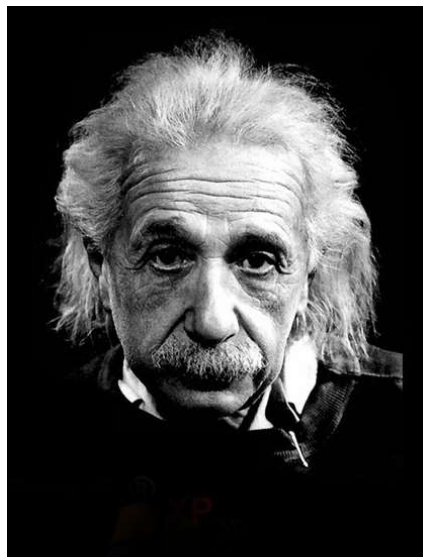


# 第18章 量子物理基础





**1900年，紫外灾难**



**1905年，光量子  
1906年，固体比热**



**1913年，氢原子模型**



**1923年，德布罗意波**



**1925年，矩阵力学  
1927年，测不准原理**



**1925年，波动力学**

## § 18.1 黑体辐射



# 为什么要讨论黑体辐射

---

电磁辐射是日常生活中最常见的现象

黑体辐射研究产生能量量子化概念具有划时代的物理意义

# 本讲基本要求

---

会使用斯特藩—玻耳兹曼定律和维恩位移定律进行相关计算

掌握普朗克能量量子化的物理意义



## 18.1.1 热辐射

**热辐射：由温度决定的物体的电磁辐射。**



## 18.1.1 热辐射

**辐射**

**吸收**



**温度变化**

**辐射 = 吸收**



**温度不变**

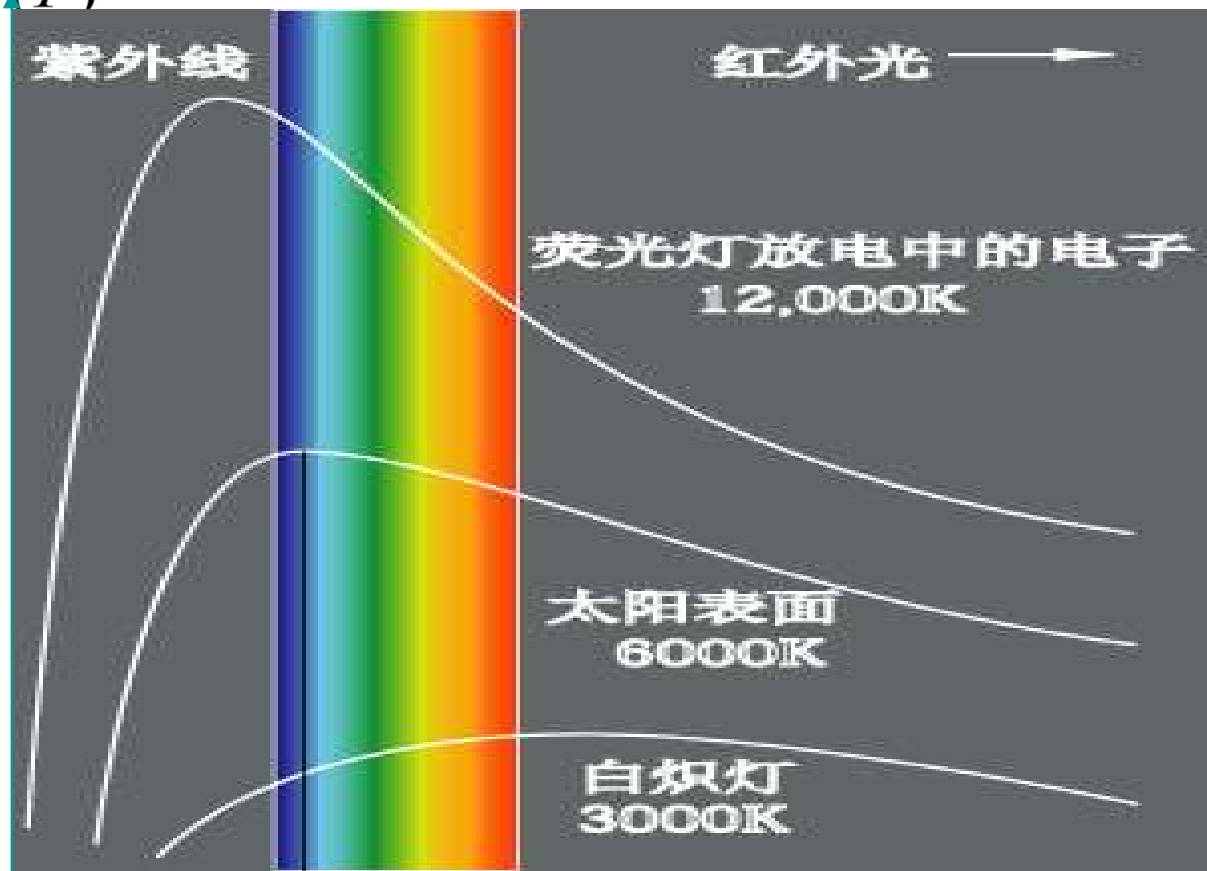
**平衡热辐射**

## 18.1.2 基尔霍夫辐射定律

**单色辐出度：温度  $T$  时，单位面积、单位时间、单位波长间隔内发射的辐射能**

$M_\lambda(T)$

$$M_\lambda(T) = \frac{dM_\lambda}{d\lambda}$$



$\lambda$



## 18.1.2 基尔霍夫辐射定律

波长 $\lambda$  附近单位波长区间被某物体吸收 (反射) 的能量与入射能量之比称为该物体的吸收比  $\alpha_\lambda(T)$  (反射比  $r_\lambda(T)$ )

相同温度下，各种物体对相同波长的单色辐出度和单色吸收比比值相等——基尔霍夫定律

第1个  
物体

第2个  
物体

第*i*个  
物体

黑体的单  
色辐出度

$$\frac{M_{1\lambda}(T)}{\alpha_{1\lambda}(T)} = \frac{M_{2\lambda}(T)}{\alpha_{2\lambda}(T)} = \Lambda = \frac{M_{i\lambda}(T)}{\alpha_{i\lambda}(T)} = \Lambda = M_{B\lambda}(T)$$

