

## 4.5 粒子的波动性和量子力学的建立

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_ 授课日期：\_\_\_\_\_

本课在课程标准中的表述：了解粒子的波动性和量子力学的建立的经过

### [学习目标]

1. 了解粒子的波动性，知道物质波的概念.
2. 了解什么是德布罗意波，会解释有关现象.
3. 了解量子力学的建立过程及其在具体物理系统中的应用.

### [课前预习]

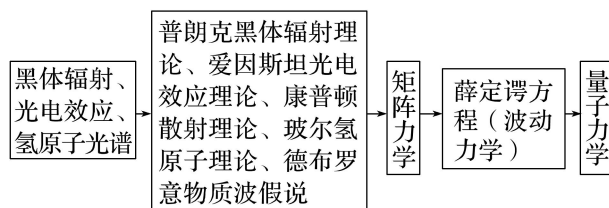
#### 一、粒子的波动性

1. 德布罗意波：每一个\_\_\_\_\_的粒子都与一个对应的波相联系，这种与实物粒子相联系的波称为德布罗意波，也叫\_\_\_\_\_波.
2. 粒子的能量 $\varepsilon$ 和动量 $p$ 跟它所对应的波的频率 $\nu$ 和波长 $\lambda$ 之间的关系： $\nu = \frac{\varepsilon}{h}$ ,  $\lambda = \frac{h}{p}$ .

#### 二、物质波的实验验证

1. 实验探究思路：\_\_\_\_\_、衍射是波特有的现象，如果实物粒子具有波动性，则在一定条件下，也应该发生\_\_\_\_\_或衍射现象.
2. 实验验证：1927年戴维森和汤姆孙分别用单晶和多晶晶体做了电子束衍射的实验，得到了电子的衍射图样，证实了电子的\_\_\_\_\_.
3. 说明  
除了电子以外，人们陆续证实了中子、质子以及原子、分子的\_\_\_\_\_，对于这些粒子，德布罗意给出的 $\nu = \frac{\varepsilon}{h}$ 和 $\lambda = \frac{h}{p}$ 关系同样正确.
4. 电子、质子、原子等粒子和光一样，也具有\_\_\_\_\_性.

#### 三、量子力学的建立



#### 四、量子力学的应用

借助量子力学，人们深入认识了\_\_\_\_\_ (填“宏观”或“微观”)世界的组成、结构和属性.

1. 推动了核物理和粒子物理的发展. 人们认识了原子、原子核、基本粒子等各个\_\_\_\_\_ (填“宏观”或“微观”)层次的物质结构，又促进了\_\_\_\_\_学和宇宙学的研究.
2. 推动了原子、分子物理和光学的发展  
人们认识了原子的结构，以及原子、分子和电磁场相互作用的方式，发展了各式各样的对原子和电磁场进行精确操控和测量的技术.
3. 推动了固体物理的发展

人们了解了固体中电子运行的规律，并弄清了为什么固体有\_\_\_\_\_、绝缘体和半导体之分。

### 即学即用：

1. 判断下列说法的正误。

- (1) 只要是运动着的物体，不论是宏观物体还是微观粒子，都有相应的波与之对应，这就是物质波。( )
- (2) 电子的衍射现象证实了实物粒子具有波动性。( )
- (3) 宏观物体运动时，看不到它的衍射和干涉现象，是因为宏观物体的波长太长。( )
- (4) 量子力学的建立，使人们深入认识了微观世界的组成、结构和属性。( )
- (5) 电子束照射到金属晶体上得到电子束的衍射图样，从而证实了德布罗意的假设是正确的( )

2. 质子( ${}^1\text{H}$ )和 $\alpha$ 粒子( ${}^4\text{He}$ )被加速到相同动能时，质子和 $\alpha$ 粒子的动量之比为\_\_\_\_\_，德布罗意波长之比为\_\_\_\_\_。

### 【课堂学习】

#### 一、粒子的波动性

#### 【导学探究】

1. 如图是电子束穿过铝箔后的衍射图样，结合图样及课本内容回答下列问题：



(1) 德布罗意提出“实物粒子也具有波动性”假设的理论基础是什么？

(2) 电子束穿过铝箔的衍射图样说明了什么？

2. 德布罗意认为任何运动着的物体均具有波动性，可是我们观察运动着的汽车，并未感觉到它的波动性，你如何理解该问题？谈谈自己的认识。

#### 【知识深化】

1. 对物质波的理解

(1) 任何物体，小到电子、质子，大到行星、太阳都存在波动性，这种波叫物质波，其波长 $\lambda = \frac{h}{p}$ 。我们之所以观察不到宏观物体的波动性，是因为宏观物体对应的波长太小。

(2) 德布罗意假说是光的波粒二象性的一种推广，使之包括了所有的物质粒子，即光子与实物粒子都具有粒子性，又都具有波动性，与光子对应的波是电磁波，与实物粒子对应的波是物质波。

