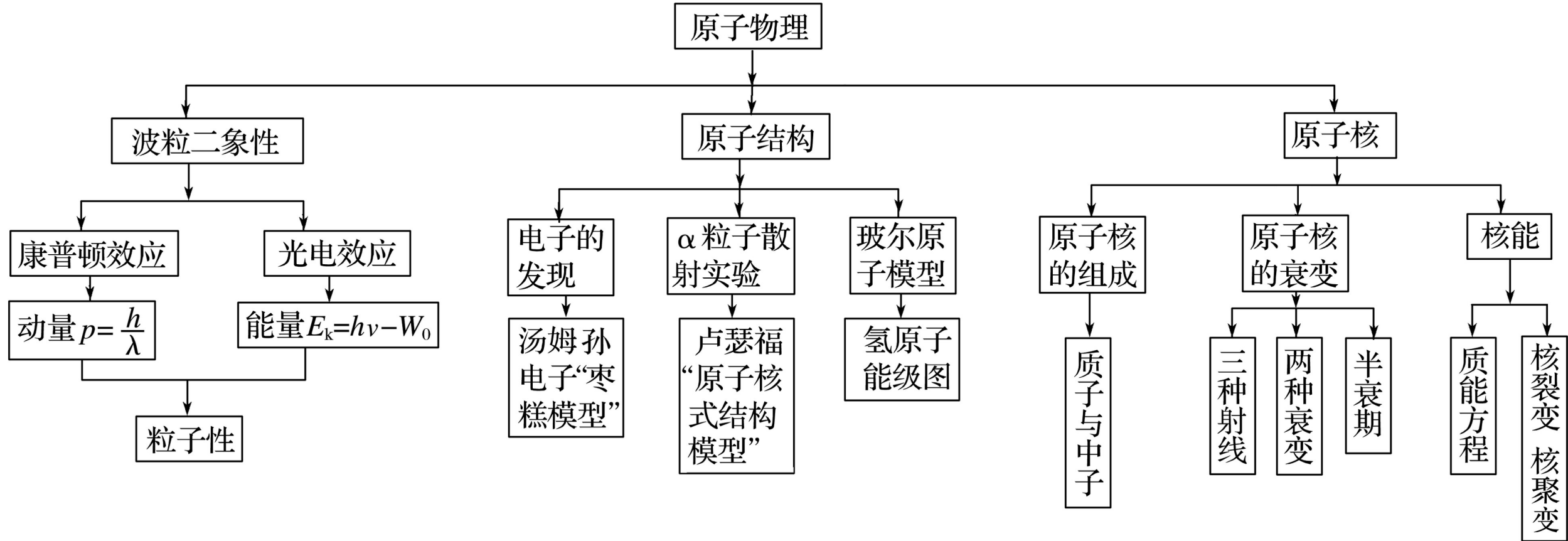


知识专题

# 专题12 波粒二象性 原子和 原子核





**考题一 光电效应与光子说**

---

**考题二 氢原子光谱与能级**

---

**考题三 核反应与核能**

---

知识精讲

### 1. 爱因斯坦光电效应方程

$$E_k = h\nu - W_0.$$

### 2. 用图象表示光电效应方程，如图 1 所示

- (1) 极限频率：图线与  $\nu$  轴的交点的横坐标  $\nu_0$ .
- (2) 逸出功：图线与  $E_k$  交点的纵坐标的值  $W_0$ .
- (3) 普朗克常量：图线的斜率  $k = h$ .

### 3. 处理光电效应问题的两条线索：光强和光的频率

- (1) 光强  $\rightarrow$  光子数目多  $\rightarrow$  发射光电子数多  $\rightarrow$  光电流大
- (2) 光子频率高  $\rightarrow$  光子能量大  $\rightarrow$  产生光电子的最大初动能大