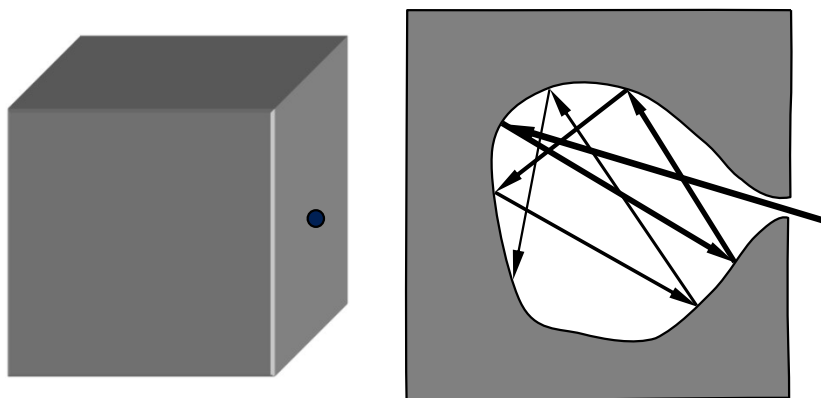
## ➤ 说明

- 连续
- 温度越高，辐出度越大。与材料性质有关。
- 物体辐射本领越大，其吸收本领也越大。

**辐出度：**物体（温度 $T$ ）单位表面在单位时间内发射的辐射能，为  $M(T) = \int_0^{\infty} M_{\lambda}(T) d\lambda$

### 18.1.3 黑体辐射的实验规律

- ◆ **黑体：** 能全部吸收各种波长的辐射且不反射和透射的物体。



