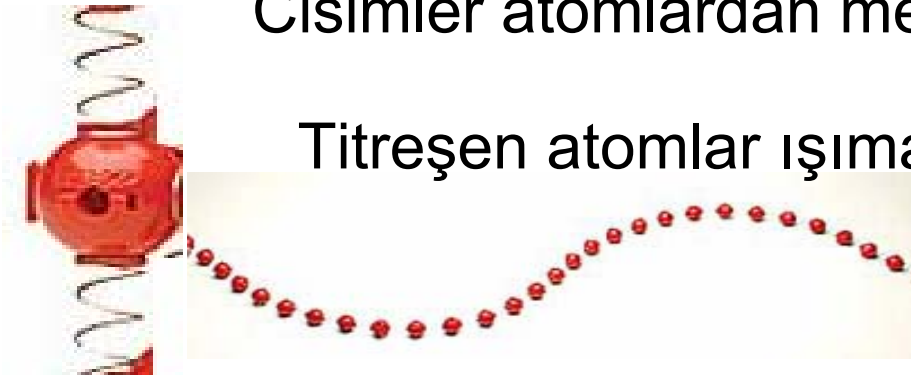
Isı, moleköl hareketlerinin (öteleme, dönme, titreşim) ortalama kinetik enerjisinden kaynaklanır

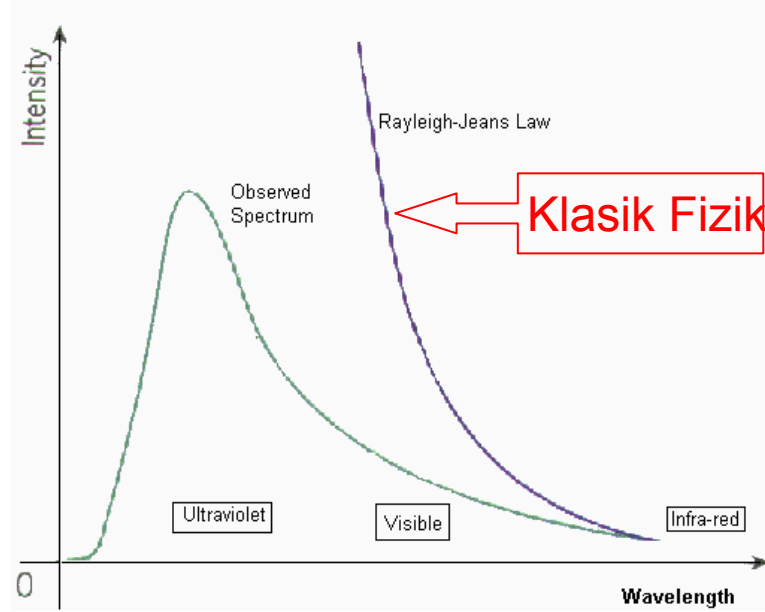


Cisimlerin top-yay modeli

Cisimler atomlardan meydana gelmiştir, ve

Titreşen atomlar ışımaya yaparlar.





**Klasik fizik** – atomlar her frekansta salınım yapabilir

**Planck** (1900) – atomlar sadece belirli frekanslarda salınım yapabilirler.

**Klasik fizik, siyah cisim ışımasını sadece büyük dalga boylarında açıklayabilir.**

# Plank'ın Çözümü

Planck sıcak cismin soğurken enerjisini ışık halinde ve tamsayı katları şeklinde kaybettiğini öngörmüştür.

$$E_n = nh\nu \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

E = enerji

n = kuantum sayısı, tamsayı

h = Plank sabiti (Planck's constant)

$\nu = f$ , frekans

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

# Işığın kuantalaşması

## Quantization of Light

Einstein, ışığın **foton (photon)** adı verilen enerji paketlerinden oluştuğunu ileri sürmüştür.

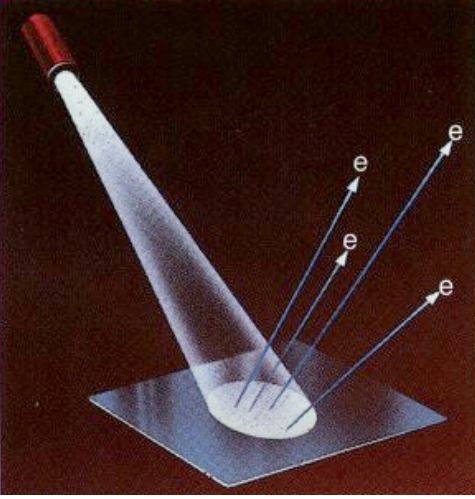
$$E_{\text{foton}} = h\nu$$

Örnek: 500 nm dalgaboyundaki fotonun enerjisi nedir?

