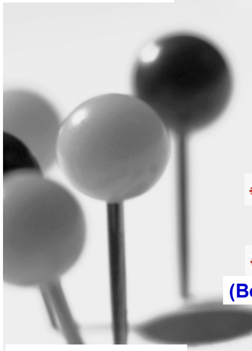
NO. 14 -2



第十九章 量子物理学

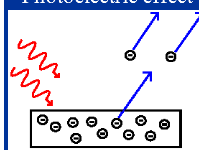
- 康普顿效应 (Compton effect)
- 氢原子的玻尔理论 (Bohr's theorem of hydrogen atom)

2016-12-20

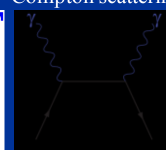
Photon-particle Interaction

Low energy phenomena →	Photoelectric effect
Mid-energy phenomena →	Compton scattering
High energy phenomena →	Pair production

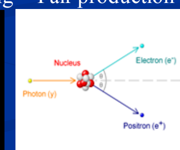
Photoelectric effect



Compton scattering



Pair production



可见光的散射——廷德尔效应

乳胶溶液中散射光在各个方向的波长与入射光几乎相同。

瑞利散射——蔚蓝的天空

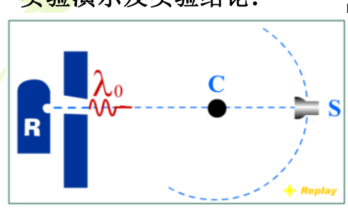
瑞利散射定律：散射体线度比入射光波长小很多时，其散射强度与光波波长的四次方成反比，

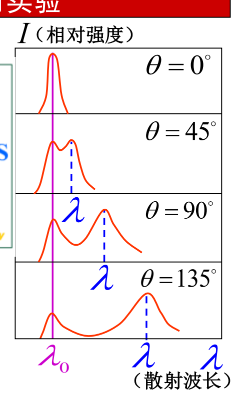
瑞利散射—— 夕阳

旭日和夕阳呈红色，是由于白光中的短波成分更多被散射掉了，在直射的日光中剩余较多的自然是长波成分了。

三、康普顿散射实验

实验演示及实验结论：





- 在散射线中除有λ_0，还 λ，（$\lambda > \lambda_0$）；
- $\lambda - \lambda_0$与λ_0无关，但随散射角 θ增大而增大。

四、光子说的解释

1. 定性解释

- 频率为ν_0的X射线看成由一些能量为$\varepsilon_0 = h\nu_0$ 的光子组成;
- 入射光子与介质表面（受原子束缚较弱的）电子碰撞为弹性碰撞，且电子在碰撞前可认为静止;
  - ✓ 电子从入射光子处获得动能，形成反冲电子，同时产生散射光子;
  - ✓ 全过程满足能量守恒和动量守恒，散射光子的能量（频率）小于入射光子的能量（频率），波长变长;
- 若入射光子与介质中（受原子束缚较强的）电子碰撞，电子动能不变，散射光子波长亦不变。

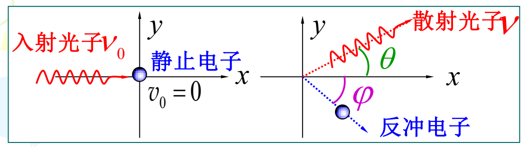
四、光子说的解释

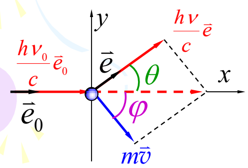
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$$

$$m_0 = 9.11\times10^{-31}\ \mathrm{kg}$$

2. 定量解释

光子与电子弹性碰撞





能量守恒

$$h\nu_0 + m_0c^2 = h\nu + mc^2$$

动量守恒

$$\frac{h\nu_0}{c}\vec{e}_0 = \frac{h\nu}{c}\vec{e} + m\vec{v}$$

四、光子说的解释

2. 定量解释

- 康普顿公式

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta) \quad = \lambda_C(1-\cos\theta)$$

- 康普顿波长 $\lambda_C = \dfrac{h}{m_0c} = 2.43\times10^{-12}\ \mathrm{m}$

3. 物理意义 (1920年发现，1927年Nobel Prize)

- 对于波长较短的电磁波，康普顿效应显著.
- 证明了光子假设、狭义相对论力学的正确性.
- 微观粒子的相互作用也遵守能量守恒和动量守恒定律

注意： 相对原子质量小的物质康普顿效应显著!

例： 波长$\lambda_0 = 1.00\times10^{-10}\mathrm{m}$ 的X射线与静止的自由电子作弹性碰撞，在与入射角成90°角的方向上观察，

问：（1）散射波长的改变量$\Delta\lambda$ 为多少?

（2）反冲电子得到多少动能?