**黑体辐射的特点：**

**黑体模型**

**温度**



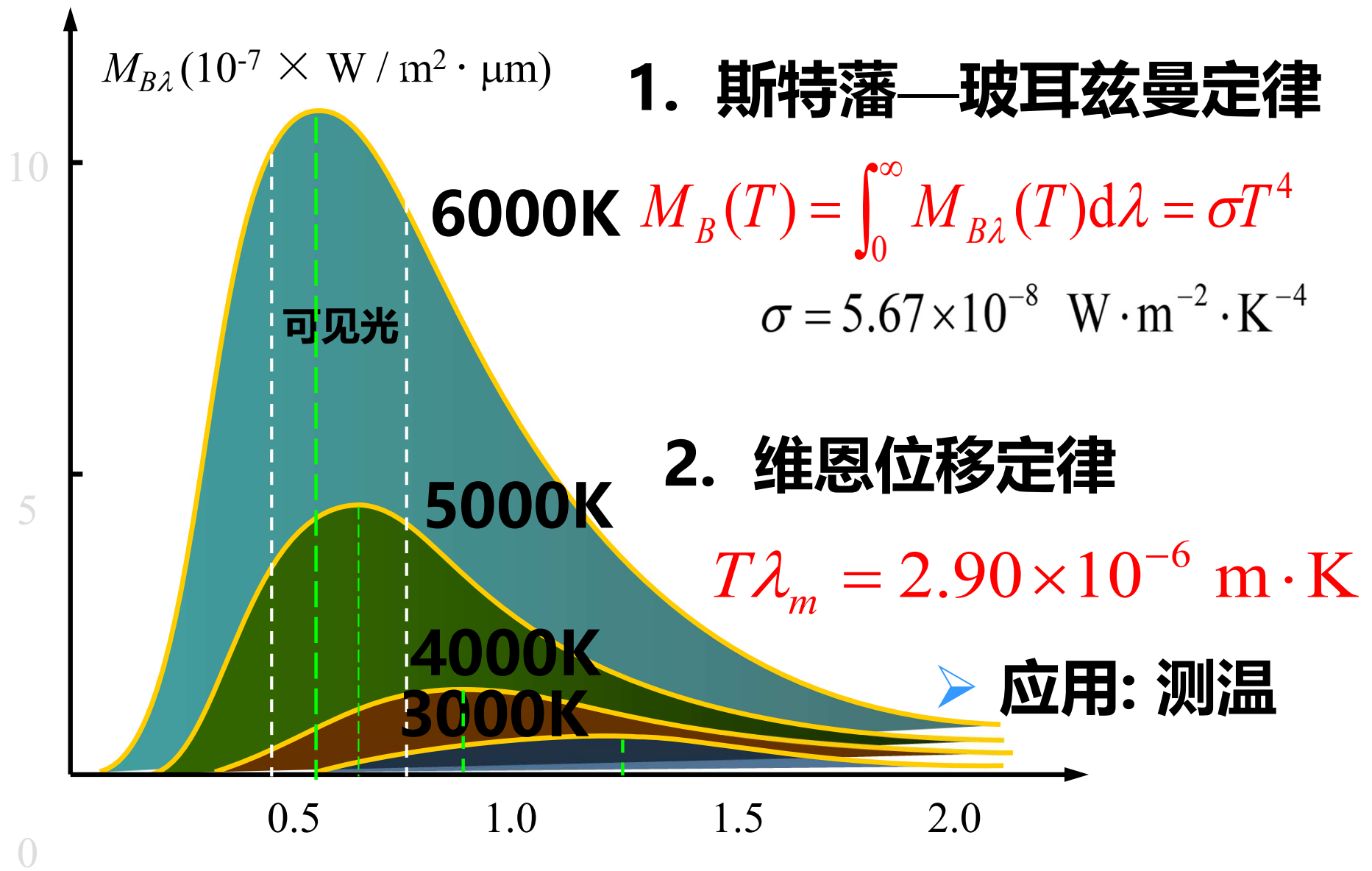
**黑体热辐射**



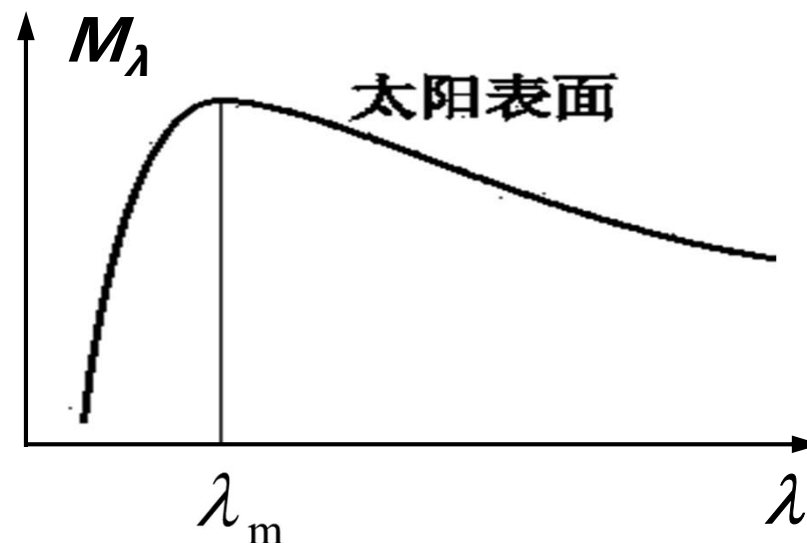
**材料性质**

**黑体热辐射本领最强，同时吸收本领最大。**

### 18.1.3 黑体辐射的实验规律



**例** 测得太阳光谱的峰值波长在绿光区域, 为  $\lambda_m = 0.47 \mu\text{m}$ . 试估算太阳的表面温度和辐出度。