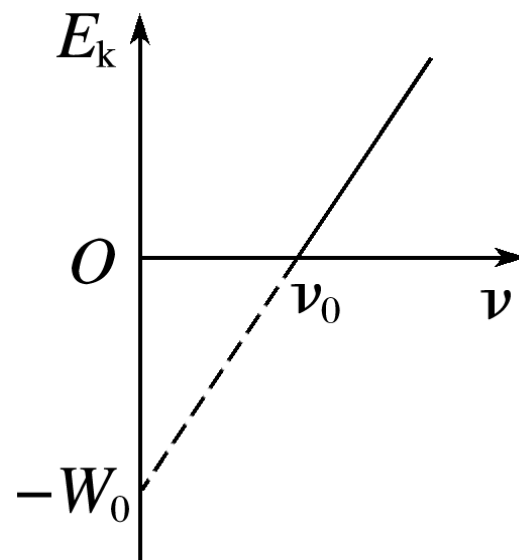


图 1

## 典例剖析

**例 1** 爱因斯坦因提出了光量子概念并成功地解释光电效应的规律而获得 1921 年诺贝尔物理学奖。某种金属逸出光电子的最大初动能  $E_{\text{km}}$  与入射光频率  $\nu$  的关系如图 2 所示，其中  $\nu_0$  为极限频率。从图中可以 **?** 定的是 ( )

A. 逸出功与  $\nu$  有关

B. 当  $\nu > \nu_0$  时，会逸出光电子

C.  $E_{\text{km}}$  与入射光强度成正比

D. 图中直线的斜率与普朗克常量有关

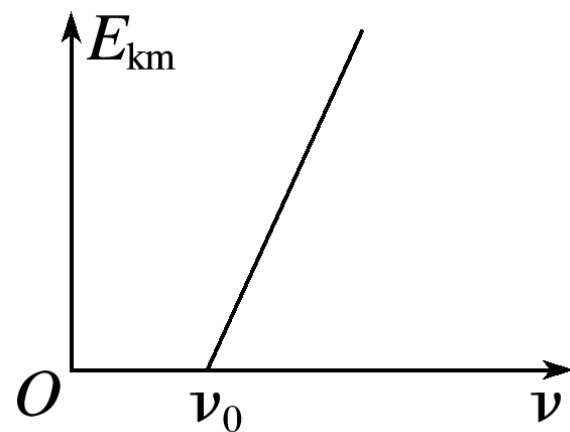


图 2

## [ 变式训练 ]

1. 一光电管的阴极 K 用截止频率为  $\nu$  的金属铯制成，光电管阳极 A 和阴极 K 之间的正向电压为  $U$ . 用波长为  $\lambda$  的单色光射向阴极，产生了光电流. 已知普朗克常量为  $h$ ，电子电荷量为  $e$ ，真空中的光速为  $c$ . 求：

(1) 金属铯的逸出功  $W_0$ ；

**解析** 由题知，金属铯的逸出功  $W_0 = h\nu$

**答案**  $h\nu$

(2) 光电子到达阳极的最大动能  $E_k$ .

**解析** 根据光电效应方程知，光电子的最大初动能

$$E_{k\text{m}} = h\frac{c}{\lambda} - W_0 = h\frac{c}{\lambda} - h\nu$$

根据动能定理得： $eU = E_k -$

联立得：光电子到达阳极的最大动能  $E_k = eU + h\frac{c}{\lambda} - h\nu$

**答案**  $eU + h\frac{c}{\lambda} - h\nu$

2. 如图 3 所示电路可研究光电效应规律。图中标有 A 和 K 的为光电管，其中 K 为阴极，A 为阳极。理想电流计可检测通过光电管的电流，理想电压表用来指示光电管两端的电压。现接通电源，用光子能量为  $10.5 \text{ eV}$  的光照射阴极 K，电流计中有示数；若将滑动变阻器的滑片  $P$  缓慢向右滑动，电流计的读数逐渐减小，当滑至某一位置时电流计的读数恰为零时电压表

的示数为  $6.0 \text{ V}$ ，现保持滑片  $P$  位置不变，光电管阴极材料为逸出功为 \_\_\_\_\_，若增大入射光的强度，电流计的读数 \_\_\_\_\_ (选填“为零”或“不为零”)。

