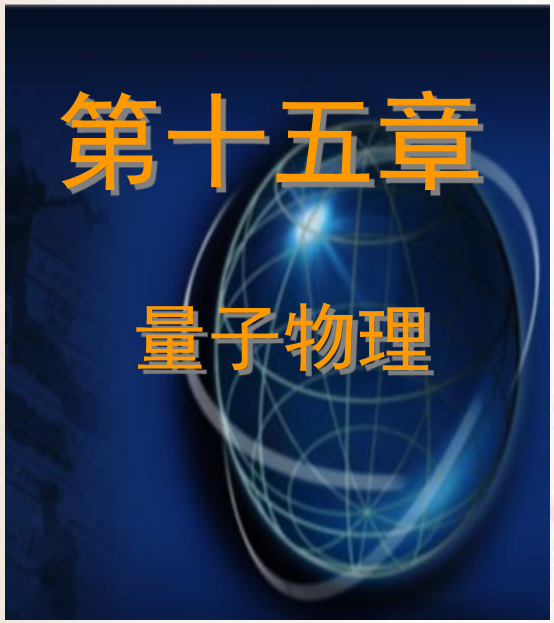
15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性



第6节《德布罗意波实物粒子的二象性》

一、了解德布罗意假设及电子衍射实验．了解实物粒子的波粒二象性．

二、理解描述物质波动性的物理量（波长、频率）和描述粒子性的物理量（动量、能量）之间的关系．

一 德布罗意假设（1924 年）

“整个世纪以来，在辐射理论上，比起波动的研究方法来，是过于忽略了粒子的研究方法；在实物理论上，是否发生了相反的错误呢？是不是我们关于‘粒子’的图像想得太多，而过分地忽略了波的图像呢？”

15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性

德布罗意（1892 — 1987）

法国物理学家
1924年在他的博士论文《关于量子理论的研究》中提出把**粒子性和波动性**统一起来．为量子力学的建立提供了物理基础．

15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性

思想方法 自然界在许多方面都是明显地对称的，德布罗意采用类比的方法提出物质波的假设 .

德布罗意假设：实物粒子具有波粒二象性

粒子性

$$\begin{cases} E = mc^2 = h\nu \\ P = mv = h/\lambda \end{cases}$$

波动性

◆ 德布罗意公式 $\lambda = \dfrac{h}{p} = \dfrac{h}{mv}$

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$$

这种波称为德布罗意波或物质波

注 意

(1) 若 $v << c$ 则 $m = m_0$

若 $v \to c$ 则 $m = \gamma m_0$

(2) 宏观物体的德布罗意波长小到实验难以测量的程度，因此宏观物体仅表现出粒子性.

例1 一束电子中，电子的动能 200eV，求此电子的德布罗意波长 .

解 $v << c,\ \ E_{\mathrm{k}} = \frac{1}{2} m_0 v^2 \qquad v = \sqrt{\frac{2E_{\mathrm{k}}}{m_0}}$

15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性

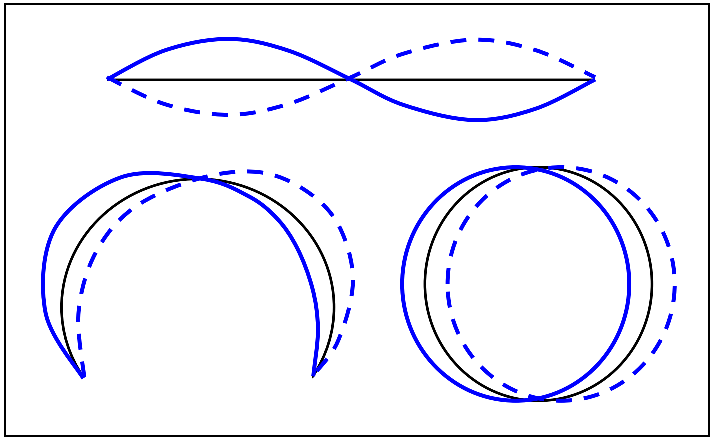
$$v=\sqrt{\frac{2\times200\times1.6\times10^{-19}}{9.1\times10^{-31}}}\mathrm{m\cdot s^{-1}}=8.4\times10^{6}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

$$\because v<<c \qquad \therefore \lambda=\frac{h}{m_0 v}=\frac{6.63\times10^{-34}}{9.1\times10^{-31}\times8.4\times10^{6}}\ \mathrm{nm}$$

$$\lambda=8.67\times10^{-2}\ \mathrm{nm}$$

此波长的数量级与 X 射线波长的数量级相当.