**解** 太阳表面温度

$$T_s = \frac{2.9 \times 10^{-6}}{\lambda_m} = \frac{2.9 \times 10^{-6}}{0.47 \times 10^{-6}} = 6166 \text{ K}$$

**辐出度**

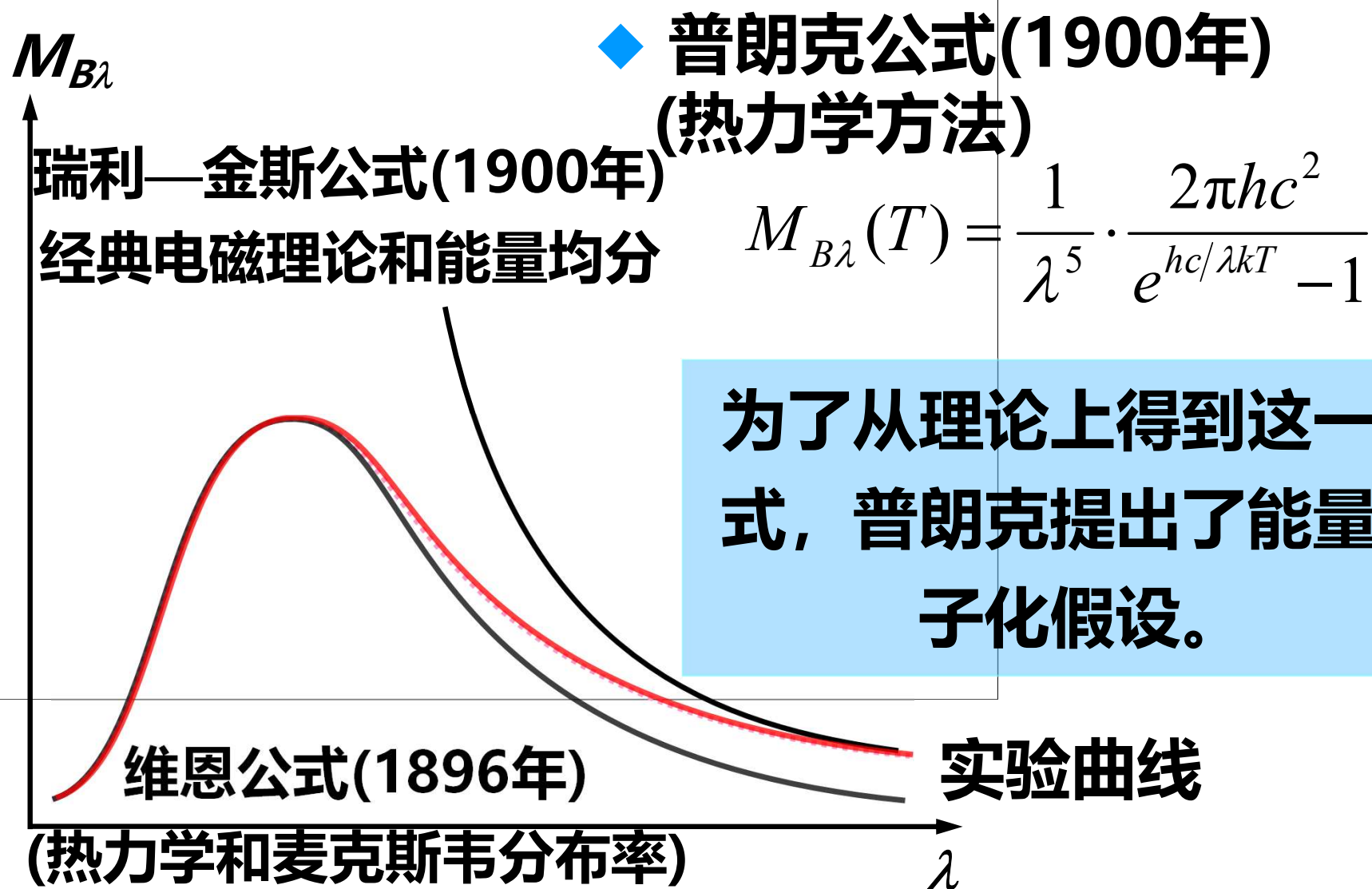
$$M_B(T) = \sigma T_s^4 = 8.20 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