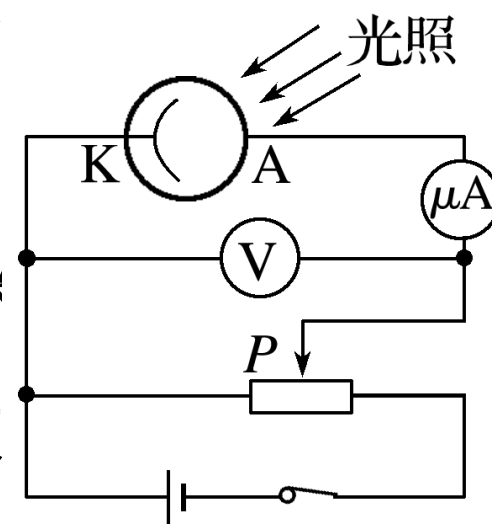
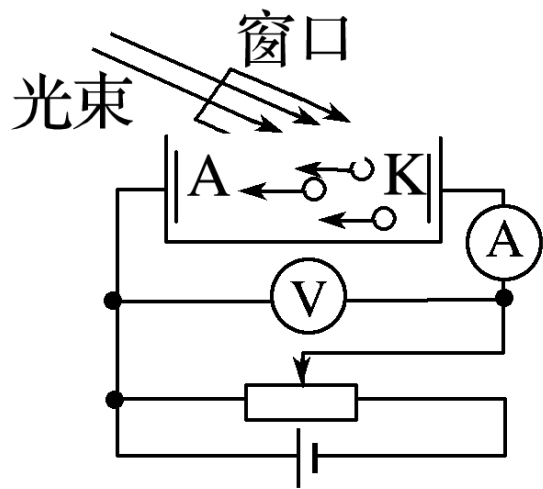
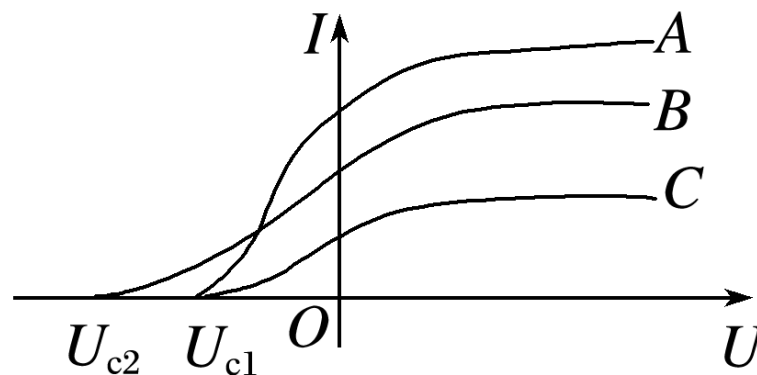


图 3

3. 用同一实验装置如图 4 甲研究光电效应现象，分别用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三束光照射光电管阴极，得到光电管两端电压与相应的光电流的关系如图乙所示，其中  $A$ 、 $C$  两束光照射时对应的遏止电压相同，均为  $U_{c1}$ ，下列论述正确的是 ( )



甲



乙

图 4

A.  $B$  光束光子的能量最小

✓ B.  $A$ 、 $C$  两束光的波长相同，且比  $B$  光的波长长

C. 三个光束中  $B$  光束照射时单位时间内产生的光电子数量最多

✓ D. 三个光束中  $B$  光束照射时光电管发出的光电子最大初动能最大

**解析** 当光电流为零时光电管两端的电压为截止电压，对应光的频率为截止频率，由  $eU_{\text{截}} = \frac{1}{2}mv_{\text{m}}^2 = hv - W_0$  知，入射光的频率越高，对应的截止电压  $U_{\text{截}}$  越大， $A$  光、 $C$  光的截止电压相等，故  $A$  光、 $C$  光的频率相等，它们的最大初动能也相等，而  $B$  光的频率最大，能量最大，故最大初动能也最大，对应的波长最小，故  $A$ 、 $C$  错误， $B$ 、 $D$  正确。

## 知识精讲

## 1.玻尔理论的基本内容

(1)能级假设：氢原子  $E_n = \frac{E_1}{n^2}$  ( $n$  为量子数).

(2)跃迁假设：吸收或释放的能量  $h\nu = E_m - E_n$  ( $m > n$ )

(3)轨道假设：氢原子  $r_n = n^2 r_1$  ( $n$  为量子数)

