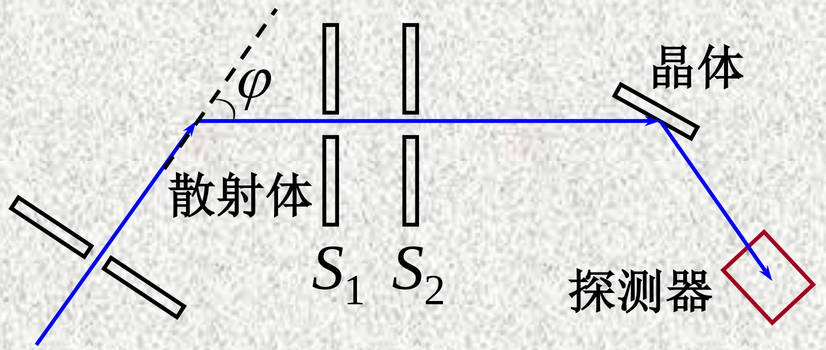
§ 14-3 康普顿效应

一、康普顿效应及其观测

康普顿效应实验装置



实验表明：散射的X射线中不仅有与入射线波长相同的射线，而且也有波长大于入射线波长的射线。这种现象就称为康普顿效应。

二、光子论对康普顿效应的解释

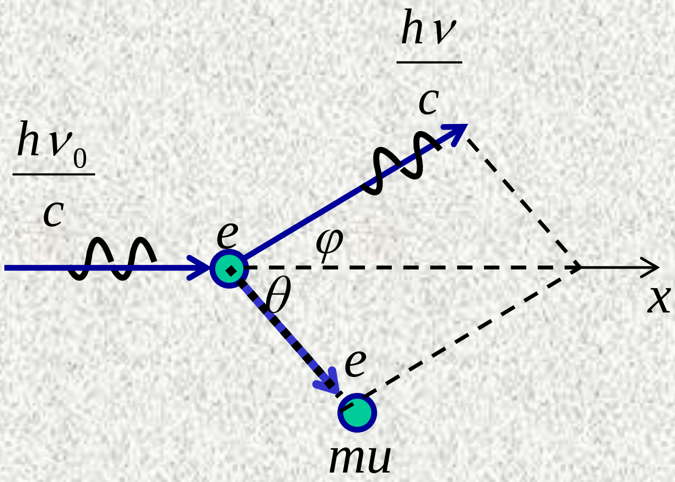
1. 光子与点阵离子的碰撞

由于离子质量比光子的质量大得多，碰撞后光子的能量基本不变。所以散射光的波长是不变的，这就是散射光中与入射线同波长的射线；

2. 光子与自由电子的碰撞

根据相对论，得

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$$



碰撞过程中能量是守恒的，即

$$h\nu_0+m_0c^2=h\nu+mc^2 \quad 或 \quad mc^2=h(\nu_0-\nu)+m_0c^2$$

由于碰撞过程动量守恒，得

$$(mu)^2=\left(\frac{h\nu_0}{c}\right)^2+\left(\frac{h\nu}{c}\right)^2-2\left(\frac{h\nu_0}{c}\right)\left(\frac{h\nu}{c}\right)\cos\varphi$$

或 $$m^2u^2c^2=h^2\nu_0^2+h^2\nu^2-2h^2\nu_0\nu\cos\varphi$$

将式 $mc^2=h(\nu_0-\nu)+m_0c^2$ 平方后减去上式，得

$$m^2c^4\left(1-\frac{u^2}{c^2}\right)=m_0^2c^4-2h^2\nu_0\nu(1-\cos\varphi)+2m_0c^2h(\nu_0-\nu)$$

由电子的静质量m_0与运动质量m之间的关系，得

$$2m_0c^2h(\nu_0-\nu)=2h^2\nu_0\nu(1-\cos\varphi)$$

即 $$\frac{c}{\nu}-\frac{c}{\nu_0}=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)$$

由于 $\lambda=\frac{c}{\nu}$，所以 $$\Delta\lambda=\lambda-\lambda_0=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\varphi)$$

由上式得结论：

(1) 散射X射线的波长改变量$\Delta\lambda$只与光子的散射角φ有关，φ越大，$\Delta\lambda$也越大。当$\varphi=0$时，$\Delta\lambda=0$，即波长不变；当$\varphi=\pi$时，$\Delta\lambda=2h/m_0c$，即波长的改变量为最大值。h/m_0c也是基本物理常量，称为电子的康普顿波长，用λ_C表示，$\lambda_C=2.42631058\times10^{-12}$ m。