2. 计算物质波波长的方法

(1) 根据已知条件，写出宏观物体或微观粒子动量的表达式 $p = mv$ 。

(2) 根据波长公式 $\lambda = \frac{h}{p}$ 求解。

(3) 注意区分光子和微观粒子的能量和动量的不同表达式。如光子的能量： $\varepsilon = h\nu$ ，动量 $p = \frac{h}{\lambda}$ ；微观粒子的动能： $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ，动量 $p = mv$ 。

【例 1】根据物质波理论，下列说法正确的是( )

- A. 微观粒子有波动性，宏观物体没有波动性
- B. 只有像电子、质子、中子这样的微观粒子才具有波动性
- C. 宏观物体运动时，看不到它的衍射和干涉现象，所以宏观物体运动时不具有波动性

D. 速度相同的质子和电子相比, 电子的波动性更为明显

**针对训练** 德布罗意认为任何一个运动的物体, 小到电子、质子、中子, 大到行星、太阳都有一种波与之相对应, 这种波叫物质波, 下列关于物质波的说法中正确的是( )

- A. 物质波和光波都是概率波
- B. 实物粒子与光子一样都具有波粒二象性, 所以实物粒子与光子是本质相同的物体
- C. 动能相等的电子和质子, 电子的波长短
- D. 动量相等的电子和中子, 中子的波长短

**【例 2】** (2021·江苏苏州高二期中)在中子衍射技术中, 常利用热中子研究晶体的结构, 因为热中子的德布罗意波长与晶体中原子间距相近. 已知中子质量  $m=1.67\times 10^{-27}\text{ kg}$ , 普朗克常量  $h=6.63\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$ , 可以估算德布罗意波长  $\lambda=1.82\times 10^{-10}\text{ m}$  的热中子动量的数量级为( )

- A.  $10^{-17}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
- B.  $10^{-19}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
- C.  $10^{-21}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$
- D.  $10^{-24}\text{ kg}\cdot\text{m/s}$

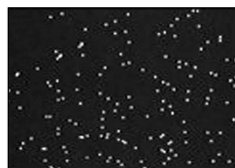
**【例 3】** 任何一个运动着的物体, 小到电子、质子, 大到行星、太阳, 都有一种波与之对应, 波长是  $\lambda=\frac{h}{p}$ , 式中  $p$  是运动物体的动量,  $h$  是普朗克常量, 人们把这种波叫德布罗意波, 现有一个德布罗意波长为  $\lambda_1$  的物体 1 和一个德布罗意波长为  $\lambda_2$  的物体 2 相向正碰后粘在一起, 已知  $|p_1|<|p_2|$ , 则粘在一起的物体的德布罗意波长为( )

- A.  $\frac{\lambda_1+\lambda_2}{2}$
- B.  $\frac{\lambda_1-\lambda_2}{2}$
- C.  $\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2}$
- D.  $\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1-\lambda_2}$

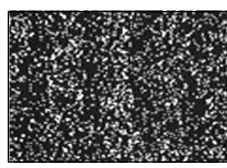
**【例 4】** 电子衍射和双缝干涉实验是证明德布罗意物质波理论的重要实验, 电子束通过铝箔后的衍射图样如图



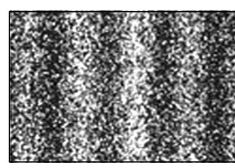
甲 电子束穿过铝箔后的衍射图样



乙 100多个电子通过双缝后的干涉图样



丙 3 000多个电子通过双缝后的干涉图样



丁 70 000多个电子通过双缝后的干涉图样

甲所示, 不同数目的电子通过双缝后的干涉图样分别如图乙、图丙和图丁所示. 下列说法正确的是( )

- A. 亮条纹是电子到达概率小的地方
- B. 这两个实验都说明电子是粒子
- C. 这两个实验说明光子具有波动性
- D. 这两个实验说明实物粒子具有波动性

**【例 5】** 利用金属晶格(大小约  $10^{-10}\text{ m}$ )作为障碍物观察电子的衍射图样, 方法是让电子束通过电场加速后, 照射到金属晶格上, 从而得到电子的衍射图样. 已知电子质量为  $m$ , 电荷量为  $e$ , 初速度为 0, 加速电压为  $U$ , 普朗克常量为  $h$ , 则下列说法中正确的是( )

- A. 该实验说明了电子具有粒子性
- B. 实验中电子束的德布罗意波的波长为 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$
- C. 加速电压  $U$  越大, 电子的衍射现象越明显
- D. 若用相同动能的质子替代电子, 衍射现象将更加明显

## 二、量子力学的建立

**【例 6】** 下列关于量子力学的发展史及应用的说法中, 不正确的是( )

- A. 量子力学完全否定了经典力学
- B. 量子力学是在早期量子论的基础上创立的
- C. 量子力学使人们深入认识了微观世界的组成、结构和属性
- D. “芯片”等器件利用固体的微观结构对电路进行操控, 是量子力学在固体物理中的应用

**【课后作业】** 完成课后作业

**【课后感悟】** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_