➤ **说明**

太阳不是黑体, 所以按黑体计算出的  $T_s$  不是太阳的实际温度;  
 $M_B(T)$  高于实际辐出度。



## 18.1.4 普朗克量子假设



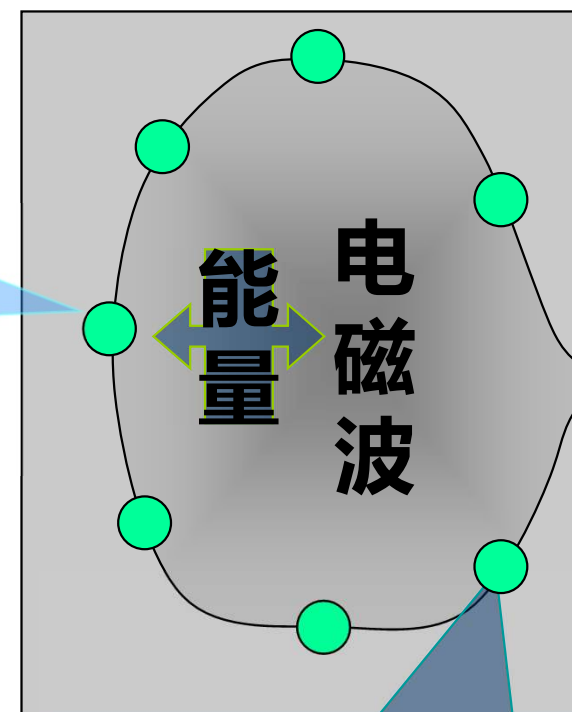
## ◆ 普朗克能量量子假设

若谐振子频率为 $\nu$ ，则其能量是  
 $h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots, nh\nu, \dots$