(2) 在散射角φ相同的情况下，所有散射物质，波长的改变量都相同。

三、光的波粒二象性

光在传播过程中表现出波的特性，而在与物质相互作用过程中表现出粒子的特性。这就是说，光具有波和粒子两方面的特性，称为光的波粒二象性。

波粒二象性的统计解释：

光是由具有一定能量、动量和质量的微观粒子组成的，在它们运动的过程中，在空间某处发现它们的概率却遵从波动的规律。

实际上，这里所说的粒子和波，都是人们经典观念中对物质世界认识上的一种抽象和近似。

例1:波长为$\lambda_0 = 0.200$ nm的X射线在某物质中产生康普顿散射，在散射角为$\varphi = 90°$的方向上观测到散射X射线。求：

(1) 散射X射线相对于入射线的波长改变量$\Delta\lambda$;

(2) 引起这种散射的反冲电子所获得的动能E_k。

解：(1) 波长的改变量为

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\varphi) = 2.43\times10^{-12}(1-\cos 90^\circ)\text{m}$$

$$= 2.43\times10^{-12}\text{m}.$$

(2) 反冲电子所获得的动能E_k等于X光子损失的能量

所以 $$E_k = mc^2 - m_0c^2 = h\nu_0 - h\nu$$

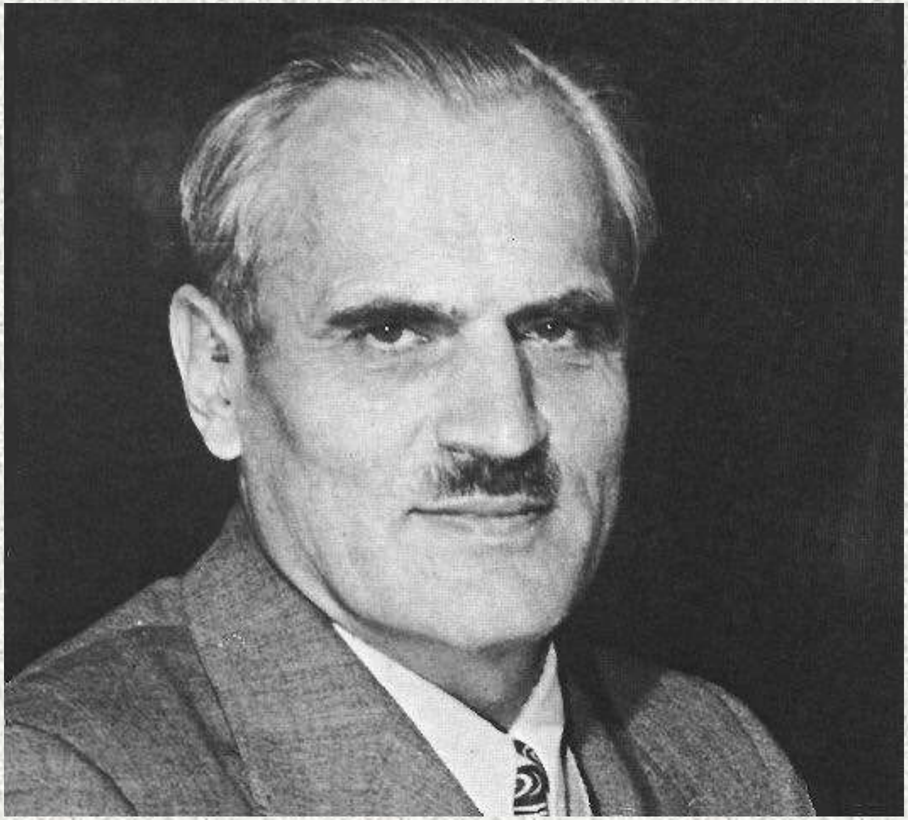
$$= \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda_0 + \Delta\lambda} = \frac{hc\Delta\lambda}{\lambda_0(\lambda_0 + \Delta\lambda)}$$

代入数据，得

$$E_k = \frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}\times2.43\times10^{-12}}{2.00\times10^{-10}\times(2.00\times10^{-10}+2.43\times10^{-12})}\mathrm{J} = 1.19\times10^{-17}\mathrm{J}$$

入射X光子的能量为

$$h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3.00\times10^{8}}{2.00\times10^{-10}}\mathrm{J} = 9.95\times10^{-16}\mathrm{J}$$



(A.H.Compton , 1892—1962)

点击深色键返回原处→