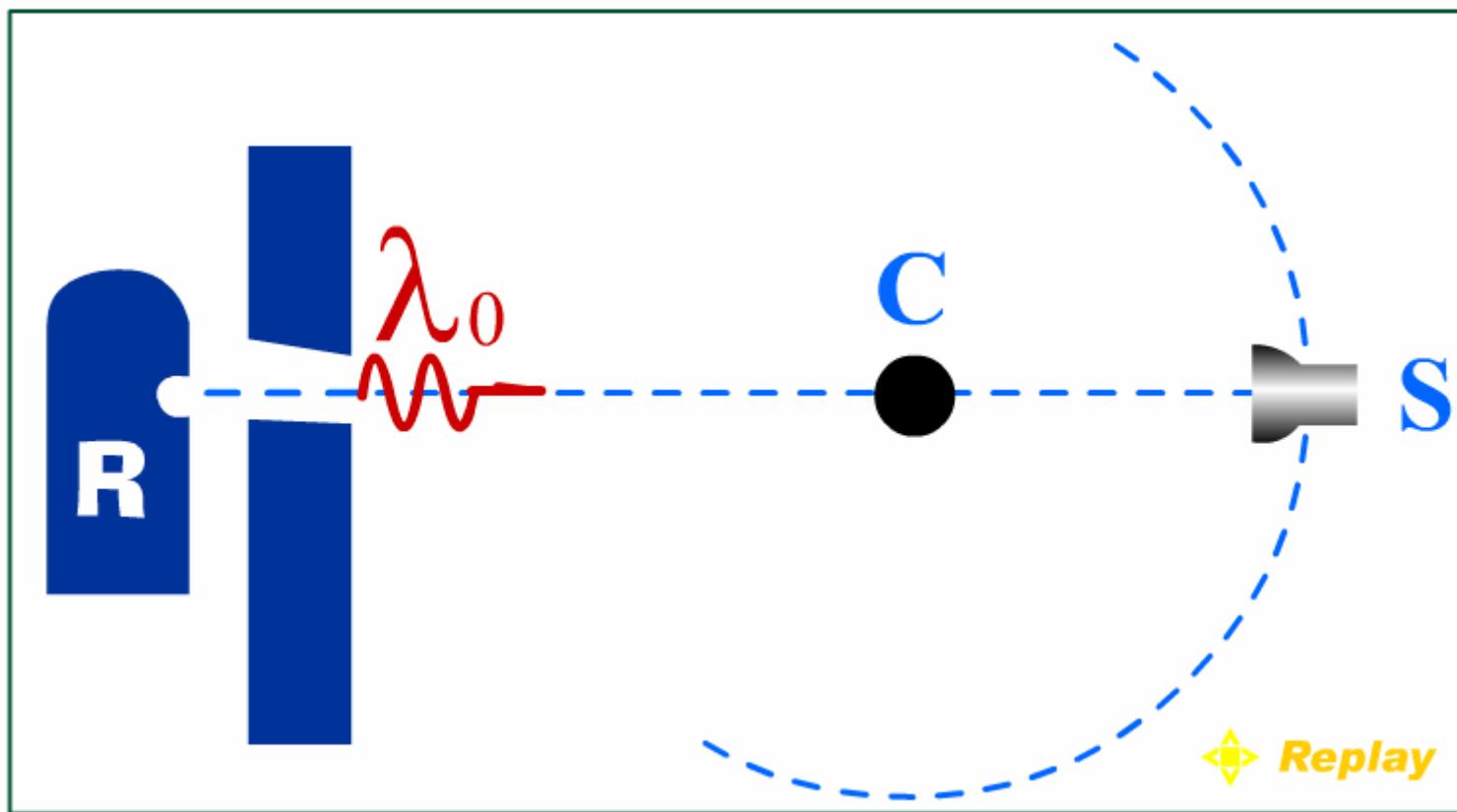


1920年，美国物理学家康普顿在观察X射线被物质散射时，发现散射线中含有波长发生变化的成分。

一 实验装置

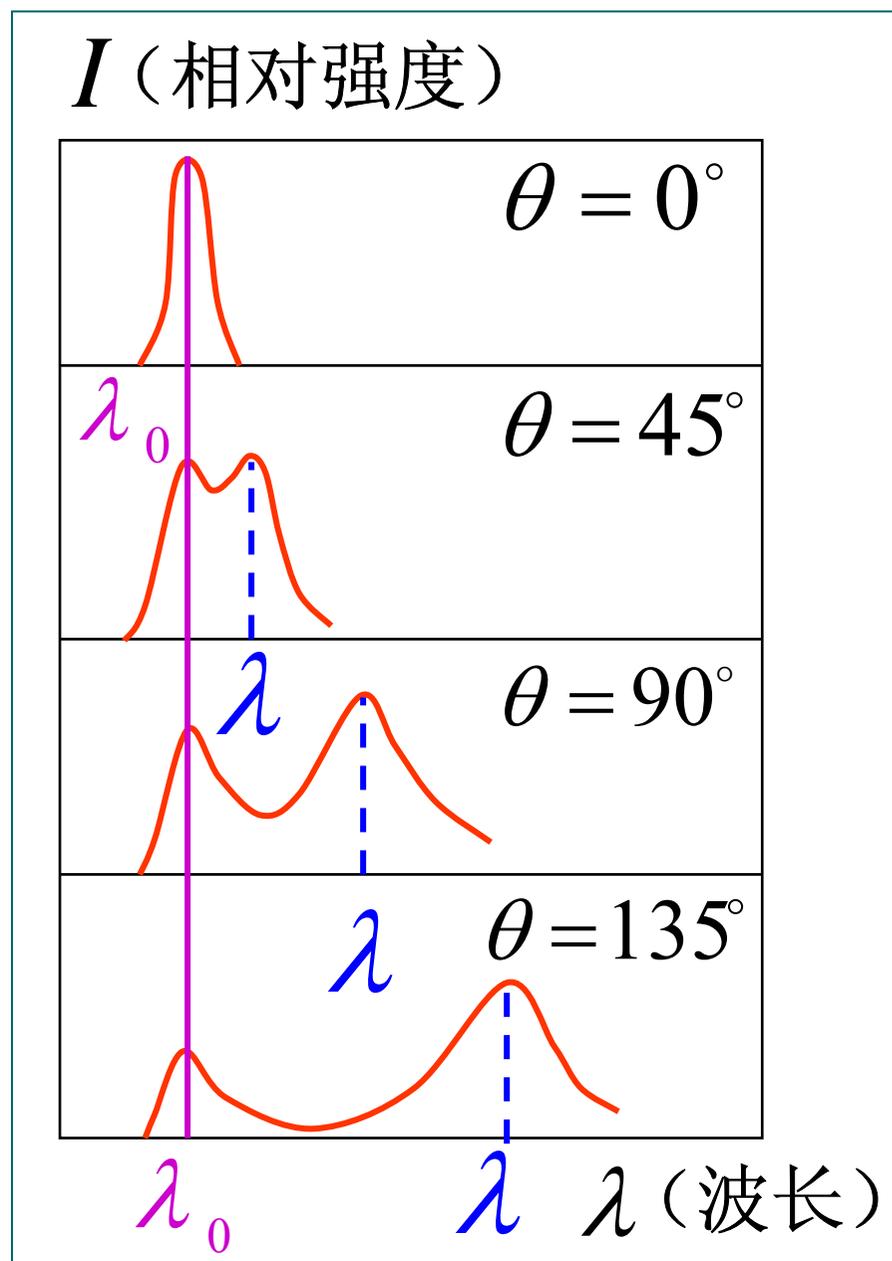


二 实验结果

