电磁辐射的量子性

热辐射

基本概念

物体以电磁波形式发射能量

单色辐出度：单位时间内从单位表面积发射的λ到λ+dλ波长范围内的辐射能

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

辐射出射度：一定温度下从单位面积单位时间发射的辐射能

$$M(T)=\int_0^\infty M_\lambda(T)\,d\lambda$$

吸收系数/反射系数：$\alpha(\lambda,T)+\gamma(\lambda,T)=1$ （不透明物体）

绝对黑体：$\alpha_B(\lambda,T)=1$ $\gamma_B(\lambda,T)=0$

基尔霍夫定律

$$f_\lambda(T)=\underbrace{\frac{M_{1\lambda}(T)}{\alpha_1(\lambda,T)}=\frac{M_{2\lambda}(T)}{\alpha_2(\lambda,T)}}_{\text{一切物体}}=\cdots=\underbrace{M_{B\lambda}(T)}_{\text{绝对黑体}}$$

绝对黑体的热辐射定律

Stefan-Boltzmann定律：$M_B(T)=\int_0^\infty M_{B\lambda}(T)\,d\lambda=\sigma T^4$

$\sigma=5.67\times10^{-8}\,W\cdot m^{-2}K^{-4}$

Wien位移定律：$T\lambda_m=b$ $b=2.898\times10^{-3}\,m\cdot K$

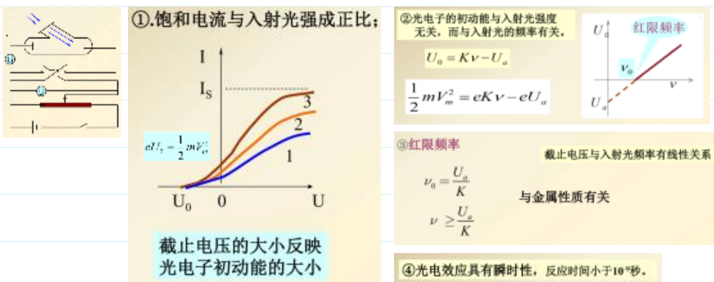
普朗克能量子假设

① 频率为ν的谐振子能量只能为：$\varepsilon_n=nh\nu$ $n=0,1,2\cdots$

② 振子只能一份份辐射/吸收能量

$$\Rightarrow M_{B\lambda}(T)=\frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1\right)}$$

光电效应



Einstein光子理论：

$$\frac{\overset{\text{光强}}{I}}{\underset{\text{光子数}}{N}}=h\nu=E_{km}+\underset{\text{逸出功}}{A}=\frac{1}{2}mV_m^2+A$$

$$\frac{1}{2}mV_m^2=eU_0=h\nu-A$$

$$U_0=\frac{h}{e}\nu-\frac{A}{e}$$

红限频率 $\nu_0=\frac{A}{h}$

光子能量、动量、质量：

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

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

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

康普顿效应

$$\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)=\frac{2h}{m_0c}\sin^2\frac{\varphi}{2}$$

康普顿效应

$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\varphi) = \frac{2h}{m_0 c}\sin^2\frac{\varphi}{2}$

康普顿波长 $\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = 0.0024nm$

量子力学

实物粒子的波动性

—— De.Broglie波：$\lambda = \frac{h}{m_0 v}$

$m_0 v$：动量

不确定性关系

$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$ $\qquad \hbar = \frac{h}{2\pi}$

$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$

波函数

$\psi(\vec{r}, t)$

统计解释：在dV内出现粒子的概率：

$dW = |\psi(\vec{r}, t)|^2 \cdot dV$

条件：
- 单值、有限、连续
- $\int_\Omega |\psi(\vec{r}, t)|^2 dV = 1$

Schrödinger方程

定态：$\Psi(x,t) = \varphi(x) \cdot e^{-\frac{i}{\hbar}Et}$

$\frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}[E - E_p]\varphi(x) = 0$

一维无限深势阱中的粒子

$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{n\pi}{a}x \qquad n = 1, 2, 3\cdots$

能量 $E_n = n^2 \cdot \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2} \qquad n = 1, 2, 3\cdots$

零点能 $E_1 = \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}$

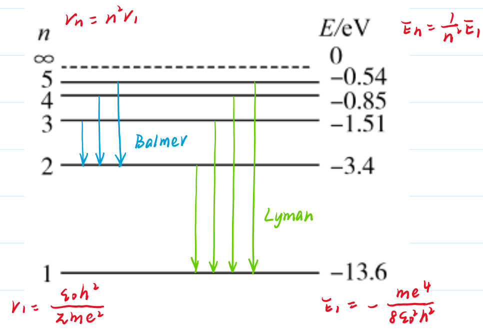
势垒 隧道效应

—— 从$x<0$进入$x>a$的概率：$T = \frac{|C|^2}{|A_1|^2} \propto e^{-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m(E_{p0}-E)}a} = e^{-2ka}$，$k = \sqrt{\frac{8\pi^2 m(E_{p0}-E)}{h^2}}$

原子结构

玻尔氢原子理论

- 实验规律　$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)$　k=2时为Balmer线系
- 基本假设
  - 定态假设
  - 跃迁假设　$h\nu_{if} = E_i - E_f$　光子能量
  - 量子化条件　$L = n\hbar$,　$n = 1, 2 \cdots$ (量子数)
- 电子轨道与定态能级



量子力学描述

- 量子数
  - 主量子数 n　$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$　$n = 1, 2 \cdots$
  - 角量子数 l　$L = \sqrt{l(l+1)}\,\hbar$　$l = 0, 1 \cdots$
  - 磁量子数 m_l　$L_z = m_l \hbar$　$m_l = 0, \pm1, \pm2 \cdots \pm l$
- 概率分布与量子云

电子的自旋

- 自旋量子数 s　$S = \sqrt{s(s+1)}\,\hbar$　$s = \frac{1}{2}$,　即 $S = \sqrt{\frac{3}{4}}\,\hbar$
- 自旋磁量子数 m_s　$S_z = m_s \cdot \hbar$　$m_s = \pm\frac{1}{2}$,　即 $S_z = \pm\frac{1}{2}\hbar$

电子壳层结构

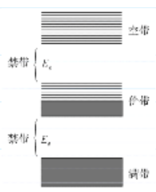
例：$3d^{10}$ → 状态数　⇒

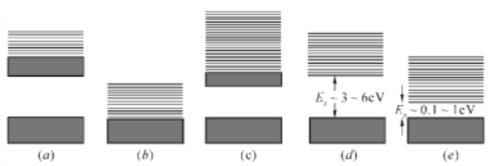
n	l	m_l	m_s	共10种
3	2	$0, \pm1, \pm2$	$\pm1/2$	

主量子数 n

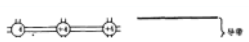
角量子数 l ： 0为s ， 1为p， 2为d， 3为f …

能带





导体　导体　导体　绝缘体　半导体(本征)

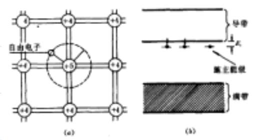


(本征)

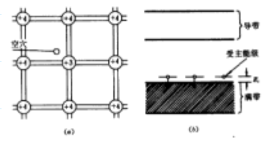
固体能带

半导体

n型：四价里加少量五价
电子导电



p型：四价里加少量三价
空穴导电



p-n结