（3）反冲电子的动量为多少?

(1) $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_0c}(1-\cos\theta) = 2.43\times10^{-12}\ \mathrm{m}$

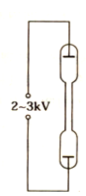
(2) $E_k = mc^2 - m_0c^2 = \dfrac{hc}{\lambda_0} - \dfrac{hc}{\lambda} = hc\left(\dfrac{1}{\lambda_0} - \dfrac{1}{\lambda_0+\Delta\lambda}\right) = 4.72\times10^{-17}\ \mathrm{J} = 295\ \mathrm{eV}$

(3) $p = h\sqrt{\dfrac{1}{\lambda_0^2} + \dfrac{1}{\lambda^2}} = 9.27\times10^{-24}\ \mathrm{kg\cdot m\cdot s^{-1}}$

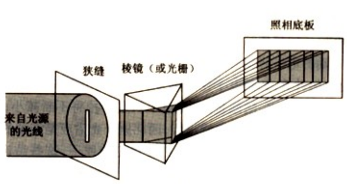
15－4 氢原子的玻尔理论

一、氢原子光谱的实验规律

1. 测量原子光谱的实验装置



放电管

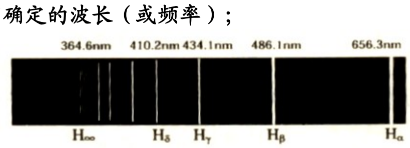


摄谱仪

一、氢原子光谱的实验规律

2. 氢原子光谱的实验规律

- 氢原子光谱是彼此分立的线状光谱，每一条谱线具有确定的波长（或频率）;



1885 年 巴耳末 $\lambda = 364.56\dfrac{n^2}{n^2-2^2}\mathrm{nm}, n = 3,4,5,\cdots$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right),\ n = 3,4\cdots \quad R = 1.097\times10^7\ \mathrm{m^{-1}}$$

$n = \infty, \lambda = \dfrac{4}{R} = 364.56\ \mathrm{nm}$ 为巴耳末系的系限波长!

一、氢原子光谱的实验规律

紫外　莱曼系（1916）　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=2,3,\cdots$

可见光　巴尔末系(1885)　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=3,4,\cdots$

红外　帕邢系(1908)　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=4,5,\cdots$

布拉开系(1922)　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=5,6,\cdots$

普丰德系(1924)　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=6,7,\cdots$

汉弗莱系(1953)　$\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{6^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=7,8,\cdots$

一、氢原子光谱的实验规律

2. 氢原子光谱的实验规律

◈ 每一条光谱线的波数 $\sigma=\frac{1}{\lambda}$ 可以表示为两项之差；

波数 $\sigma=\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2})$　里得伯—里兹合并原则

$$n_f=1,2,3,4,\cdots$$

$$n_i=n_f+1,\ n_f+2,\ n_f+3,\cdots$$

里德伯常量 $R=1.0973731534\times10^7\ \mathrm{m}^{-1}$

一、氢原子光谱的实验规律

氢原子光谱的巴耳末系 $\frac{1}{\lambda}=R(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}),\ n=3,4,\cdots$

$n_i=\infty$　364.6 nm　H_∞

$n_i=6$　410.2 nm　H_δ

$n_i=5$　434.1 nm　H_γ

$n_i=4$　486.1 nm　H_β

$n_i=3$　656.3 nm　H_α

原子的内部结构存在固有的规律！

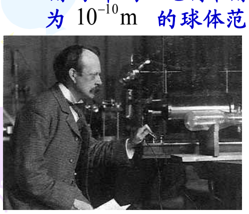
?

二、原子结构模型

1. 1903年，汤姆孙（J.J.Thomson）提出原子的“葡萄干蛋糕模型”

英国科学家J.J 汤姆孙于1897年发现了电子，被誉为“一位最先打开通向基本粒子物理学大门的伟人”，开辟了原子物理学的崭新研究领域。

原子中的正电荷和原子的质量均匀地分布在半径为 10^{-10}m 的球体范围内，电子浸于其中。



● 能使原子处于稳定状态；

● 对电子数和原子量的理论结果与实验不符！

1906年因发现电子获得Nobel prize in Physics.

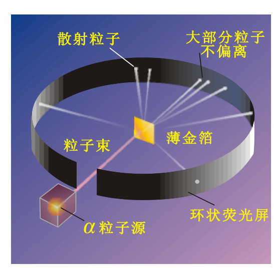
二、原子结构模型

2. 1911年，卢瑟福（E.Rufherford）的原子有核模型（行星模型）

1908年因发现天然放射性获Nobel prize in Chemistry.