与腔内电磁场交换能量时，谐振子能量的变化是  $h\nu$  (能量子) 的整数倍。

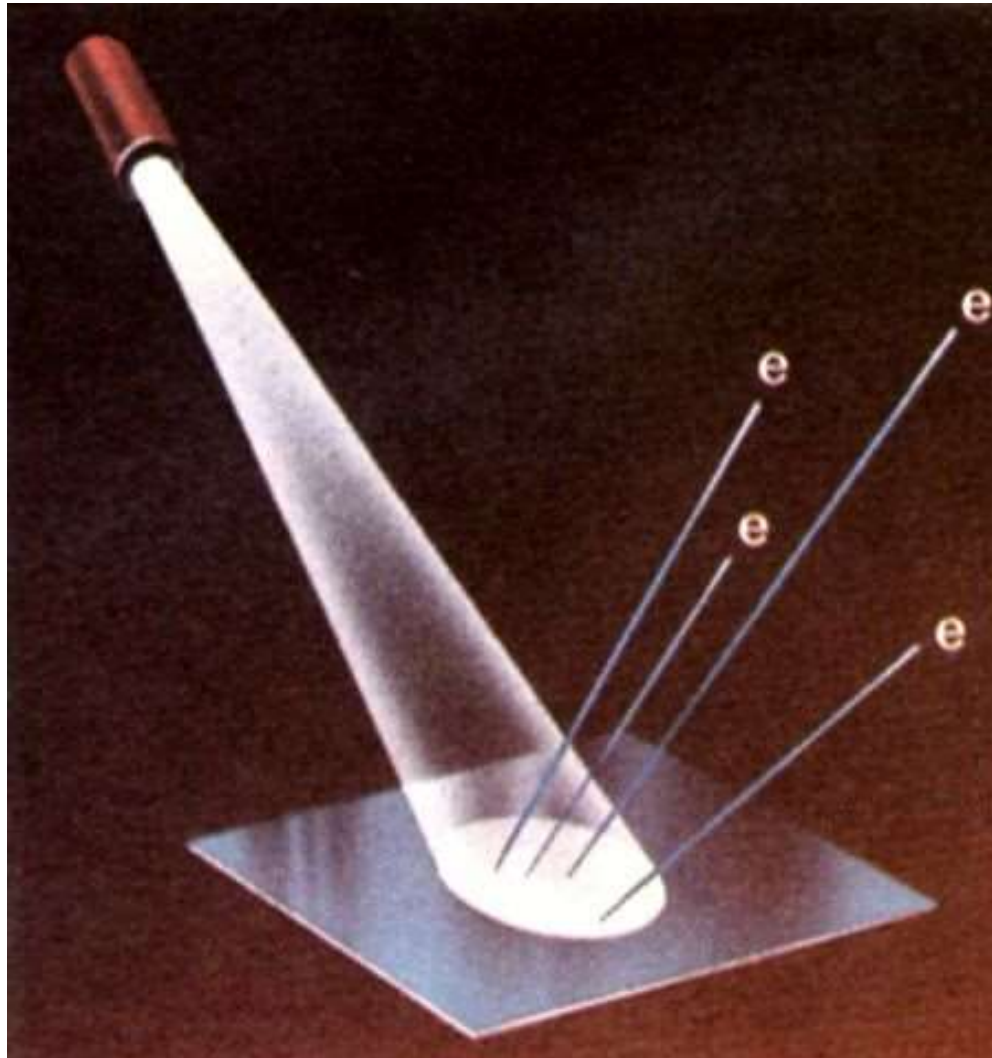
## ➤ 意义

能量量子化，打破了经典物理学中能量连续的观念。  
微观世界,在物理学发展史上起了划时代的作用。



腔壁上的原子  
(谐振子)

## § 18.2 光电效应 爱因斯坦光子假说



## 18.2.1 光电效应的实验规律及其与经典理论的矛盾

1. 饱和电流  $i_s \propto I$  (光强)

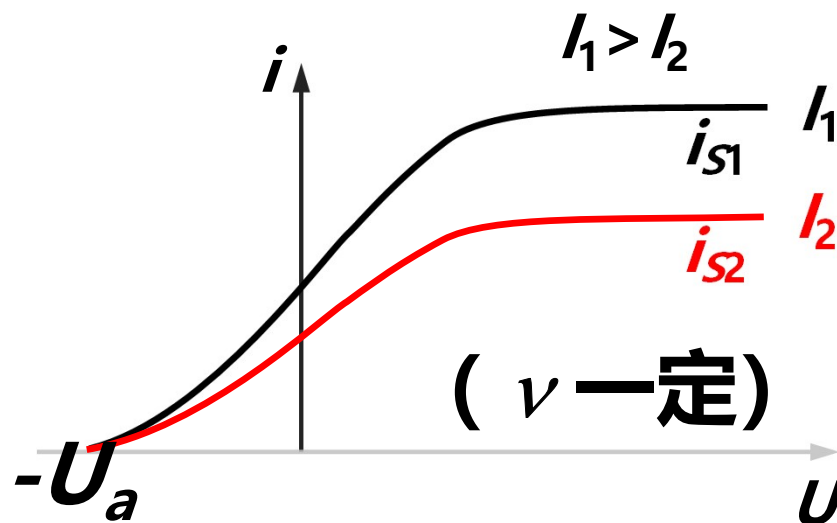
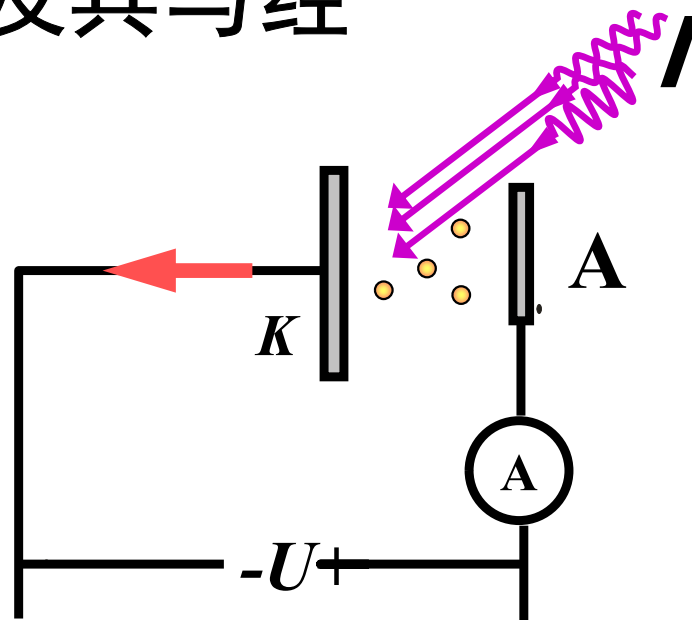
$i_s$ : 单位时间阴极产生的光电子数

