第 1 节　黑体辐射　普朗克假设

一、热辐射

任何物体在任何温度下，都在不断地向周围辐射各种波长的电磁波，这种由温度所决定的辐射称为热辐射

温度较低，辐射的能量较少，辐射能主要分布在长波范围

$T\uparrow$，辐射的能量↑，短波部分的能量所占比例↑

$T<800K$　　$T>800K$　　$T\uparrow$

铁块　　暗　　暗红　赤红　黄　白　蓝白

辐射能量=吸收能量，T 恒定，热平衡状态，平衡热辐射

热平衡状态下，辐射本领大的物体吸收本领也大：基尔霍夫定律

二、两个概念

1、 单位时间内，从物体单位表面上，所辐射的波长在 $\lambda\sim\lambda+d\lambda$ 之间的辐射能 $dE(\lambda,T)$ 与波长间隔 $d\lambda$ 之比

单色辐(射)出(射)度：$e(\lambda,T)=\dfrac{dE(\lambda,T)}{d\lambda}$

SI: $Js^{-1}m^{-3}$

$e(\lambda,T)$ 与 λ、T、材料、表面状况有关

2、 单位时间内，从物体单位表面上所辐射的电磁波的总能量：辐(射)出(射)度

$E(T)=\int dE(\lambda,T)=\int_0^\infty e(\lambda,T)d\lambda$　　**SI:** $Js^{-1}m^{-2}$

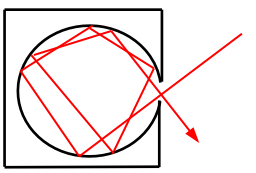
三、绝对黑体

能够把照射到它上面的电磁波全部吸收，

没有任何的反射和透射

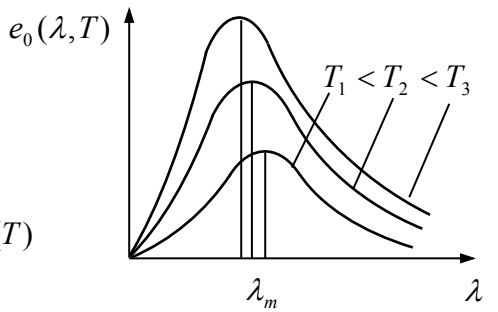
注意与黑色物体的区别

$e_0(\lambda,T)$ 仅与 λ、T 有关



四、黑体辐射实验规律

1、 辐射曲线



特征（1）$\lambda\to0$，$\lambda\to\infty$

$e_0(\lambda,T)\to0$

λ_m：峰值波长

$\int_0^\infty e_0(\lambda,T)d\lambda=E(T)$

（2）$T\uparrow$，$e_0(\lambda,T)\uparrow$，$E(T)\uparrow$，$\lambda_m\downarrow$

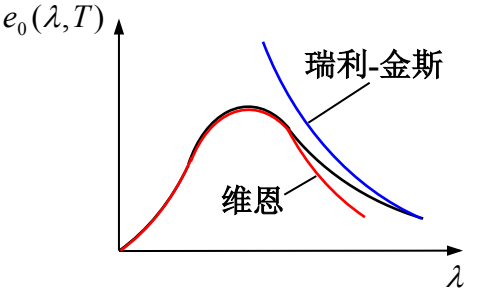
2、 斯特芬-玻耳兹曼定律

$E(T)=\sigma T^4$，$\sigma=5.67\times10^{-8}Wm^{-2}K^{-4}$：斯特芬-玻耳兹曼恒量

辐射高温计

3、 维恩位移定律：$T\lambda_m=b$，$b=2.897\times10^{-3}mK$

$e_0(\lambda,T)=f(\lambda,T)$，



1896，维恩公式

$e_0(\lambda,T)=c_1\lambda^{-5}e^{-c_2/\lambda T}$

1900 初，瑞利-金斯公式

$e_0(\lambda,T)=c_3\lambda^{-4}T$

$\lambda\to 0$，$e_0(\lambda,T)\to\infty$

紫外灾难

1900 末，普朗克公式：$e_0(\lambda,T)=\dfrac{2\pi hc^2\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT}-1}$