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。

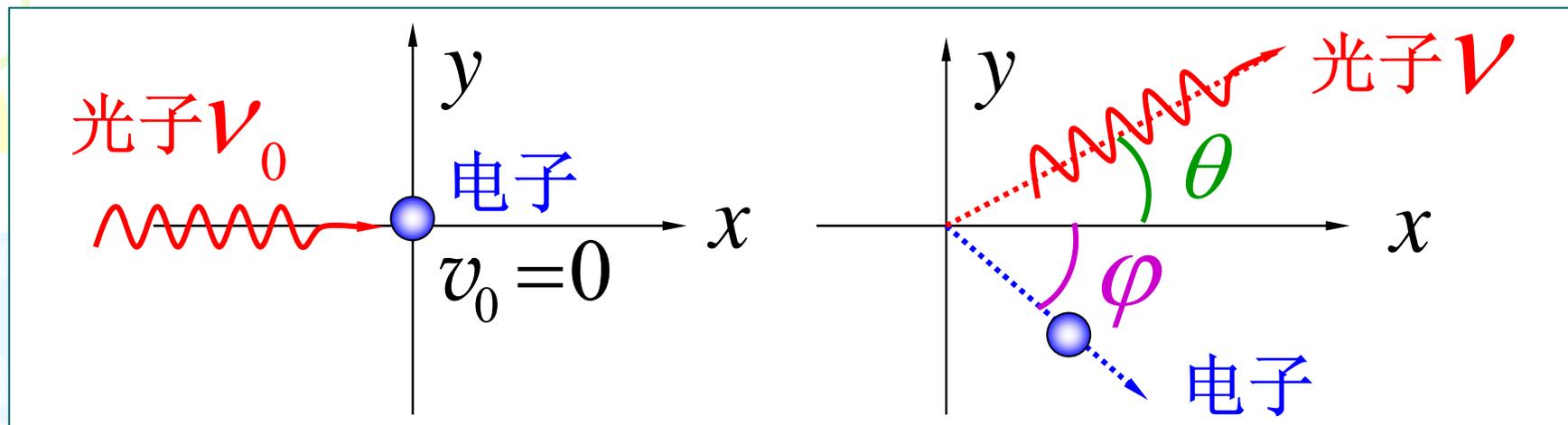
三 经典理论的困难

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。

$$E = h\nu \quad \text{范围为: } 10^4 \sim 10^5 \text{ eV}$$

- ◆ 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 $\ll h\nu$ ，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。