例2 从德布罗意波导出氢原子玻尔理论中角动量量子化条件.



解 两端固定的弦，若其长度等于波长则可形成稳定的驻波.

将弦弯曲成圆时 $2\pi r = \lambda$

$$2\pi r = n\lambda \qquad n = 1,2,3,4,\cdots$$

电子绕核运动其德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

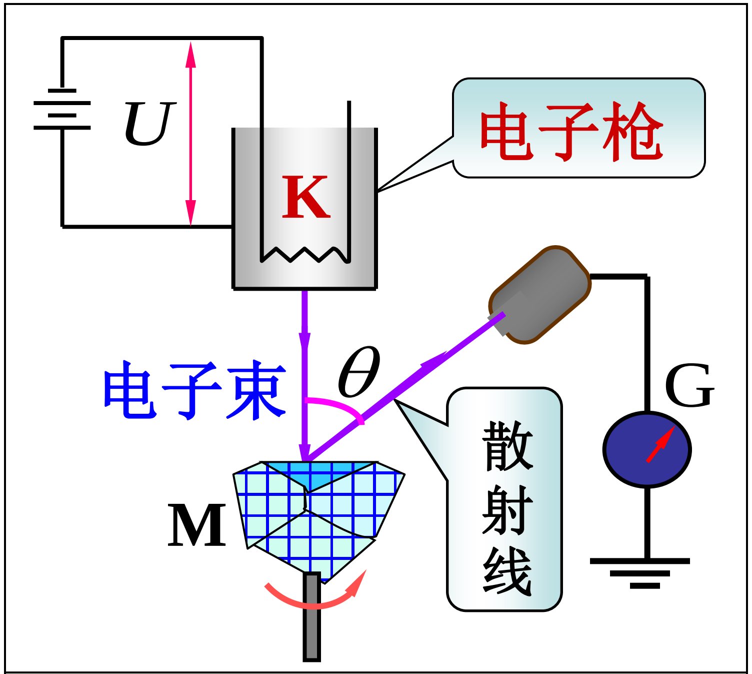
$$2\pi\, rmv = nh$$

角动量量子化条件

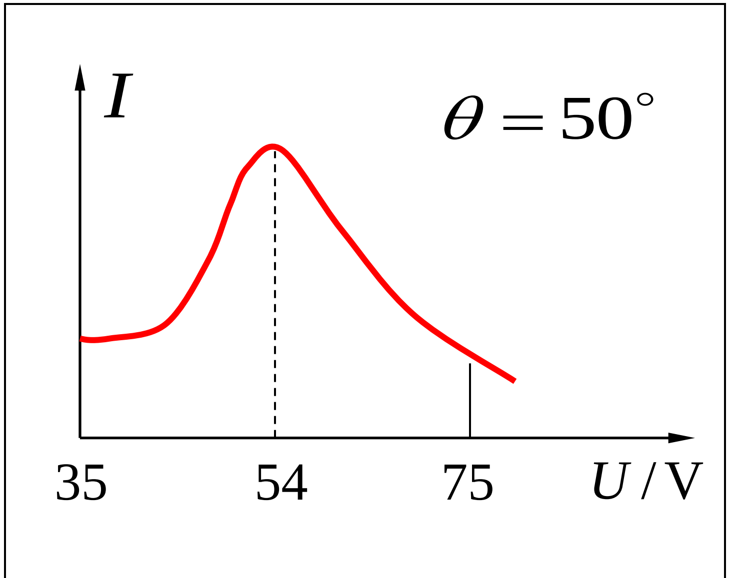
$$L = mvr = n\frac{h}{2\pi}$$

二 德布罗意波的实验证明

1 戴维孙 - 革末电子衍射实验（1927年）



电子被镍晶体衍射实验

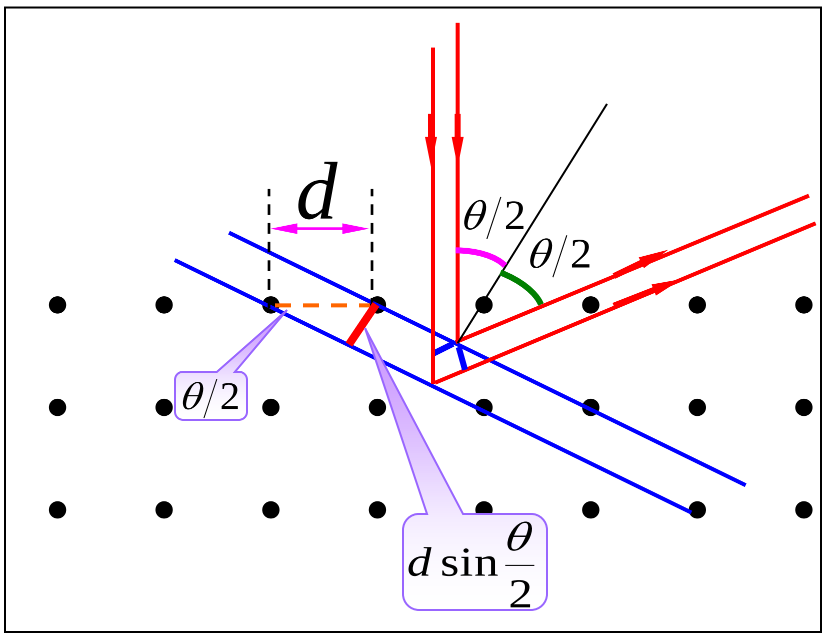


当散射角 $\theta = 50^\circ$ 时
电流与加速电压曲线

15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性

电子束在单晶晶体上反射的实验结果符合X射线衍射中的布拉格公式.

相邻晶面电子束反射射线干涉加强条件:



$$2d\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}=k\lambda$$

$$d\sin\theta=k\lambda$$

$$k=1,\quad \theta=50^{\circ}$$

镍晶体 $d = 2.15\times10^{-10}\,\mathrm{m}$

$$\lambda = d\sin\theta = 1.65\times10^{-10}\,\mathrm{m}$$

电子波的波长

$$\lambda = \frac{h}{m_{\mathrm{e}}v} = \frac{h}{\sqrt{2m_{\mathrm{e}}E_{\mathrm{k}}}} = 1.67\times10^{-10}\,\mathrm{m}$$

$$d\sin\theta = kh\sqrt{\frac{1}{2emU}}$$

$$d\sin\theta = kh\sqrt{\frac{1}{2emU}}$$

$$\sin\theta = \frac{kh}{d}\sqrt{\frac{1}{2emU}}$$

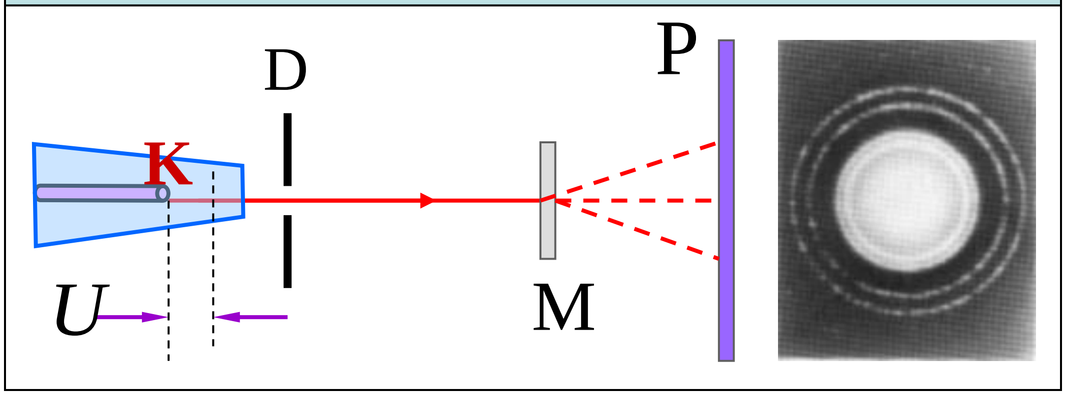
$$\sin\theta = 0.777k$$

当 $k=1$ 时，$\theta = \arcsin 0.777 = 51^{\circ}$ 与实验结果相近.

