

大的不确定性,这样的结果与测量仪器及测量方法是否完备无关,无论怎样改善测量仪器和测量方法,都不可能逾越不确定性关系所给出的限度.故 **A、D 正确**.

教材变式 本题由教材 P96 第 1 题演变而来.教材和本题分别从不同角度考查了对不确定性关系的理解.

11. 电子的速度可以完全确定 可以用经典力学来处理

【解析】 $\Delta x = 0.1 \text{ mm} = 10^{-4} \text{ m}$, 由 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 得, 动量的不确定量最小值 $\Delta p \approx 5 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 其速度不确定量最小值 $\Delta v = \frac{\Delta p}{m} \approx 0.55 \text{ m/s}$. 由 $\frac{1}{2}mv^2 = eU$, 可解得 $v = 6 \times 10^7 \text{ m/s}$, 由于 $\Delta v \ll v$, 则电子的速度可以完全确定, 故可以用经典力学来处理.

刷易错

★易错点 混淆光子和微观粒子的能量和动量表达式

12. D **【解析】** 影响电子显微镜分辨率的直接因素是电子的波

长, 加速电压越高, 电子波长越短, 分辨率越高, 故 **A、B 错误**;

突破点: 根据 $eU = E_k$, $\lambda = \frac{h}{p}$, $p = \sqrt{2mE_k}$, 联立可得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$

相同动能的质子和电子, 根据 $p = \sqrt{2mE_k}$, $p = \frac{h}{\lambda}$, 联立解得

$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}}$, 因为质子质量大于电子质量, 所以质子的波长小于电子的波长, 波长越短, 分辨率越高, 所以用相同动能的质子代替电子能拍摄到该病毒的图像, 故 **C 错误**; 由动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, 电子的动量 $p = \frac{h}{\lambda_{\text{德}}}$, 联立解得 $U = \frac{h^2}{2em\lambda_{\text{德}}^2}$, 代入数据得 $U \approx 37.7 \text{ V}$, 故 **D 正确**.

易错分析 需要用物质波对应的动能和动量的关系式 $p =$

$\sqrt{2mE_k}$, $p = \frac{h}{\lambda}$ 计算, 易误代入光子的能量表达式 $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$, 从而导致错解.

第五章 原子与原子核

第一节 原子的结构

课时 1 原子核式结构的提出

刷基础

1. AD **【解析】** 汤姆孙根据阴极射线在电场和磁场中的偏转情况判断出阴极射线本质上是带负电的粒子流, 并求出了比荷, 从而发现了电子, 故 **A 正确, B 错误**; 电子质量是质子质量的 $\frac{1}{1836}$, 故 **C 错误**; 汤姆孙发现用不同材料的阴极做实验研究阴极射线时均发出同一种粒子——电子, 这就说明电子是比原子更基本的物质单元, 而对光电效应等现象的研究更加验证了这一点, 故 **D 正确**.

2. AC **【解析】** 实验证明, 阴极射线是电子流, 它在电场中偏转时应偏向带正电的极板一侧, **B 错误, C 正确**; 加上垂直纸面向里的磁场时, 电子在磁场中受洛伦兹力作用, 要发生偏转, **D 错误**; 当不加电场和磁场时, 电子所受的重力可以忽略不计, 因而不发生偏转, 应打到最右端的 P_1 点, **A 正确**.

3. (1) $\frac{U}{Bb}$ (2) $\frac{e}{m} = \frac{2dU}{B^2 b L_1 (L_1 + 2L_2)}$

【解析】 (1) 电子在正交的匀强电场和匀强磁场中做匀速直

线运动, 有 $Bev = Ee = \frac{U}{b}e$,

解得 $v = \frac{U}{Bb}$, 即打在荧光屏 O 点的电子速度的大小为 $\frac{U}{Bb}$.

(2) P 与 P' 之间只有偏转电场时, 电子的加速度为 a , 运动时间为 t , 电子离开偏转电场的偏移量为 y , 速度偏转角为 θ , 根据运动学公式有 $y = \frac{1}{2}at^2$,

根据牛顿第二定律有 $a = \frac{eU}{mb}$,

运动的时间 $t = \frac{L_1}{v}$, 解得 $y = \frac{eUL_1^2}{2mbv^2}$,

由几何关系得 $\frac{y}{d} = \frac{\frac{1}{2}L_1}{\frac{1}{2}L_1 + L_2}$, 可得 $\frac{e}{m} = \frac{2dU}{B^2 b L_1 (L_1 + 2L_2)}$.