$h=6.63\times10^{-34}Js$:普朗克常数

五、普朗克假设

辐射物体中存在大量的带电线性谐振子，由于带电的原因，这些线性谐振子可以与周围的电磁场交换能量，与经典线性谐振子不同，这些带电线性谐振子的状态和能量不能连续变化，频率为ν的谐振子其能量只能取$h\nu$，$2h\nu$，$\cdots,nh\nu,\cdots$，只能取$h\nu$的整数倍，谐振子和周围电磁场交换能量时也只能以$h\nu$的整数倍进行

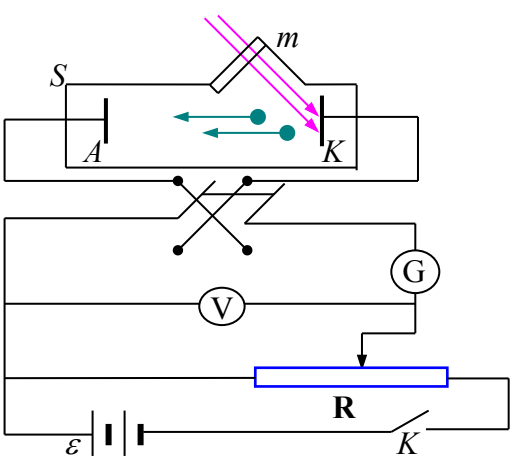
$\varepsilon=h\nu$：能量子

第 2 节　光电效应　（爱因斯坦）光量子理论

金属及其化合物在光的照射下发射电子的现象：光电效应

一、实验规律

1、实验装置



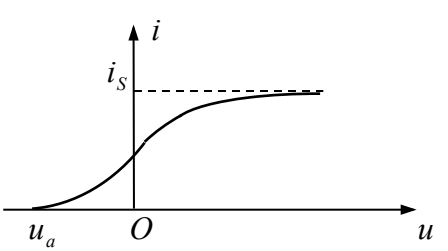
2、伏安特性

（**1**）$u\uparrow$，$i\uparrow$

（**2**）$i\to i_S$：饱和光电流

（**3**）$u=0$，$i\neq 0$

（**4**）u_a：遏止电压



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

$\dfrac{1}{2}mv_m^2$：光电子的最大初动能

3、四个实验规律

（1）ν 一定，$i_S \propto I$

（2）$\forall$ 金属，$\exists$ 截止频率 ν_0（红限频率）

$\nu \geq \nu_0$，可以产生光电效应

$c/\nu_0 = \lambda_0$：红限波长

$\lambda \leq \lambda_0$，可以产生光电效应

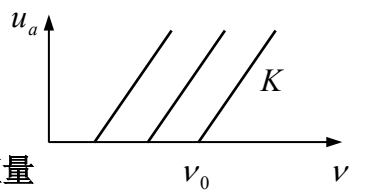
不同的金属，截止频率不同

（3）u_a 或 $\frac{1}{2}mv_m^2$ 与 ν 成线性关系

与光强无关

$u_a = K(\nu - \nu_0)$，$\nu \geq \nu_0$

斜率 K：与金属材料无关的恒量



（4）$\nu \geq \nu_0$，光电子即时发射，$\Delta t \leq 10^{-9} s$，与光强无关

二、经典解释与困难

光是电磁波，$I \propto E^2$，光的能量连续分布在电磁场中

电子在周期性外电场作用下作受迫振动

光强越大，电子振幅越大，获得能量越大，初动能越大

只要光强足够强，用任何频率的光照射金属都应能产生光电效应

光强越弱，发射电子滞后的时间越长

三、爱因斯坦的光量子理论　光电效应方程

光是一粒一粒的以光速 c 运动的粒子流，光量子（光子）

一个光子的能量：$\varepsilon = h\nu$

光强：$I = Nh\nu$，N：光子流密度

光子流密度 N 与光子数密度 n 的区别，$N = nc$

光强（光的能流密度）I 与光的能量密度 w 的区别

$I = wc$，$w = nh\nu$，$I = wc = nh\nu \cdot c = Nh\nu$

$h\nu = A + \frac{1}{2}mv_m^2$ ——— 光电效应方程

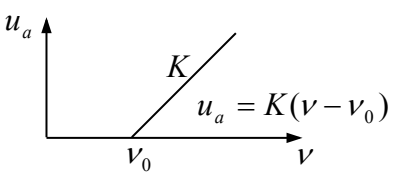
A：逸出功

$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - A \geq 0$，$\nu \geq \frac{A}{h} = \nu_0$，$A = h\nu_0$