$$\nu = c/\lambda = (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (5.0 \times 10^{-7} \text{ m})$$

$$\nu = 6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$E = h \nu = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})(6 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}) = 4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

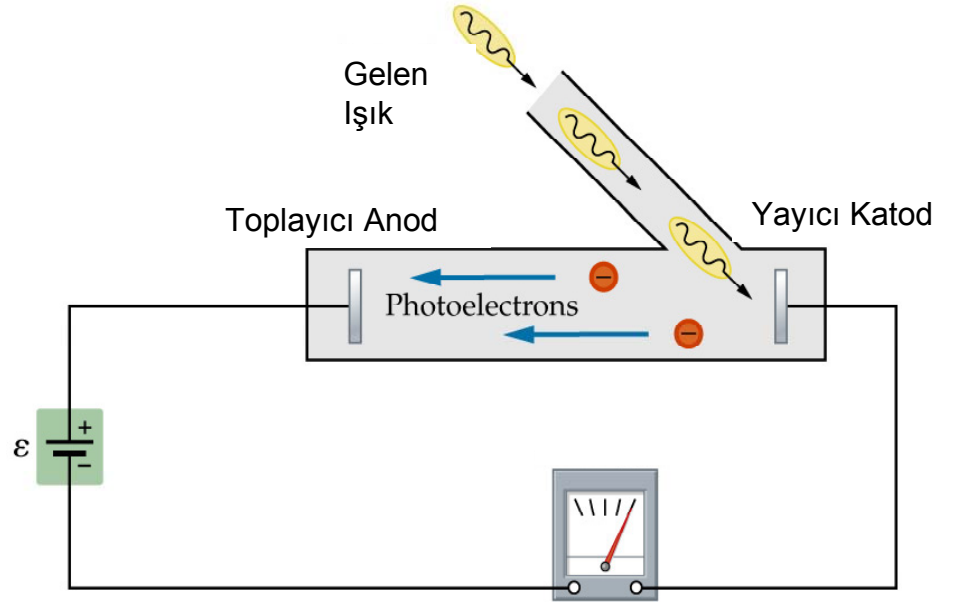


# Fotoelektrik Olay

## The Photoelectric Effect

Metal yüzeyine gelen ışık elektron koparır.

Buna **fotoelektrik olay** denir.



Fotoelektrik olay **klasik fizik** ile açıklanamaz.

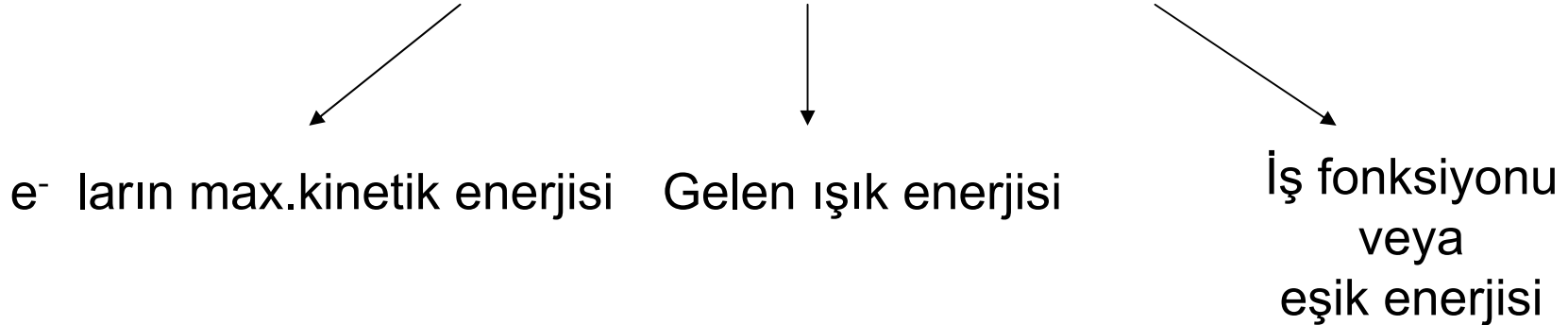
## Fotoelektrik Olay Gözlemlerinde

- Gelen ışığın şiddeti arttıkça kopan elektron sayısı artar.
- Gelen ışığın frekansı arttıkça kopan elektronların kinetik enerjisi artar; elektronların kinetik enerjisi ışığın şiddetine bağlı değildir.

# Fotoelektrik Olay'ın açıklanması

(Einstein 1905, Nobel Ödülü 1921)

$$K_{\max} = h\nu - \Phi$$



$\Phi$  = iş fonksiyonu (**work function**), metal yüzeyinden  $e^-$  koparılması için gereken en düşük enerji.