4. C **【解析】** 汤姆孙认为原子是一个球体, 正电荷弥漫性地均匀分布在整個球体内, 电子镶嵌其中, 卢瑟福设计了 α 粒子散射实验, 证明原子中带正电的那部分物质占原子质量的绝大部分, 而且集中在很小的空间范围内, 从而证明汤姆孙的“枣糕模型”是错误的, 故 **A、D 错误, C 正确**; α 粒子散射实验中, 大多数 α 粒子穿过金箔后, 其运动方向没有受到较大的影响, 故 **B 错误**.

5. BC **【解析】** 根据 α 粒子散射实验现象, 大多数粒子通过金箔后方向不变, 少数粒子方向发生改变, 极少数偏转超过 90° , 甚至有的被反向弹回, 可知荧光屏在 B 位置的亮斑比 A 位置少, 荧光屏在 C 位置的亮斑比 $A、B$ 位置少, 选项 **A 错误, C 正确**; 该实验说明原子的正电荷和绝大部分质量集中在一个很小的核上, 而

不是质量均匀分布,选项 **B 正确,D 错误**.

- 6. A 【解析】** α 粒子穿透能力弱,若在空气中会被吸收,无法到达荧光屏,因此实验需在真空中进行,故 **A 正确**; α 粒子质量约为电子质量的 7 300 倍,碰撞时电子对其速度影响可忽略,故 **B 错误**;绝大多数 α 粒子未偏转是因为正电体很小,当 α 粒子进入原子区域后,大部分离正电体很远,受到的库仑斥力很小,而非由于原子是电中性的,故 **C 错误**;大角度偏转由正电体对 α 粒子的库仑斥力引起,而非由于受到撞击而反弹,故 **D 错误**.

- 7. D 【解析】**电子质量很小, α 粒子与电子碰撞,运动方向几乎不改变,选项 **A 错误**;绝大多数 α 粒子运动方向不发生改变,少数发生了大角度偏转,选项 **B 错误**;该实验为卢瑟福的原子的核式结构理论奠定了基础,从而否定了汤姆孙的“枣糕模型”,选项 **C 错误**;该实验说明原子具有核式结构,正电荷集中在原子核上,选项 **D 正确**.

- 8. C 【解析】**根据卢瑟福提出的原子的核式结构模型可知,原子核集中了原子的全部正电荷,即原子核外的电场分布与正点电荷的电场类似. 做曲线运动的物体合力方向指向运动轨迹的凹侧,根据 α 粒子从 A 运动到 B 的运动轨迹,可知静电力做负功, α 粒子的动能减小,电势能增大,从 B 运动到 C,静电力做正功, α 粒子的动能增大,电势能减小,A、C 在同一条等势线上,则静电力做的总功等于 0,故 **A、B 错误,C 正确**;离原子核越近的位置场强越大,则 A、B、C 三点的电场强度大小的关系 $E_A = E_C < E_B$,场强越大,则 α 粒子所受电场力越大, α 粒子加速度越大,故 α 粒子的加速度先变大后变小,故 **D 错误**.

→ **突破点:** 类比点电荷电场规律

迹的凹侧,根据 α 粒子从 A 运动到 B 的运动轨迹,可知静电力做负功, α 粒子的动能减小,电势能增大,从 B 运动到 C,静电力做正功, α 粒子的动能增大,电势能减小,A、C 在同一条等势线上,则静电力做的总功等于 0,故 **A、B 错误,C 正确**;离原子核越近的位置场强越大,则 A、B、C 三点的电场强度大小的关系 $E_A = E_C < E_B$,场强越大,则 α 粒子所受电场力越大, α 粒子加速度越大,故 α 粒子的加速度先变大后变小,故 **D 错误**.

教材变式 本题目由教材 P107 第 2 题演变而来,教材考查了 α 粒子散射实验中靠近原子核的 α 粒子的运动轨迹,本题考查了 α 粒子运动过程中动能、电势能和加速度的变化情况.

关键点拨 解决有关 α 粒子散射问题的四点提醒

- (1)核外电子不会使 α 粒子的速度发生明显改变.
- (2)汤姆孙模型不能解释 α 粒子的大角度散射.
- (3)少数 α 粒子发生了大角度偏转,甚至反弹回来,表明这些 α 粒子在原子中的某个地方受到了质量、电荷量均比它本身大得多的物质的作用.
- (4)绝大多数 α 粒子在穿过“厚厚”的金原子层时运动方向没有明显变化,说明原子中绝大部分是空的. 占原子质量绝大部分的带正电的物质都集中在体积很小的核上.