## 2. 解决氢原子能级跃迁问题的四点技巧

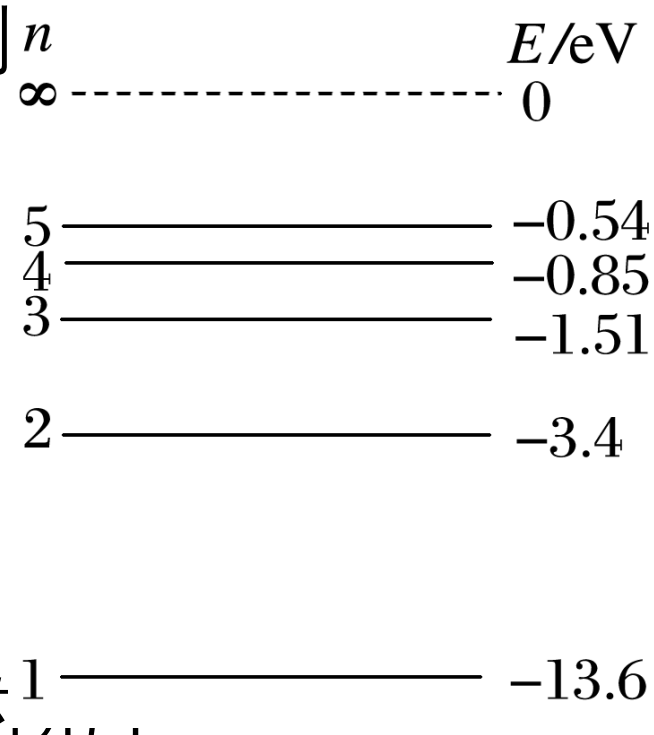
(1) 原子跃迁时，所吸收或释放的光子能量只能等于两能级之间的能量差。

(2) 原子电离时，所吸收的能量可以大于或等于某一能级的绝对值。

(3) 一群氢原子处于量子数为  $n$  的激发态时，可能辐射光子的种类  $N = \frac{n(n-1)}{2}$ 。

(4) 计算能级能量时应注意：因一般取无穷远处为零电势参考面，故各个能级的能量值均为负值。

**例 2** 如图 5 所示是氢原子的能级图，大量处于  $n = 4$  激发态的氢原子向低能级跃迁时，一共可以辐射出 6 种不同频率的光子，其中巴耳末系是指氢原子由高能级向  $n = 2$  能级跃迁时释放的光子，则



✓ A. 6 种光子中有 2 种属于巴耳末系

B. 6 种光子中波长最长的是  $n = 4$  激发态跃迁到基态时产生的

✓ C. 使  $n = 4$  能级的氢原子电离至少要 0.85 eV 的能量

✓ D. 在 6 种光子中， $n = 4$  能级跃迁到  $n = 1$  能级释放的光子，康普顿效应最明显

图 5

## [ 变式训练 ]

4. 如图 6 所示为氢原子的四个能级，其中  $E_1$  为基态，若一群氢原子 A 处于激发态  $E_2$ ，一群氢原子 B 处于激发态  $E_3$ ，B 从  $E_3$  跃迁到  $E_2$  所发出的光波长为  $\lambda_1$ ，A 从  $E_2$  跃迁到  $E_1$  所发出的光波长为  $\lambda_2$ 。已知普朗克常量为  $h$ ，真空中光速为  $c$ ，其中

$$\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

两个能量差  $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1}$ ，若 B 从  $E_3$  直接跃迁到  $E_1$  所发

解析 由玻尔理论可知， $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1}$ ， $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_2}$ ， $E_3 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_3}$ 。因  $\frac{hc}{\lambda_1} + \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{hc}{\lambda_3}$  可得： $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$ 。

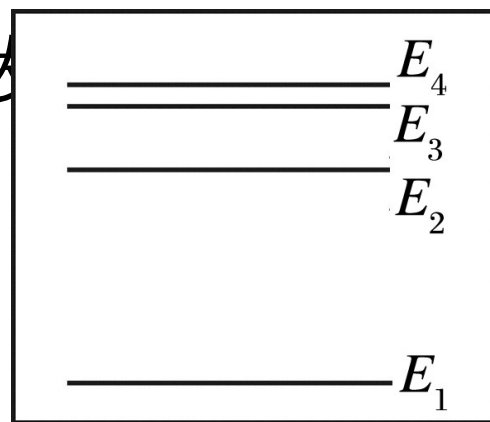


图 6

5. 在探究光电效应的实验中，用光照射某种金属，测得该金属表面有光电子逸出的最大入射光波长为  $\lambda_0$ . 若用氢原子发出的光照射该金属，已知氢原子从能级 3 跃迁到能级 2 时发出的光可使该金属发生光电效应，但从能级 4 跃迁到能级 3 发出的光不能使该金属发生光电效应. 已知氢原子能级如图 7 所示，真空中的光速为  $c$ ，则下列说法正确的是 ( ? )