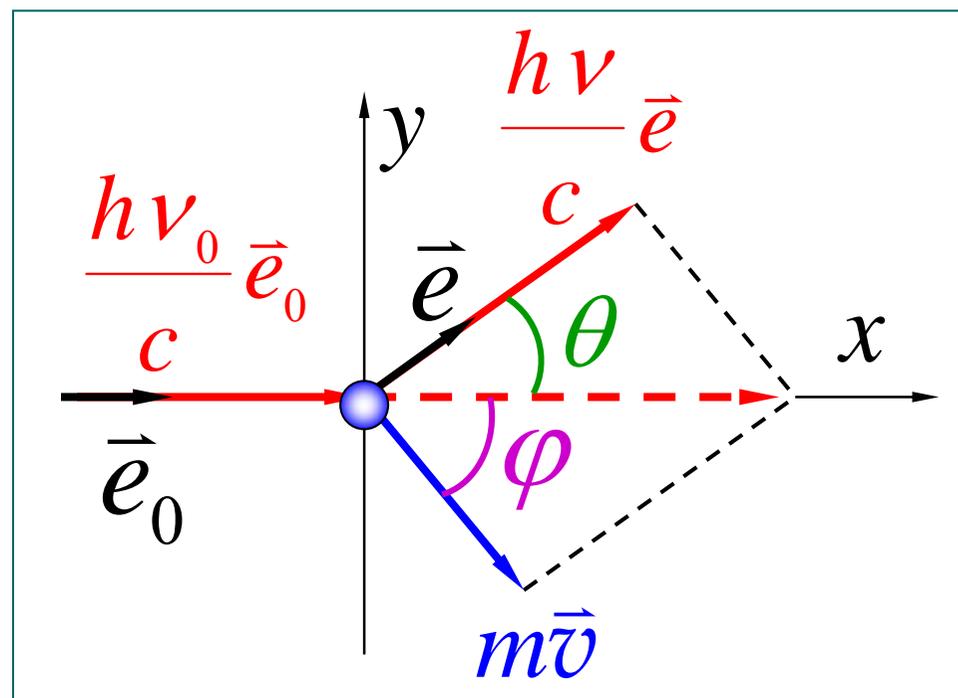
(2) 理论分析

能量守恒

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

动量守恒

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



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

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

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

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

$$\frac{c}{\nu} - \frac{c}{\nu_0} = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) = \lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda$$

◆ 康普顿公式

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

◆ 康普顿波长

$$\lambda_C = \frac{h}{m_0 c} = 2.43 \times 10^{-12} \text{ m} = 2.43 \times 10^{-3} \text{ nm}$$



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

(3) 结论

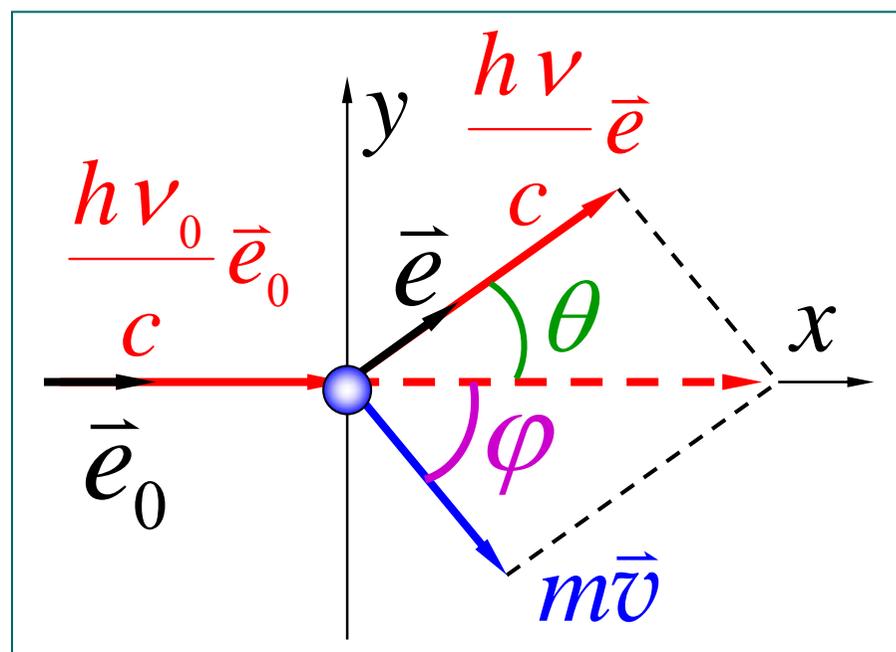
◆ 散射光波长的改变量 $\Delta\lambda$ 仅与 θ 有关

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

$$\theta = \pi, (\Delta\lambda)_{\max} = 2\lambda_C$$

◆ 散射光子能量减小

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



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

(4) 讨论

- ◆ 若 $\lambda_0 \gg \lambda_C$ 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.

例 波长 $\lambda_0 = 1.00 \times 10^{-10} \text{ m}$ 的X射线与静止的自由电子作弹性碰撞, 在与入射角成 90° 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) 在碰撞中, 光子的能量损失了多少?

解 (1)
$$\Delta\lambda = \lambda_C (1 - \cos \theta) = \lambda_C (1 - \cos 90^\circ) = \lambda_C = 2.43 \times 10^{-12} \text{ m}$$

- (2) 反冲电子的动能

$$E_k = mc^2 - m_0c^2 = \frac{hc}{\lambda_0} - \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_0} \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda}\right) = 295 \text{ eV}$$

- (3) 光子损失的能量 = 反冲电子的动能