- 9. C 【解析】**重原子核带正电,根据正点电荷的等势面的分布可知,在离原子核越远的位置,其电势越低,所以在重核周围产生的电场中,Q 点的电势比 M 点的低,**B 错误**;三点中 N 点离 O 点最近,电势最高,所以 α 粒子在 N 点电势能最大,**C 正确**;若 α 粒子从 M 点运动到 Q 点,有 $W_{MQ} = qU_{MQ} = q(\varphi_M - \varphi_Q)$,由于 Q 点的电势比 M 点的低,即 $U_{MQ} > 0$,则电场力对它做的总功为正功,所以 α 粒子的动能增大,则 α 粒子在 M 点的速率比在 Q 点的小,**A、D 错误**.

刷易错

★易错点 对 α 粒子散射实验理解不准确而出错

- 10. A 【解析】**卢瑟福通过 α 粒子散射实验提出了原子的核式结构模型,正电荷全都集中在原子核内, α 粒子带正电,根据同种电荷相互排斥,结合 α 粒子做曲线运动,合外力的方向应指向运动轨迹的凹侧,可知①区域符合题意,故 **A 正确**.

→ **突破点:** α 粒子受到库仑斥力作用,且库仑斥力指向轨迹凹侧

易错分析 本题可能会由于对 α 粒子散射实验现象只凭表象识记,不理解 α 粒子散射的真正原因而出错.

课时 2 氢原子光谱和原子的能级结构

刷基础

- 1. D 【解析】**太阳光谱是吸收光谱,白炽灯光谱是连续光谱,故 **A 错误**;月光是月球反射的太阳光,分析月光实际上就是在分析太阳光,因此无法通过分析月光的光谱来得到月球的元素成分,故 **B 错误**;高温物体发出的光通过物质后,物质会吸收掉一部分,通过对光谱的分析,可以得知物质的组成成分,但是无法得到高温物体的组成成分,故 **C 错误**;稀薄气体和金属蒸气发出的光谱是线状谱,则霓虹灯和煤气灯火焰中燃烧的钠蒸气产生的光谱是线状谱,故 **D 正确**.

- 2. A 【解析】**根据多普勒效应可知,当波源与观察者相互靠近时,观察者接收到的频率变高,当波源与观察者相互远离时,观察者接收到的频率变低,根据 $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$,可知当波源与观察者相互靠近时,观察者观察到的波长变短,当波源与观察者相互远离时,观察者观察到的波长变长,结合题意,观测到恒星的吸收光谱中的黑色条纹朝着红光方向偏移,即观察到的波长变长,则接收到的频率变低,即该恒星在远离地球. 故 **A 正确**.

- 3. BC 【解析】**由于氢原子的轨道是不连续的,而氢原子在不同的轨道上的能级 $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$,故氢原子的能级是不连续的,

即是分立的,故 **C 正确**;当氢原子从较高能级 n 跃迁到较低能级 m 时,发射的光子的能量为 $E = E_n - E_m = \frac{1}{n^2}E_1 - \frac{1}{m^2}E_1 = \frac{m^2 - n^2}{n^2 m^2}E_1 = h\nu$,显然 n, m 的取值不同,发射光子的频率就不同,故氢原子光谱线的频率与氢原子能级的能量差有关,故 **D 错误**;由于氢原子发射(或吸收)的光子的能量 $E = \frac{m^2 - n^2}{n^2 m^2}E_1, n, m$ 只能取正整数,所以发射(或吸收)的光子的能量 E 是不连续的,所以氢原子光谱只能是一些特定频率的谱线,故 **A 错误, B 正确**.

4. C 【解析】根据巴耳末系谱线波长公式 $\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, H_α 对应的谱线波长最长, n 的取值最小,对应的是电子从 $n = 3$ 能级向 $n = 2$ 能级跃迁所释放光的谱线,故 **A 错误**; H_α 对应的谱线能级差最小,辐射的光子能量最低,故 **B 错误**; H_δ 对应的是电子从 $n = 6$ 能级向 $n = 2$ 能级跃迁所释放光的谱线,故 $n \geq 6$,故 **C 正确**;根据巴耳末系谱线波长公式,电子从 $n = 6$ 向 $n = 3$ 跃迁时,则 $\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{6^2} \right)$,其对应光的波长 λ 大于 H_α 的波长,属于红外线,故 **D 错误**.