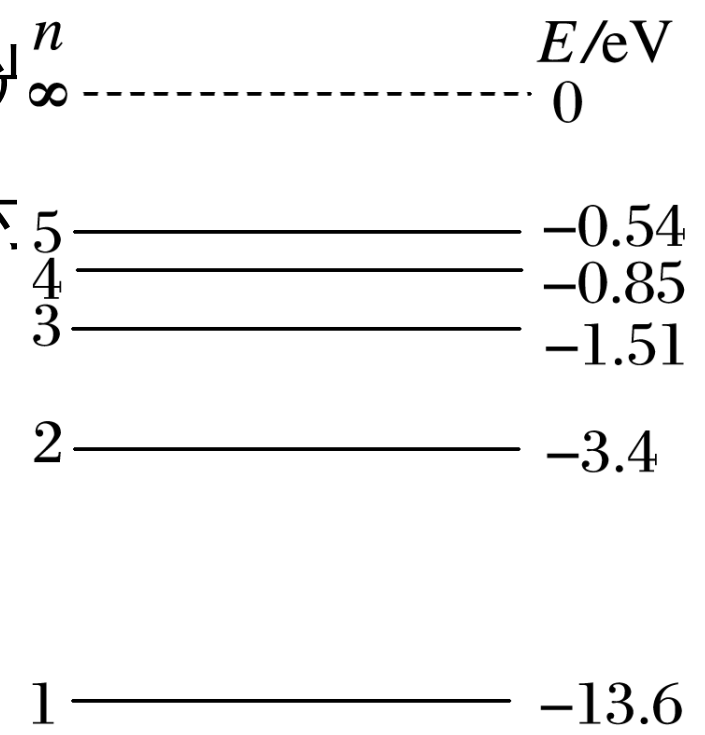


图 7

- ✓ A. 该金属的极限频率为  $\frac{c}{\lambda_0}$
- ✓ B. 该金属的逸出功大于 0.66 eV
- C. 当用氢原子从能级 5 跃迁到能级 3 发出的光照射该金属时，该金属一定
- ✓ 会发生光电效应
- D. 当用氢原子从其他能级跃迁到能级 1 发出的光照射该金属时，该金属一定会发生光电效应

6. 如图 8 所示为氢原子光谱中的三条谱线，对这三条谱线的描述中正确的是 ( ? )

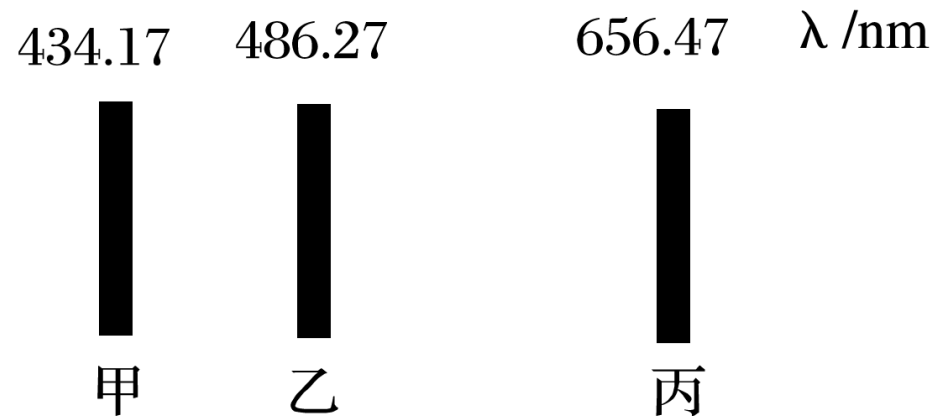


图 8

- A. 乙谱线光子能量最大
- B. 甲谱线是电子由基态向激发态跃迁发出的
- C. 丙谱线可能是电子在两个激发态间跃迁发出的
- D. 每条谱线对应核外电子绕核旋转的一条轨道，任一谱线的频率等于电子做圆周运动的频率

## 1. 核反应方程的书写要求

- (1) 核反应过程一般不可逆，所以核反应方程中用“ $\rightarrow$ ”表示方向而不能用等号代替。
- (2) 核反应方程遵循质量数、电荷数守恒，但核反应前后的总质量会发生质量亏损且释放能量。
- (3) 核反应的生成物一定要以实验为基础，不能只依据两个守恒规律而凭空杜撰出生成物。

## 2.原子核的衰变

(1)衰变的实质： $\alpha$  衰变为  $2\text{}^1_1\text{H} + 2\text{}^1_0\text{n} \rightarrow \text{}^4_2\text{He}$ ，即  $\alpha$  射线； $\beta$  衰变为  $\text{}^1_0\text{n} \rightarrow \text{}^1_1\text{H} + \text{}^0_{-1}\text{e}$ ，即  $\beta$  射线，在  $\alpha$  衰变或  $\beta$  衰变过程中放出  $\gamma$  射线.