$eu_a = h\nu - A$，$u_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e}$，$\frac{h}{e} = K$：恒量

电子一次吸收一个光子，即时发射

$I = Nh\nu$，ν 不变，$I\uparrow$，$N\uparrow$，$i_S\uparrow$，$i_S \propto N \propto I$



$h = eK$

$A/e = u_0$：逸出电势，注意与 ***AK*** 之间电压及遏止电压的区别

四、光的波粒二像性

光的干涉、衍射和偏振→波动性

光电效应、康普顿效应→粒子性

光具有波粒二像性

频率ν、波长λ的单色光，光子能量：$E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

相对论质量：$m = \dfrac{E}{c^2} = \dfrac{h\nu}{c^2}$，$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$，静止质量$m_0 = 0$

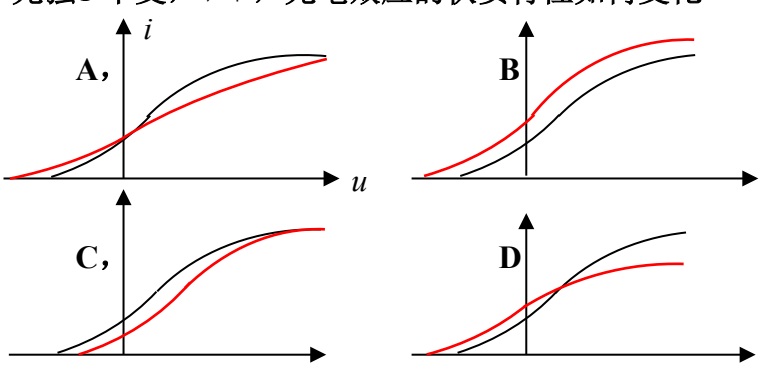
能量动量关系：$E^2 = E_0^2 + c^2P^2$，$E = cP$

光子动量$P = \dfrac{E}{c} = \dfrac{h\nu}{c} = \dfrac{h}{\lambda}$

$$\boxed{\begin{aligned} E &= h\nu \\ P &= \frac{h}{\lambda} \end{aligned}}$$

E、P描述光的粒子性，ν、λ描述光的波动性

例：光强I不变，$\nu\uparrow$，光电效应的伏安特性如何变化？



$\nu\uparrow$，$u_a\uparrow$，$I = Nh\nu$，I不变，$\nu\uparrow$，$N\downarrow$，$i_S\downarrow$

例：用$\lambda = 589.3nm$的黄光照射光电池，为遏止所有电子到达阳极所施加的遏止电压$u_a = 0.3V$

求：当用$\lambda' = 400nm$的光照射光电池时，遏止电压$u_a' = ?$

解：$eu_a = h\nu - A$ （1） $eu_a' = h\nu' - A$ （2）

$$e(u_a' - u_a) = h(\nu' - \nu) = hc(\frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda})$$

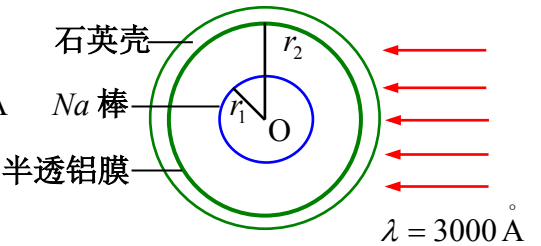
$$u_a' = u_a + \frac{hc}{e}(\frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda}) = 1.3V$$

例：共轴系统，$r_1 = 0.6cm$

$r_2 = 1cm$，$l = 20cm$

$\lambda_{Na} = 5400\,\mathring{A}$，$\lambda_{Al} = 2960\,\mathring{A}$

用 $\lambda = 3000\,\mathring{A}$ 照射



求：平衡后，系统带电量 $Q = ?$

解：$\lambda_{Al} < \lambda < \lambda_{Na}$，$Na$ 棒产生光电效应，铝膜不产生光电效应

$$eu_a = \frac{1}{2}mv_m^2 = h\nu - A = h\nu - h\nu_{Na} = hc(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{Na}})$$

$$u_a = \frac{hc}{e}(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{Na}})$$

$$Q = Cu_a = \frac{2\pi\varepsilon_0 l}{\ln\frac{r_2}{r_1}} \cdot \frac{hc}{e}(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{Na}}) = 4.0 \times 10^{-11} C$$