5. AD 【解析】电子绕氢原子核在第 n 轨道上做圆周运动时,库仑力提供向心力,可得 $\frac{ke^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}$,又 $E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2$,联立可得 $E_{kn} = \frac{ke^2}{2r_n}$,可知电子绕氢原子核在第 1 轨道上做圆周运动时的动能为 $E_{k1} = \frac{ke^2}{2r_1}$,电子在第 4 能级的动能和在第 3 能级的动能分别为 $E_{k4} = \frac{ke^2}{2r_4} = \frac{ke^2}{2 \times 4^2 r_1} = \frac{ke^2}{32r_1}, E_{k3} = \frac{ke^2}{2r_3} = \frac{ke^2}{2 \times 3^2 r_1} = \frac{ke^2}{18r_1}$,可知 $E_{k4} < E_{k3}$,故 **A 正确, C 错误**;电子在第 n 轨道上运动时氢原子的能量为 $E_n = E_{pn} + E_{kn} = -\frac{ke^2}{r_n} + \frac{ke^2}{2r_n} = -\frac{ke^2}{2r_n}$,可得氢原子在第 4 能级的能量和在第 3 能级的能量分别为 $E_4 = -\frac{ke^2}{2r_4} = -\frac{ke^2}{32r_1}, E_3 = -\frac{ke^2}{2r_3} = -\frac{ke^2}{18r_1}$,可得 $E_4 > E_3$,故 **B 错误, D 正确**.

关键点拨 原子的能量及变化规律

(1) 原子中的能量: $E_n = E_{kn} + E_{pn}$.

(2) 氢原子中电子绕核运动时:

由牛顿第二定律有 $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,可得 $E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 = \frac{ke^2}{2r_n}$,又

$E_{pn} = -\frac{ke^2}{r_n}$,则 $E_n = E_{kn} + E_{pn} = -\frac{ke^2}{2r_n}$.

6. ABC 【解析】氢原子吸收一个光子后,由低能级跃迁至高能

级,即电子绕核旋转的轨道半径增大,氢原子的能级也增大, **A 正确, D 错误**;电子绕核做圆周运动,由库仑力提供向心力,有 $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,则电子的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$,轨道半径增大,则动能减小, **B 正确**;氢原子吸收一个光子后,由低能级跃迁至高能级,即电子绕核旋转的轨道半径增大,库仑力做负功,氢原子的电势能增大, **C 正确**.

7. C 【解析】原子从 $n = 4$ 能级跃迁到 $n = 2$ 能级时放出的能量为 $\Delta E = \frac{A}{4^2} - \left(-\frac{A}{2^2} \right) = \frac{3A}{16}$,放出的能量被处于 $n = 3$ 能级的原子吸收而使其核外电子电离,则脱离此原子的电子的动能为 $E_k = \Delta E - \frac{A}{3^2} = \frac{3A}{16} - \frac{A}{9} = \frac{11A}{144}$,故 **C 正确**.

8. C 【解析】由题意可知氢原子吸收光子后,能辐射出 6 种不同频率的光子,则吸收光子后,氢原子从 $n = 2$ 能级跃迁到 $n = 4$ 能级,则 $h\nu = -0.85 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV}) = 2.55 \text{ eV}$,辐射出的光

→ **关键点:** 大量处于量子数为 n 的激发态的氢原子向基态

跃迁时最多可辐射 $\frac{n(n-1)}{2}$ 种不同频率的光子

子频率最大的是从 $n = 4$ 能级跃迁到 $n = 1$ 能级的光子,即 $h\nu_m = -0.85 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 12.75 \text{ eV}$,解得 $\nu_m = 5\nu$,故 **C 正确**.

9. C 【解析】核外电子绕核运动时,库仑力提供向心力,有 $k \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{4\pi^2}{T_n^2} r_n = m \frac{v_n^2}{r_n}$,解得 $T_n = \sqrt{\frac{4m\pi^2 r_n^3}{ke^2}} \propto \sqrt{r_n^3}, E_{kn} = \frac{1}{2}mv_n^2 = \frac{ke^2}{2r_n} \propto \frac{1}{r_n}$,又因为 $r_n = n^2 r_1$,所以电子在 $n = 1$ 和 $n = 3$ 的轨道上运动的周期之比为 $\frac{T_1}{T_3} = \sqrt{\frac{r_1^3}{r_3^3}} = \sqrt{\frac{r_1^3}{(9r_1)^3}} = \frac{1}{27}$,动能之比为 $\frac{E_{k1}}{E_{k3}} = \frac{r_3}{r_1} = \frac{9}{1}$,故 **A、B 错误**;氢原子核外电子在基态时的动能与电势能之和为 -13.6 eV ,所以此时若电子的动能为 13.6 eV ,则电势能为 -27.2 eV ,故 **C 正确**;根据 A、B 项分

→ **易错点:** 根据能量守恒求解

析可知,氢原子从 $n = 1$ 能级跃迁到 $n = 3$ 能级的过程中,动能减少,总能量增加,所以电势能的增加量大于动能的减少量,故 **D 错误**.

