NO.14－5

第十五章 量子物理学

- 德布罗意波
- 不确定关系
- 波函数

2016-12-23

量子力学的建立

描述微观粒子运动规律的完整理论(完备、自洽)。

- 1924年，德布罗意（Louis de Broglie, [F]）提出物质波的概念；
  —— 1929 年Nobel prize
- 1927年，戴维孙－革末（Davisson-Germer [USA] ）和汤姆孙 G.P.Thomson[E]）电子衍射实验证实；
  —— 1937 年Nobel prize
- 1932年，鲁斯卡[G]制成电子显微镜；
  —— 1986 年Nobel prize

量子力学的建立

描述微观粒子运动规律的完整理论(完备、自洽)。

- 1924年，德布罗意（Louis de Broglie, [F]）提出物质波的概念；
  —— 1929 年Nobel prize
- 1925年，海森伯（Heisenberg, [G]）建立了量子力学的矩阵形式，1927年提出不确定关系；
  —— 1932 年Nobel prize
- 1925年，狄拉克（Dirac, [E]）用算符表示量子力学；
  —— 1933 年Nobel prize
- 1926年，薛定谔（Schrodinger, [A]）建立了量子力学的波动形式；
  —— 1933 年Nobel prize
- 1926年，波恩（M.Rorn,[G]）给出波函数的统计意义。
  —— 1954 年Nobel prize

一、德布罗意波

1. 德布罗意假设　实物粒子具有波粒二象性.

◆ 德布罗意公式

$$\lambda=\frac{h}{p},\quad \nu=\frac{E}{h}$$

德布罗意波（物质波）

一、德布罗意波

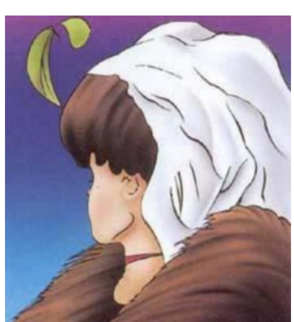
1. 德布罗意假设　实物粒子具有波粒二象性.

◆ 德布罗意公式

$$\lambda=\frac{h}{p},$$

$$\nu=\frac{E}{h}$$

德布罗意波（物质波）



少女 or 老妇

一、德布罗意波

1. 德布罗意假设　实物粒子具有波粒二象性.

讨论:

$$E=E_k=\frac{p^2}{2m_0}$$

$$p=\sqrt{2m_0E_k}$$

1）若 $v<<c$ 则 $m=m_0$, $p=m_0v$,

若 $v\to c$ 则 $m=\gamma m_0$, $p=mv$,

$$E=E_k+E_0,\qquad E^2=p^2c^2+E_0^2$$

$$p=\frac{\sqrt{E_k^2+2E_kE_0}}{c}$$

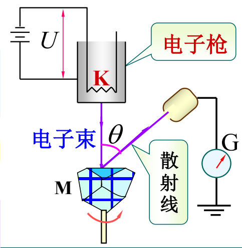
2）从德布罗意波导出氢原子玻尔理论中的角动量量子化条件

$$L=mvr=n\frac{h}{2\pi}\qquad n=1,2,3\cdots$$

一、德布罗意波

2. 德布罗意波的实验证明

（1）戴维孙 — 革末电子衍射实验（1927年，1937 Nobel Prize）



电子被镍晶体衍射实验

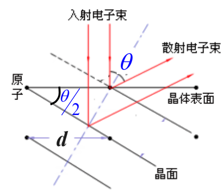
当满足 $U=54\,\mathrm{V}$, $\theta=50^{\circ}$ 时电子探测器中电流最大。

$$\lambda=\frac{hc}{\sqrt{2E_0E_k}}=\frac{h}{\sqrt{2m_0eU}}=1.67\times10^{-10}\mathrm{m}$$

