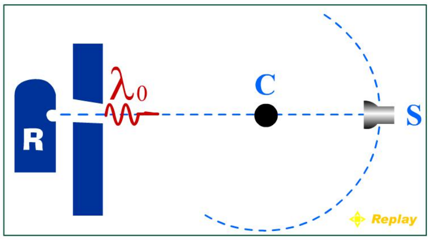
18-3 康普顿效应

1920年，美国物理学家康普顿在观察X射线被物质散射时，发现**散射**线中含有**波长**发生**变化**了的成分.

一　实验装置

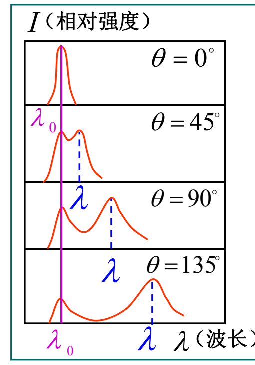


二　实验结果

在散射X射线中除有与入射波长相同的射线外，还有波长比入射波长更长的射线．

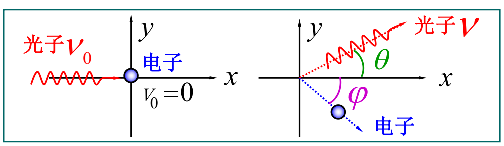
三　经典理论的困难

经典电磁理论预言，散射辐射具有和入射辐射一样的频率．经典理论无法解释波长变化．



四　量子解释

（1）物理模型



- 入射光子（ X 射线或 γ 射线）能量大 ．

  $E=h\nu$　范围为：$10^4\sim10^5\,\mathrm{eV}$
- 固体表面电子束缚较弱，可视为 近自由电子.
- 电子热运动能量 $<<h\nu$，可近似为静止电子.
- 电子反冲速度很大，需用 相对论力学来处理.

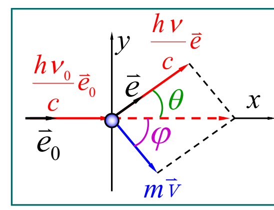
（2）理论分析

能量守恒

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

动量守恒

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



$$m^2v^2=\frac{h^2\nu_0^2}{c^2}+\frac{h^2\nu^2}{c^2}-2\frac{h^2\nu_0\nu}{c^2}\cos\theta$$

$$m^2c^4(1-\frac{v^2}{c^2})=m_0^2c^4-2h^2\nu_0\nu(1-\cos\theta)+2m_0c^2h(\nu_0-\nu)$$

$$m^2c^4(1-\frac{v^2}{c^2})=m_0^2c^4-2h^2\nu_0\nu(1-\cos\theta)+2m_0c^2h(\nu_0-\nu)$$

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

$$\frac{c}{\nu}-\frac{c}{\nu_0}=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)=\lambda-\lambda_0=\Delta\lambda$$

- 康普顿公式 $\boxed{\Delta\lambda=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)=\frac{2h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2}}$
- 康普顿波长 $\boxed{\lambda_C=\frac{h}{m_0c}=2.43\times10^{-12}\,\mathrm{m}=2.43\times10^{-3}\,\mathrm{nm}}$

康普顿公式 $\Delta\lambda=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)=\lambda_C(1-\cos\theta)$

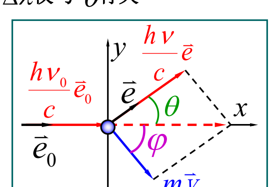
（3）结论

- 散射光波长的改变量 $\Delta\lambda$仅与 θ有关

  $\theta=0,\Delta\lambda=0$

  $\theta=\pi,\ (\Delta\lambda)_{\max}=2\lambda_C$
- 散射光子能量减小

  $\lambda>\lambda_0,\nu<\nu_0$



康普顿公式 $\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1-\cos\theta) = \lambda_C(1-\cos\theta)$

（4）讨论

- 若 $\lambda_0 >> \lambda_C$ 则 $\lambda \approx \lambda_0$ 可见光观察不到康普顿效应.
- $\Delta\lambda$ 与 θ 的关系与物质无关，是光子与近自由电子间的相互作用.
- 散射中 $\Delta\lambda = 0$ 的散射光是因光子与金属中的紧束缚电子（原子核）的作用.

（5）物理意义

- 光子假设的正确性，狭义相对论力学的正确性 .
- 微观粒子也遵守能量守恒和动量守恒定律.