(2)衰变的快慢由原子核内部因素决定，与原子所处的物理、化学状态无关；半衰期是统计规律，对个别、少数原子无意义.

## 典例剖析

**例 3** 静止的原子核  $X$ ，自发发生反应  $X \rightarrow Y + Z$ ，分裂成运动的新核  $Y$  和  $Z$ ，同时产生一对彼此向相反方向运动的光子，光子的能量均为  $E$ 。已知  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ ，真空中的光速为  $c$ ，求：

(1) 反应放出的核能  $\Delta E$ ；

**解析** 由题知，质量亏损  $\Delta m = m_1 - m_2 - m_3$

由爱因斯坦质能方程： $\Delta E = \Delta mc^2$ ，

得：释放的核能  $\Delta E = (m_1 - m_2 - m_3)c^2$

**答案**  $(m_1 - m_2 - m_3)c^2$

(2) 新核 Y 的动能  $E_{kY}$ .

**解析** 由动量守恒定律知，初状态总动量为零

则末状态两个新核的动量大小相等，方向相反，有：

$$m_2 v_2 = m_3 v_3$$

$$\text{又由 } E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m} \text{ 知, } \frac{E_{kY}}{E_{kZ}} = \frac{m_3}{m_2}$$

由能量守恒得：新核 Y 的动

$$\text{能}_{kY} = \frac{m_3}{m_2 + m_3} [(m_1 - m_2 - m_3)c^2 - 2E].$$

**答案**  $\frac{m_3}{m_2 + m_3} [(m_1 - m_2 - m_3)c^2 - 2E]$

## [ 变式训练 ]

7. 一静止的 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核经 $\alpha$ 衰变成为 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 核，释放出的总动能为4.27 MeV.

问此衰变后 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 核的动能为多少 MeV(保留 1 位有效数字)?

8. 核裂变和核聚变的过程中能够放出巨大核能. 核裂变中经常使用的 $^{235}_{92}\text{U}$  具有天然放射性,  $^{235}_{92}\text{U}$  经过 7 次  $\alpha$  衰变和  $m$  次  $\beta$  衰变 $^{207}_{82}\text{Pb}$  变成, 则  $m =$  \_\_\_\_ . 核聚变中, 最常见的反应就是一个氘核与一个氚核结合成一个氦核. 已知氘核的比结合能是 1.09 MeV ; 氚核的比结合能是 2.78 MeV ; 氦核的比结合能是 7.03 MeV , 则氢核聚变的方程是  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$  ; 一次氢核聚变释放出的能量是 17.6 MeV.

**解析** 根据质量数和电荷数守恒, 由  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{207}_{82}\text{Pb} + 7^4_2\text{He} + m^0_{-1}\text{e}$  得  $m = 4$  ;

同理, 得核聚变方程为:  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$  ; 根据  $\Delta E = \Delta mc^2$  , 得一次氢核聚

变释放出的能量:  $\Delta E = 7.03 \times 4 - (2.78 \times 3 + 1.09 \times 2) = 17.6 \text{ MeV}$ .

9.放射性同位素 ${}^{14}_6\text{C}$  被考古学家称为“碳钟”，它可以用来判定古生物体的年代.宇宙射线中高能中子碰撞空气中的氮原子后，就会形成不稳定的 ${}^{14}_6\text{C}$ ，它容易发生 $\beta$ 衰变，变成一个新核，其半衰期为5 730年.该衰变的核反应方程式为 $\underline{{}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}}$ . ${}^{14}_6\text{C}$ 的生成和衰变通常是平衡的，即生物机体中 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量是不变的.当生物体死亡后，机体内 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量将会不断减少.若测得一具古生物遗骸中 ${}^{14}_6\text{C}$ 含量只有活体中的25%，则这具遗骸距今约有11 460年.

**解析** 根据电荷数和质量数守恒得： ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ ，由 $\frac{1}{4} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ ，且 $T = 5\,730$ 年，得： $t = 2 \times 5\,730 = 11\,460$ 年.