

一 德布罗意假设 (1924 年)

光学理论发展历史表明，曾有很长一段时间，人们徘徊于光的粒子性和波动性之间，实际上这两种解释并不是对立的，量子理论的发展证明了这一点。20世纪初发展起来的光量子理论，似过于强调粒子性，德布罗意企盼把粒子观点和波动观点统一起来，给予“量子”以真正的涵义。



德布罗意 (1892 — 1987)



法国物理学家

1924年他在博士论文《关于量子理论的研究》中提出把**粒子性**和**波动性**统一起来. 5年后为此获得诺贝尔物理学奖. 爱因斯坦誉之为“揭开一幅大幕的一角”
它为量子力学的建立提供了物理基础.



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 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_0 v}$

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

这种波称为德布罗意波或物质波

注意

(1) 若 $v \ll c$ 则 $m = m_0$

若 $v \rightarrow c$ 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 $v \ll c, E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2 \quad v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_0}}$



$$v = \sqrt{\frac{2 \times 200 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 8.4 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\because v \ll c \quad \therefore \lambda = \frac{h}{m_0 v} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 8.4 \times 10^6} \text{ nm}$$

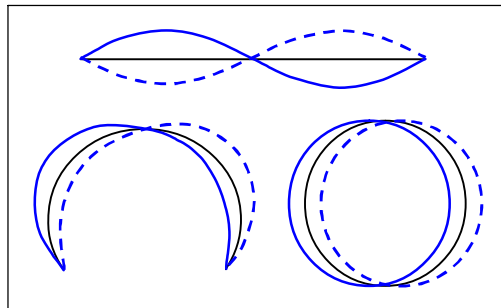
$$\lambda = 8.67 \times 10^{-2} \text{ nm}$$

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 $2\pi r = \lambda$

$$2\pi r = n\lambda \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots$$



电子绕核运动其德布罗意波长为

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

$$2\pi r m v = n h$$

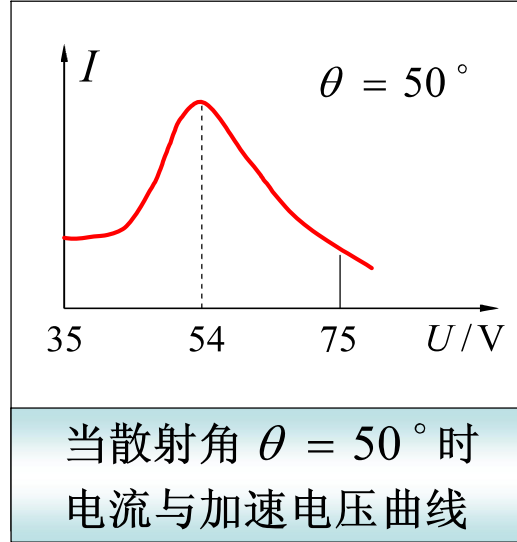
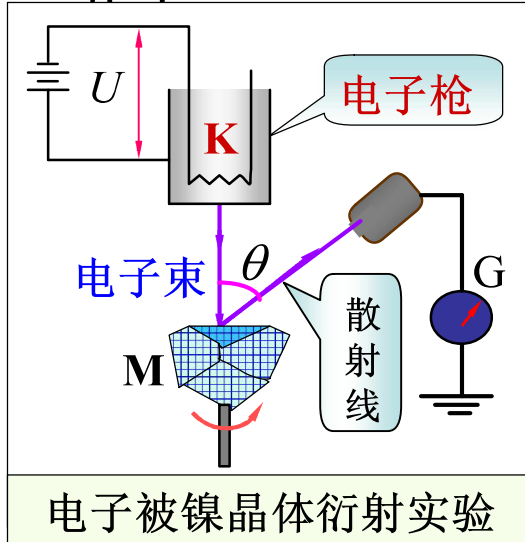
角动量量子化条件