一、德布罗意波

2. 德布罗意波的实验证明

（1）戴维孙 — 革末电子衍射实验（1927年，1937 Nobel Prize）



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

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

$\lambda=1.67\times10^{-10}\ \mathrm{m}$

$$\sin\theta=0.777k$$

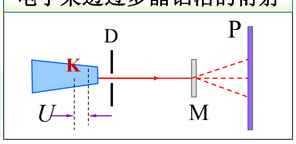
$k=1$

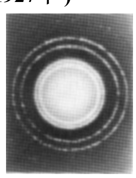
$$\theta=51^{\circ}$$

一、德布罗意波

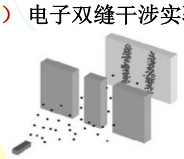
（2） G . P . Thomson电子衍射实验（1927年）

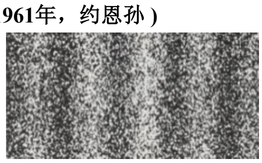
电子束透过多晶铝箔的衍射





（3） 电子双缝干涉实验（1961年，约恩孙）





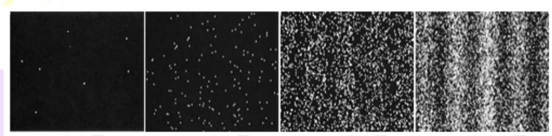
一、德布罗意波

3. 德布罗意波的物理意义

◆ 德布罗意本人认为： 这种波是引导粒子运动的"导波"，是虚拟的和非物质的。

◆ 1926 年玻恩提出：德布罗意波是**概率波** (1954 Nobel Prize)

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.

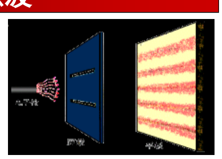


7个电子 | 100个电子 | 3000个电子 | 70,000个电子

一、德布罗意波

3. 德布罗意波的物理意义

说明：



（1）德布罗意波与经典波不同。

- 经典波是振动状态的传播；
- 德布罗意波是微观粒子量子叠加态表示的概率波。

（2）微观粒子与经典粒子也不同。

- 具有一定动量的经典粒子的运动轨迹是确定的；
- 具有一定动量的微观粒子其位置是随机的！

二、不确定关系

微观粒子的波粒二象性及其统计意义不仅直接导致了

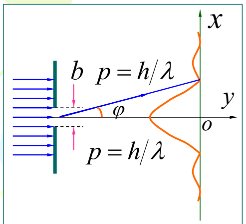
粒子位置和动量的不确定性，

而且进一步反映了粒子

位置与动量两者的不确定度存在相互制约的关系。

$$\Delta x \overset{?}{\Leftrightarrow} \Delta p_x$$

二、不确定关系



电子的单缝衍射实验

$$\Delta x \Delta p_x \geq h$$

物理意义： 对于微观粒子不能同时用确定的位置和确定的动量来描述．

（海森伯于 1927 年提出不确定原理，1932 Nobel Prize）

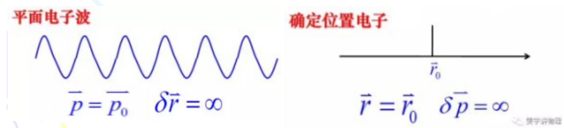
二、不确定关系

说明：

（1）不确定的根源是“微观粒子的波粒二象性”，这是自然界的根本属性，与实验技术或仪器的精度无关。

（2）不确定关系的两个推论：

- 微观粒子的运动原则上**无轨道**可言；
- 微观粒子是**不可能静止**的。



例3. 设子弹的质量为0.01kg，枪口的直径为0.5cm，试用不确定关系计算子弹射出枪口时的横向速度。

$$\Delta p_x = \frac{h}{\Delta x} \qquad \Delta p_x = m\Delta v_x$$

$$\Delta v_x = \frac{h}{m \cdot \Delta x} = 1.33\times10^{-29}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

说明： 由于普朗克常量 h 是个极小的量，所以不确定关系对宏观物体（质点）不起作用。

例4. 一电子$m=9.11\times10^{-31}kg$，$v=200\mathrm{m\cdot s^{-1}}$，其中$\Delta p=0.01\%p$，计算其位置不确定度有多大？

$$\Delta r = \frac{h}{\Delta p} = 3.7\times10^{-2}\ \mathrm{m} \quad >> 10^{-10}\ \mathrm{m}$$

说明： 电子等微观粒子的波动性十分显著！

今日作业

15 — 22, 25, 30