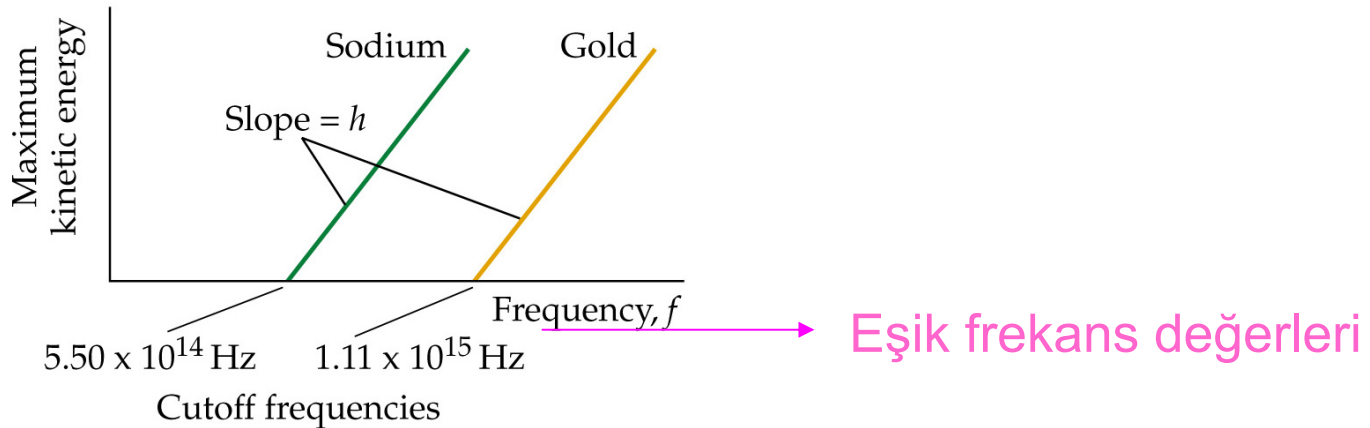
**SONUÇ** : Işık tanecik gibi davranır



## Kritik Frekans (Eşik Frekansı)

Işığın frekansı değiştirildiğinde  $K_{max}$  değerlerinde bir değişim gözlenir. Frekansla birlikte koparılan elektronların kinetik enerjileri artar. Ancak,

- Gelen ışığın frekansı belirli bir eşik değerin ( $f_0$  veya  $\nu_0$ ) altında ise, elektron koparılamaz, elektronların kopması ışığın şiddetine bağlı değildir (Frekansa bağlıdır).
- Yani, fotonun  $h\nu$  enerjisi  $\Phi$ 'den küçükse elektron koparılamaz.