$$L = m v r = n \frac{h}{2\pi}$$



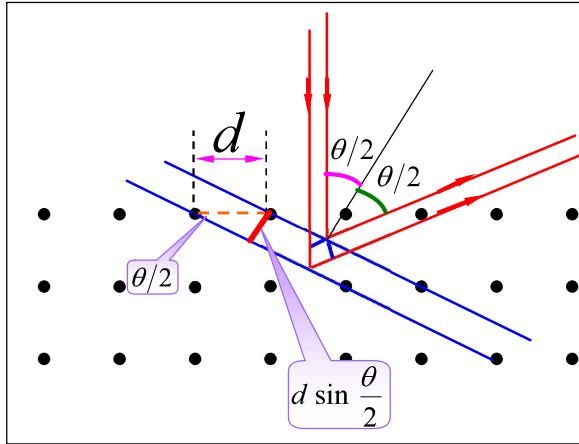
二 德布罗意波的实验证明

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：



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

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

$$k = 1, \theta = 50^\circ$$



镍晶体 $d = 2.15 \times 10^{-10} \text{ m}$

$$\lambda = d \sin \theta = 1.65 \times 10^{-10} \text{ m}$$

电子波的波长

$$\lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{h}{\sqrt{2m_e E_k}} = 1.67 \times 10^{-10} \text{ m}$$

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



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

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

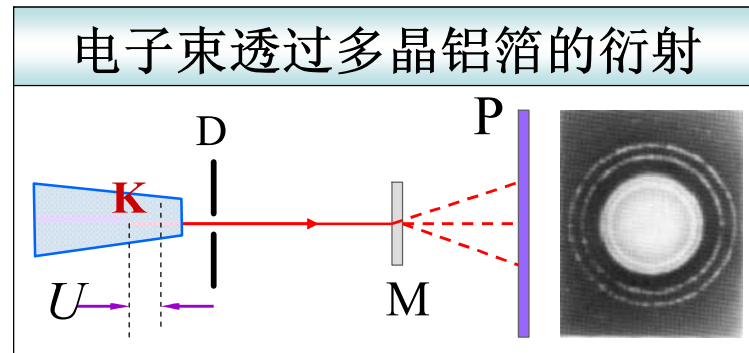
$$\sin \theta = 0.777k$$

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。



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。

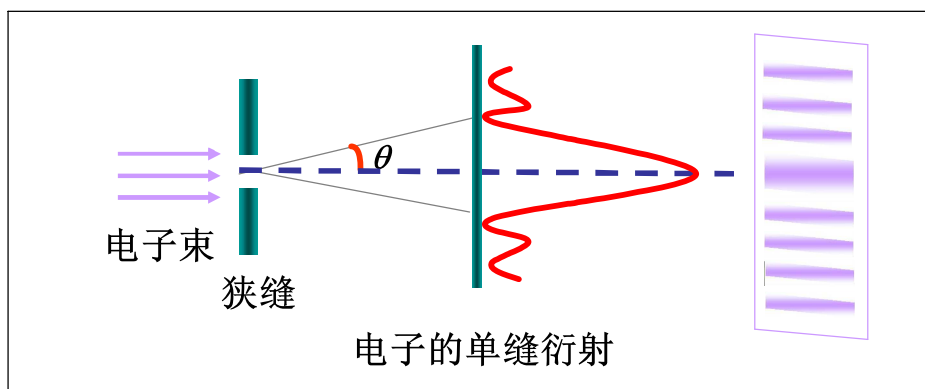
经典的**波** 某种实际的物理量的空间分布作周期性的变化，波具有相干叠加性。

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。



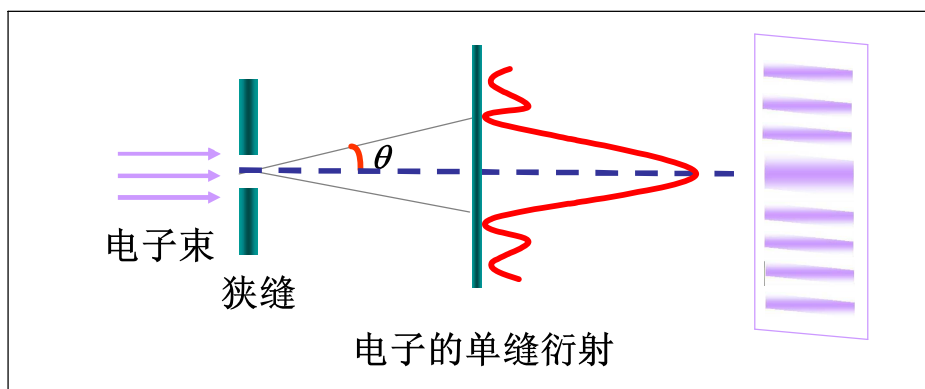
1 从粒子性方面解释

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.



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。



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**。



选择进入下一节:

- 15-4 氢原子的玻尔理论
- *15-5 弗兰克-赫兹实验
- 15-6 德布罗意波 实物粒子的二象性
- 15-7 不确定关系
- 15-8 量子力学简介
- 15-9 氢原子的量子理论简介

