



### 海森伯 (W.K.Heisenberg, 1901—1976)

德国理论物理学家。建立了新力学理论的数学方案，为量子力学的创立作出了贡献。

1927年提出“**不确定关系**”，为核物理学和（基本）粒子物理学准备了理论基础；于1932年获得诺贝尔物理学奖。

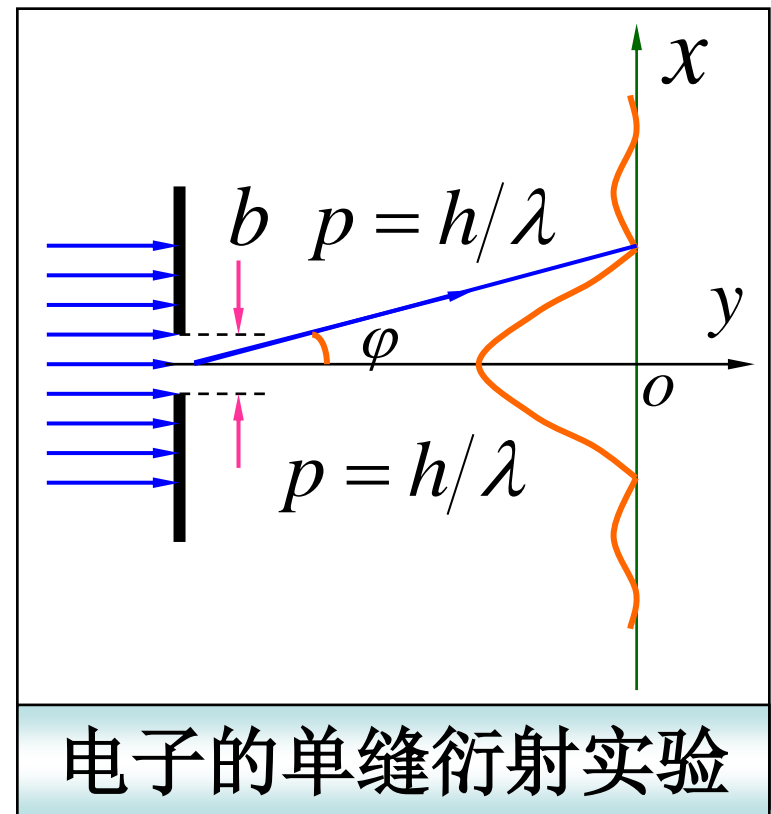


## 一 坐标和动量的不确定关系

◆ 用电子衍射说明不确定关系

电子经过缝时x轴  
方向上的位置不确定  
范围： $\Delta x = b$

一级最小衍射角  
 $\sin \varphi = \lambda / b$





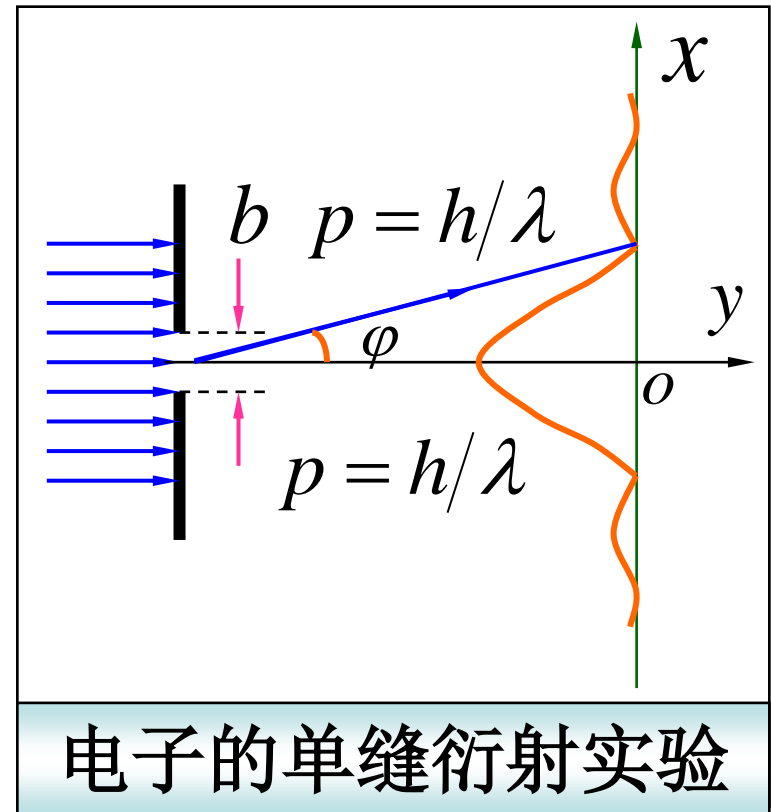
电子经过缝后  $x$  方向动量不确定

$$\sin \varphi = \lambda / b$$

$$\Delta p_x = p \sin \varphi = p \frac{\lambda}{b}$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \Delta p_x = \frac{h}{b}$$

$$\Delta x \Delta p_x = h$$





考虑衍射次级有  $\Delta x \Delta p_x \geq h$

◆ 海森伯于 1927 年提出不确定原理

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。

不确定关系

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x \Delta p_x \geq h \\ \Delta y \Delta p_y \geq h \\ \Delta z \Delta p_z \geq h \end{array} \right.$$



### 物理意义

- (1) 微观粒子**同**一方向上的坐标与动量**不可同时**准确测量，它们的精度存在一个终极的不可逾越的限制。
- (2) 不确定的根源是“**波粒二象性**”这是微观粒子的根本属性。
- (3) 对**宏观**粒子，因  $h$  很小， $\Delta x \Delta p_x \rightarrow 0$  可视为位置和动量**能同时**准确测量。



对于微观粒子， $h$  不能忽略， $\Delta x$ 、 $\Delta p_x$  不能同时具有确定值。此时，只有从概率统计角度去认识其运动规律。在量子力学中，将用波函数来描述微观粒子。

不确定关系是量子力学的基础。



**例 1** 质量10 g 的子弹，速率  $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . 其动量的不确定范围为动量的 0.01% (这在宏观范围是十分精确的)，该子弹位置的不确定量范围为多大？

**解** 子弹的动量  $p = mv = 2 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

动量的不确定范围

$$\Delta p = 0.01\% \times p = 2 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$



$$\Delta p = 0.01\% \times p = 2 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

位置的不确定范围

$$\Delta x \geq \frac{h}{\Delta p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-4}} \text{ m} = 3.3 \times 10^{-30} \text{ m}$$

**例2** 一电子具有  $200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的速率，动量的不确定范围为动量的  $0.01\%$ （这也是足够精确的了），则该电子的位置不确定范围有多大？





**解** 电子的动量

$$p = mv = 9.1 \times 10^{-31} \times 200 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$p = 1.8 \times 10^{-28} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

动量的不确定范围

$$\Delta p = 0.01\% \times p = 1.8 \times 10^{-32} \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

位置的不确定范围

$$\Delta x \geq \frac{h}{\Delta p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.8 \times 10^{-32}} \text{ m} = 3.7 \times 10^{-2} \text{ m}$$



## 选择进入下一节：

15-0 教学基本要求

15-1 黑体辐射 普朗克能量量子假设

15-2 光电效应 光的波粒二象性

15-3 康普顿效应

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
- \*15-10 多电子原子中的电子分布