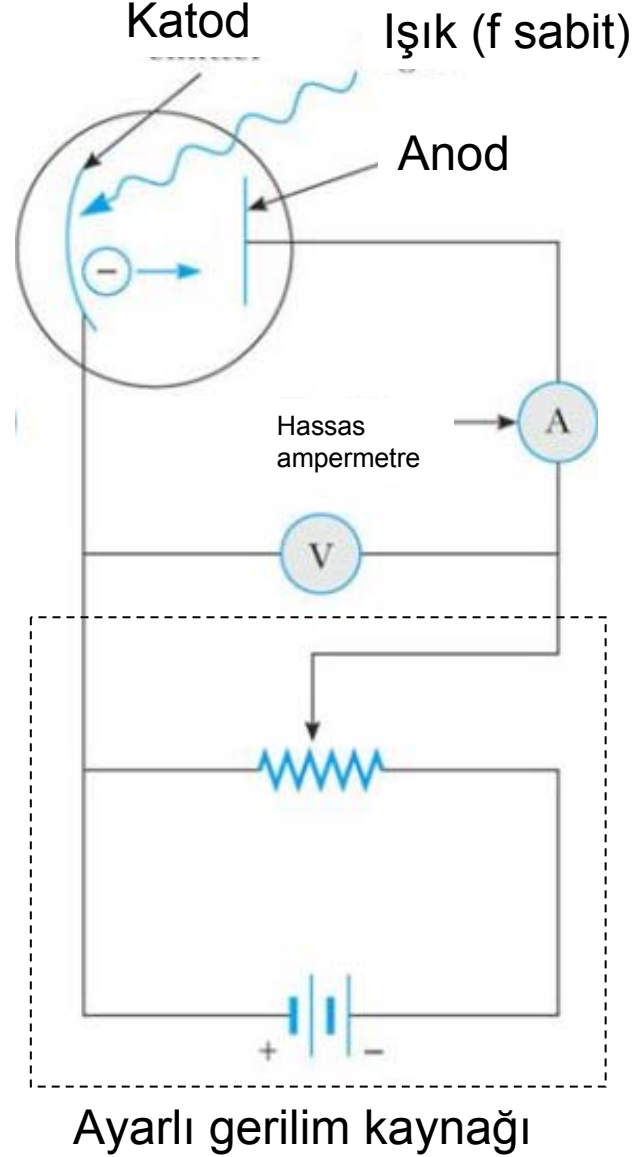


$h\nu_0 = \Phi$  olmak üzere,

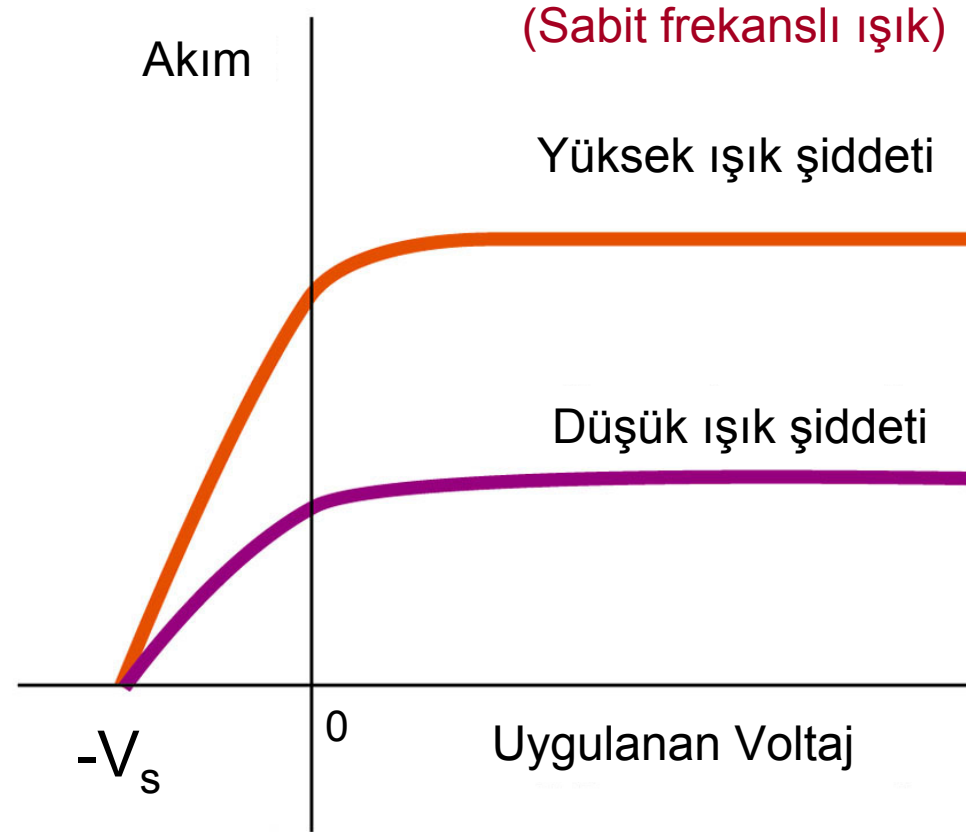
$\nu_0$  eşik frekansının altında hiçbir elektron koparılamaz.

## Durdurma Potansiyeli

Anod ucu daha düşük potansiyelde tutulduğunda, koparılan elektronlar itilir. Sadece bu itici  $V$  potansiyelini yenmeyi başaracak kinetik enerjiye sahip elektronlar anoda ulaşabilir.



Ters (itici) potansiyel artırıldığında, akım gittikçe azalır ve  $V_s$  değerine gelindiğinde sıfır olur.  $V_s$  ışık şiddetinden bağımsızdır.



$$V_s e = K_{\max} \quad (V_s : \text{Durdurucu potansiyel})$$

**ÖRNEK :** Na için  $\Phi = 4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$  dür. Eşik frekansına ( $\nu_0$ ) karşılık gelen dalgaboyu nedir?

$$\cancel{K}_{\text{max}}^0 = h\nu - \Phi$$

$$h\nu = \Phi = 4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$hc/\lambda = 4.4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{4.4 \times 10^{-19} \text{ J}} = \frac{(6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s})(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(4.4 \times 10^{-19} \text{ J})}$$

$$\lambda = 4.52 \times 10^{-7} \text{ m} = 452 \text{ nm} = \lambda_0 \text{ (Eşik Dalgaboyu)}$$