微观粒子的波粒二象性

光子说

物质波假说

光的粒子性

实物粒子的波动性

电子的衍射现象

光电效应

康普顿效应

探究

推理

探究

推理

小

结

基本概念和基本规律

**光电效应**：金属在光的照射下发射出电子的现象。

**光电子**：光电效应中从金属表面发射出来的电子。

**光子**：光是由一份一份能量子组成的，这些能量子被称为光子。

**光电效应方程**：*E*km = *hν* − *W*。

**波粒二象性**：微观粒子既有波动性又有粒子性。

**电子云**：如“云雾”般用小黑点的疏密表示电子在核外各处出现的概率分布，这种“云雾”称为电子云。

基本方法

通过光子说、物质波假说建立过程的学习，感受物理学中建立假说的方法。

通过光电效应、康普顿效应、电子衍射现象的学习，感受利用证据通过科学推理进行科学论证的方法。

知识结构图

**复习 巩固**

**与**

1. 用光子说解释入射光的频率必须大于截止频率才能产生光电效应的原因。
2. 用氢原子赖曼系光谱中的紫外线逐一照射锌板，光电子最大初动能的最小值为多少？将所有最大初动能可能的取值画成的“能级图”与氢原子能级图赖曼系部分的关系如何？（氢原子的赖曼系光谱介绍参见 P72 拓展视野，锌的截止频率为 8.065×1014 Hz）
3. 经典粒子动量大小的变化往往意味着粒子速率的变化。真空中光子与静止电子碰撞后，光子的动量减小，其速率是否也减小？
4. 光子的能量为 *E* = *cp*，其中 *c* 为真空中的光速、*p* 为光子动量。利用这一关系推导物质波波长公式。
5. 如果 LED 灯消耗的电功率有 80% 产生可见光，试估算 10 W 的 LED 灯泡 1 s 内发出的可见光光子数数量级。
6. 以表格形式列举本章学习过的光具有波动性和粒子性的证据。
7. 蜻蜓质量约 1 g，其飞行速度可以达到 40 km/h。已知普朗克常量 *h* = 6.626×10−34 J·s，计算快速飞行的蜻蜓的物质波波长，简述日常生活中没有察觉到物体波动性的原因。
8. \*普朗克在《热辐射理论》一书中，用引力常量 *G*、光速 *c* 和普朗克常量 *h* 导出了具有长度、时间和质量单位的三个物理量，即普朗克长度 *L*P、普朗克时间 *T*P、普朗克质量 *m*P。已知 *G* = 6.67×10−11 N·m²/kg²、*c* = 3.0×108 m/s、*h* = 6.63×10−34 J·s，猜测普朗克质量 *m*P 的表达式并计算数值。
9. \*我们已经知道动量守恒定律适用于康普顿效应，试判断在光电效应中动量守恒定律是否适用于光子和电子组成的系统。

### 复习与巩固解读

1．参考解答：根据光子说可知，电子吸收一个光子的能量 *E* 后，如果足够克服逸出功 *W*，则能从金属表面逸出，且光子的能量 *E* = *hν* 正比于入射光的频率 *ν*。故入射光的频率 *ν* 必须大于截止频率 *ν*0 = 才能产生光电效应。

命题意图：理解光子说，并运用光子说解释截止频率。

主要素养与水平：科学推理（Ⅰ）；模型建构（Ⅰ）。

2．参考解答：赖曼系紫外线的波长满足公式 = *R*（− ）（*n* = 2，3，4，5，…），当 *n* = 2 时，光子最小能量 *E*min = = *hcR*（− ）≈ 1.635×10−18 J。

由截止频率 *ν*0 = 8.065×1014 Hz 可知，锌的逸出功 *W* = *hν* = 6.626×10−34×8.065×1014 J ≈ 5.34×10−19 J，最大初动能 *E*km = *E*min – *W* = 1.10×10−18 J。量子数为 *n* 的赖曼系紫外线光子能量为 *En*，对应的光电子最大初动能 *E*km*n* = *En* − *W*，故将这些所有的取值画成的“能级图”与氢原子能级图赖曼系部分一一对应，只相差一个常数 *W*。

命题意图：使用“能级图”的方法将数据可视化，并建立不同数据间的联系。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；交流（Ⅰ）。

3．参考解答：真空中的光速总是恒定值，光子碰撞前后的速率不变，频率改变。

命题意图：理解光子说，对比光子与经典粒子的差异。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅰ）。

4．参考解答：由 *E* = *cp*、*E* = *hν* 可知 = ，结合光速 *c*、波长 *λ* 与频率 *ν* 的关系 *λ* = ，得 *λ* = 。

命题意图：理解物质波波长、动量和能量之间的关系。

主要素养与水平：科学推理（Ⅰ）。

5．参考解答：LED 灯 1 s 内消耗 10 J 电能，产生光能为 8 J 的光子，有 *E*光 = *nhν*。

频率取可见光频率范围中间值 6×1014 Hz 代入计算，可得 1 s 内光子数 *n* = = ≈ 2×1019

命题意图：通过估算光子数，建立光子模型在实际生产生活中的印象。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅰ）。

6．参考解答：

|  |  |
| --- | --- |
| 波动性证据 | 光的双缝干涉 |
| 粒子性证据 | 光电效应、康普顿效应 |

命题意图：通过证据的收集，理解光的波粒二象性。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；证据（Ⅰ）。

7．参考解答：由德布罗意波长公式可知 *λ* = = m ≈ 6×10−32 m，远远小于宏观物体尺寸，比原子核尺寸 10−15 m 还要小 17 个量级，我们难以观察到它的波动性。

命题意图：练习使用德布罗意波长公式分析宏观物体。

主要素养与水平：物质观念（I）；科学推理（I）。

8．参考解答：设 *m*P = *haGbcc*，利用量纲分析有[*m*P] = [*h*]*a*[*G*]*b*[*c*]*c*

即 kg1 = J*a*·s*a*·N*b*·m2*b*·kg−2*b*·m*c*·s−*c*

= kg*a*·m2*a*·s−2*a*·s*a*·kg*b*·m*b*·s−2*b*·m2*b*·kg−2*b*·m*c*·s−*c*

= kg*a* + *b* − 2*b*·m2*a* + *b* + 2*b* + *c*·s−2*a* + *a* – 2*b* − *c*

= kg*a* − *b*·m2*a* + 3*b* + *c*·s−*a* – 2*b* − *c*

有 *a* – *b* = 1，2*a* + 3*b* + *c* = 0，− *a* − 2*b* – *c* = 0

故 *a* = ，*b* = − ，*c* = 。

普朗克质量 *m*P = $\left(\frac{hc}{G}\right)^{\frac{1}{2}}$ ≈ 5.46×108 kg

命题意图：知道普朗克质量。

主要素养与水平：物质观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

\*9．参考解答：不适用。因为在光电效应中电子受到金属材料的束缚作用，不满足动量守恒定律中合外力为零的条件。

命题意图：在陌生的微观情境中运用熟悉的经典理论，体验规律的普适性。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。