2 G . P . 汤姆孙电子衍射实验 (1927年)

电子束穿越多晶薄片时出现类似X射线在多晶上衍射的图样.

电子束透过多晶铝箔的衍射



三 应用举例

1932年鲁斯卡成功研制了电子显微镜；

1981年宾尼希和罗雷尔制成了扫描隧穿显微镜.

四 德布罗意波的统计解释

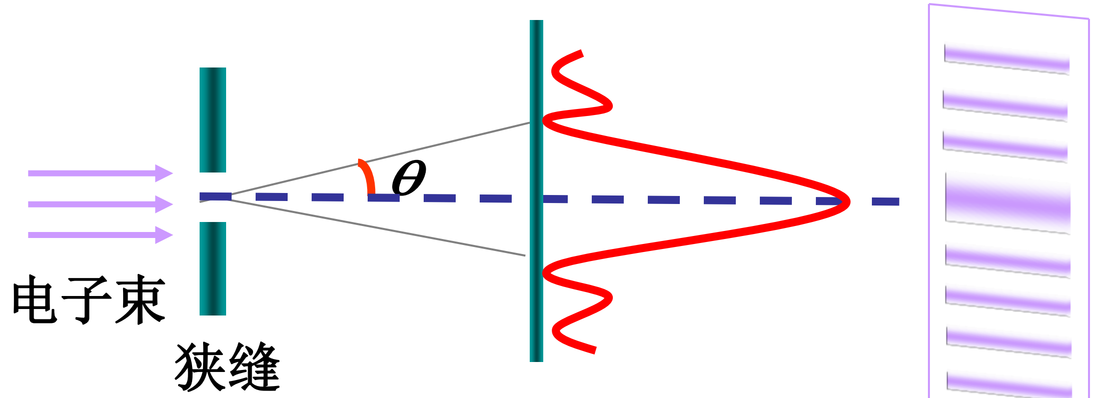
经典粒子 不被分割的整体，有确定位置和运动轨道．

经典的波 某种实际的物理量的空间分布作周期性的变化，波具有相干叠加性．

二 象 性 要求将波和粒子两种对立的属性统一到同一物体上．

1 从粒子性方面解释

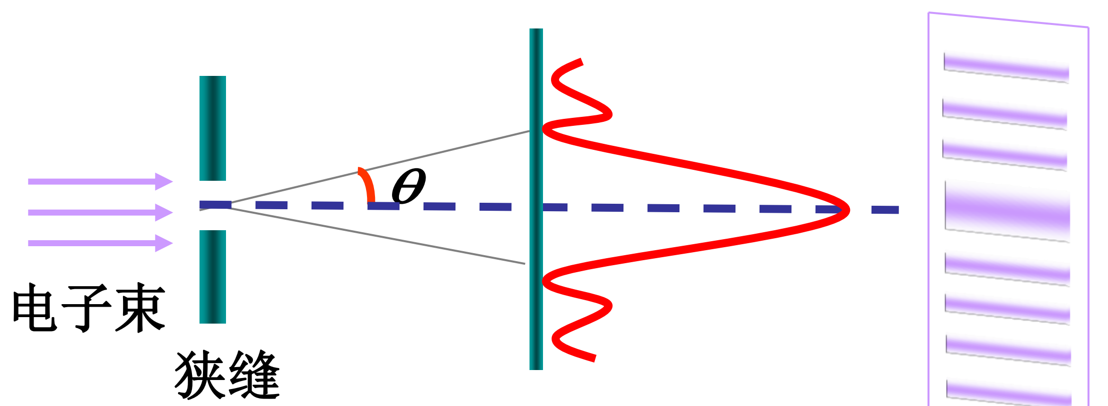
单个粒子在何处出现具有偶然性;大量粒子在某处出现的多少具有规律性. 粒子在各处出现的概率不同.



电子的单缝衍射

2 从波动性方面解释

电子密集处，波的强度大；电子稀疏处，波的强度小.



电子的单缝衍射

3 结论(统计解释)

在某处德布罗意波的强度与粒子在该处附近出现的概率成正比 .

1926 年玻恩提出，德布罗意波为**概率波.**