1909年，H.W.Geiger & E.Marsden

α粒子散射实验



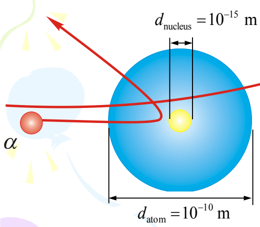
● 大多数α粒子沿原方向或小角度散射方向运动；

● 每8000个α粒子中有一个散射角大于90度甚至接近于180度。

二、原子结构模型

2. 1911年，卢瑟福（E.Rufherford）的原子有核模型（行星模型）

$m_{\text{nucleus}}=1837m_{\text{electron}}$

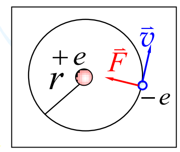


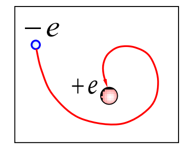
原子的中心有一带正电的原子核，它几乎集中了原子的全部质量，电子围绕这个核旋转，核的尺寸与整个原子相比是很小的．

二、原子结构模型

3. 经典理论的困难

- 原子不断地向外辐射能量，能量逐渐减小，电子绕核旋转的频率也逐渐改变，发射光谱应是连续谱；与实验为线状谱矛盾！
- 随着原子总能量减小，电子轨道半径不断减少，最后落到原子核上，原子不稳定与原子稳定矛盾！





三、玻尔的氢原子理论

玻尔理论的三个假设（1913）

假设一 电子在原子中，只能在一些特定的轨道上运动而不辐射电磁波，这时原子处于稳定状态（定态），并具有一定的能量. —— **定态假设**

假设二 电子在稳定圆轨道上运动时，其角动量L等于$h/2\pi$ 的整数倍. 主量子数$n=1,2,3,\cdots$

$$L=mvr=n\frac{h}{2\pi}$$

—— **（角动量）量子化条件**

假设三 当原子从高能量 E_i 的定态跃迁到低能量E_f 的定态时，要发射频率为ν 的光子.

$$h\nu=E_i-E_f$$

—— **频率条件**

三、玻尔的氢原子理论

1. 电子轨道半径 —— **位置量子化**

$$r_n=\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}n^2=r_1 n^2 \qquad (n=1,2,3,\cdots)$$

$$n=1 \qquad r_1=\frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m e^2}=5.29\times10^{-11}\text{m}$$ **玻尔半径**

2. 氢原子轨道能级 —— **能量量子化**

$$E_n=-\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\frac{1}{n^2}=\frac{E_1}{n^2} \qquad (n=1,2,3,\cdots)$$

$$n=1 \qquad E_1=-\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}=-13.6\text{eV}$$ **基态能量**

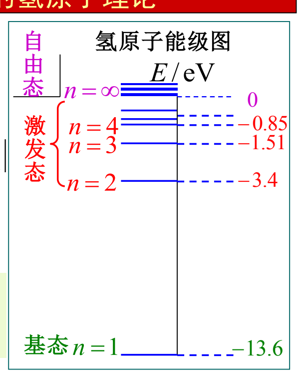
三、玻尔的氢原子理论

说明：

（1）氢原子的能量是一系列分立的值——能级。

（2）由于$E_\infty=0$，则$|E_1|$为把电子从第一玻尔轨道移到无穷远处所需的能量值，称为电离能。

上述结论1914年由**弗兰克—赫兹**实验 证实，**1925年获Nobel prize.**



三、玻尔的氢原子理论

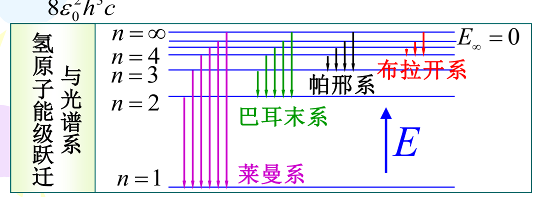
3. 玻尔理论解释氢原子光谱

$$E_n=-\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\cdot\frac{1}{n^2}$$

$$h\nu=E_i-E_f$$

$$\sigma=\frac{1}{\lambda}=\frac{\nu}{c}=\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right), \quad n_i>n_f$$

$$\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3 c}=1.097\times10^7\text{m}^{-1}\approx R$$ （里德伯常量）



四、玻尔理论的成就与不足

1. 成就 1922年获Nobel prize.

◆ 第一次从理论上说明了氢原子和类氢原子的光谱结构;

◆ 第一次指出经典理论不能完全适用于原子内部运动过程，揭示了微观体系特有的量子化规律（能量、位置，角动量），对量子力学理论的建立起了巨大的推动作用。

2. 不足

◆ 不能解释多电子原子的光谱结构;

◆ 对谱线的强度、宽度无能为力;

◆ 既把微观粒子看成是遵守经典力学的质点，又赋予它们量子化特点，显得不够协调。

四、玻尔理论的成就与不足

今日作业

15－14，17，18