2. 遏止电压  $U_a$

$$eU_a = \frac{1}{2}mv_m^2$$

?

遏止电压  $U_a$  与光的频率  $\nu$  成线性关系, 与光强无关。



伏安特性曲线

## 18.2.1 光电效应的实验规律及其与经典理论的矛盾

### 3. 截止频率 $\nu_0$ (红限)

$\nu < \nu_0$  时, 无光电效应发生。

❓ 电子在电磁波作用下作受迫振动, 直到获得足够能量(与光强  $I$  有关) 逸出, 不应存在红限  $\nu_0$  。

### 4. 即时发射

❓ 当光强很小时, 电子要逸出, 必须经较长时间的能量积累。



## 18.2.2 爱因斯坦的光子理论

光是粒子流，每一光子能量为  $h\nu$

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2 \quad (A \text{ 为逸出功})$$

### ➤ 结论

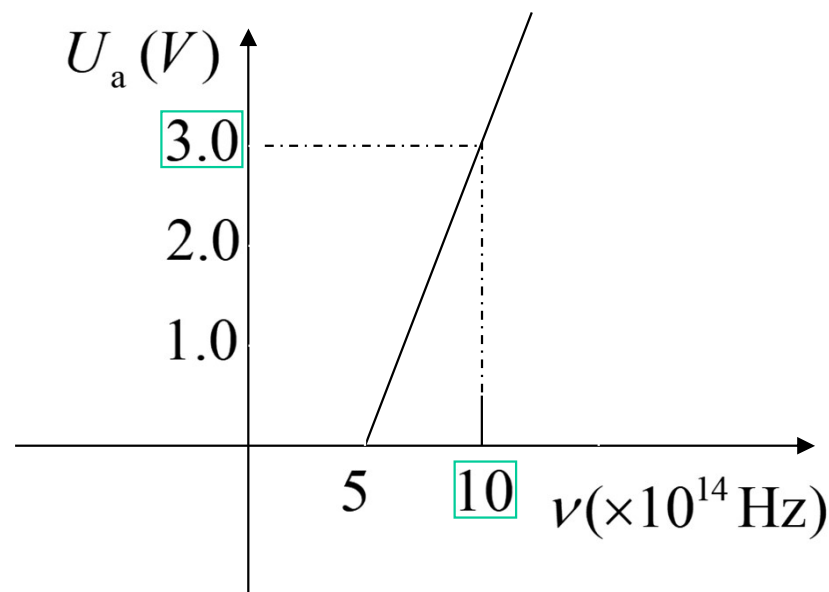
- $h\nu > A$  时，光电子克服逸出功  $A$  ( $\nu_o = A/h$ )。
- 光电子初动能和光频率  $\nu$  成线性关系。
- $I$  越强，光子数目越多，逸出的光电子越多。
- 电子吸收一个光子即可逸出

**例 图为某种金属的光电效应实验曲线。试根据图中所给数据求出普朗克常量和该金属材料的逸出功。**

**解 由爱因斯坦光电效应方程**

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2 \text{ 和 } \frac{1}{2}mv_m^2 = eU_a$$

**得** 
$$U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e}$$



**对照实验曲线，普朗克常量为**

$$h = e \tan \theta = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2.0}{(10.0 - 5.0) \times 10^{14}} = 6.4 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

**该金属材料的逸出功为**

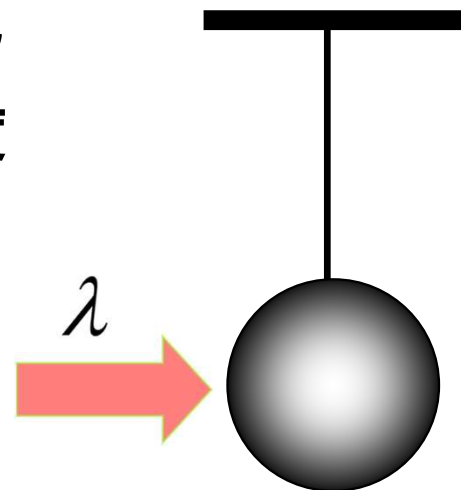
$$A = h\nu_0 = 6.4 \times 10^{-34} \times 5 \times 10^{14} = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.0 \text{ eV}$$

**例** 一铜球用绝缘线悬挂于真空中，被波长为  $\lambda=150\text{ nm}$  的光照射。已知铜的逸出功为  $4.5\text{eV}$ 。

**求** 铜球因失去电子而能达到的最高电势。

**解** 铜球失去电子后带正电，电势升高，使束缚电子的势垒也升高，设铜球表面的电势为  $U$ ，逸出电子的速度为  $v$ ，铜的逸出功为  $A$ ，爱因斯坦光电效应方程为

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A$$



铜球电势达最高  $U_{\max}$  时，逸出电子的最大动能为零，有

$$\begin{aligned} h\nu &= eU_{\max} + A & h\frac{c}{\lambda} &= eU_{\max} + A \\ U_{\max} &= \frac{h\frac{c}{\lambda} - A}{e} = \frac{(8.3 - 4.5)\text{eV}}{e} = 3.8(\text{V}) \end{aligned}$$

## 18.2.2 爱因斯坦的光子理论

光子能量

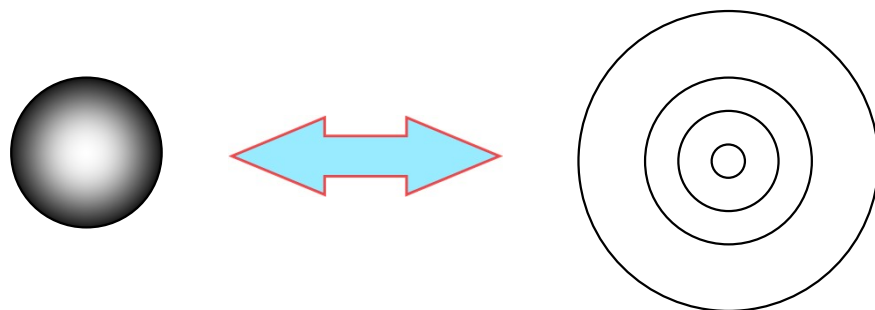
$$E = mc^2 = h\nu$$

光子质量

$$m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$$

光子动量

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}$$





@青青虫的微博





**利用光电效应制造的光电倍增管**  
**测量波长在 200~1200 nm 极微弱光的功率**

## 石墨烯隐形眼镜使佩戴者具有超级夜视能力

### 2014.3

---

石墨烯是超宽带光电探测器的首选材料，能够吸收紫外线至远红外线的光谱。在隐形眼镜镜片之间夹入石墨烯，能够建造一种具有捕捉可见光和红外线能力的传感器，使佩戴者具有“红外夜视”能力。



# 小结

---

$$M_B(T) = \int_0^{\infty} M_{B\lambda}(T) d\lambda = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

$$T\lambda_m = 2.90 \times 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{K}$$

$$h\nu = A + \frac{1}{2} m v_m^2$$

# 思考题

---

1. 如何理解光子的波粒二象性？