10. A 【解析】由题图可知,从 $n = 4$ 能级跃迁到 $n = 3$ 能级比从 $n = 3$ 能级跃迁到 $n = 2$ 能级辐射出的光子能量小,则前者比后者辐射的光子频率小,所以前者比后者辐射的电磁波的波长长,选项 **A 正确**;根据玻尔理论可知,能级越高,则其对应的轨道半径越大,所以处于 $n = 4$ 的定态时电子的轨道半

径 r_4 比处于 $n=3$ 的定态时电子的轨道半径 r_3 大,选项 **B** 错误;从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级,电子的轨道半径减小,根据 $\frac{ke^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 可得 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$,故电子的动能增大,选项 **C** 错误;从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级时辐射的光子的能量 $E_{32} = E_3 - E_2 = -1.51 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV} < 2.5 \text{ eV}$,不能使逸出功为 2.5 eV 的金属发生光电效应,选项 **D** 错误。

刷易错

★易错点 不能正确理解原子跃迁问题而出错

11. AD 【解析】设原来光谱线数目为 $C_m^2 = \frac{m(m-1)}{2}$,调高电子的能量后,光谱线数目为 $C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$.由题意有 $C_n^2 - C_m^2 = 5$,解得 $n=4, m=2$ 或 $n=6, m=5$,故当 $\Delta n=2$ 时, $E_4 - E_1 \leq E < E_5 - E_1$, **D** 正确;当 $\Delta n=1$ 时, $E_6 - E_1 \leq E < E_7 - E_1$, **A** 正确。

易错分析 要注意区分一群氢原子与一个氢原子跃迁时辐射的光子种类.大量处于 n 激发态的氢原子向基态跃迁时,最多可辐射 $\frac{n(n-1)}{2}$ 种不同频率的光子.一个处于量子数为 n 的激发态的氢原子向基态跃迁时,最多可辐射 $(n-1)$ 种不同频率的光子。

刷提升

1. B 【解析】大量处于 $n=5$ 能级的氢原子向低能级跃迁时辐射出的全部谱线数为 $C_5^2 = 10$ 条,属于巴耳末系的有 $n=5 \rightarrow n=2, n=4 \rightarrow n=2$ 和 $n=3 \rightarrow n=2$,则巴耳末系的谱线数与全部的谱线数之比为 $\frac{3}{10}$,选项 **B** 正确。

2. C 【解析】根据题中信息,处在量子数为 4 的激发态的氢原子跃迁到各较低能级的原子数都是处在该激发态能级上的原子总数的 $\frac{1}{3}$,即向量子数为 2、3 的激发态和基态跃迁的原子数都是 $1\,200 \times \frac{1}{3} = 400$ (个),发出光子数为 $N_4 = 400 \times 3 = 1\,200$ (个),同理,处在量子数为 3 的激发态的 400 个氢原子跃迁到量子数为 2 的激发态和基态的原子数都是 $400 \times \frac{1}{2} = 200$ (个),发出光子数为 $N_3 = 200 \times 2 = 400$ (个),处在量子数为 2 的激发态的 $400 + 200 = 600$ (个)氢原子跃迁到基态的原子数是 $600 \times 1 = 600$ (个),发出光子数为 $N_2 = 600$ 个,则此过程中发出的光子总数为 $N = N_4 + N_3 + N_2 = 2\,200$ 个.处在 $n=4$ 能级的一群氢原子向低能级跃迁时能发出不同光子的数目为 $C_4^2 = 6$ 种,从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级辐射的光子能量

为 $E_{43} = E_4 - E_3 = 0.66 \text{ eV}$,从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射的光子能量为 $E_{32} = E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$,均小于 2.22 eV ,不能使金属钾发生光电效应,同理可知其他四种光子能量都大于 2.22 eV ,所以在此过程中能够从金属钾的表面打出光电子的光子数为 $N' = N - 400 - 200 = 1\,600$ (个).故 **C** 正确。

3. D 【解析】大量处于 $n=3$ 能级的氢原子向低能级跃迁,能产生 3 种不同频率的光子, **A** 正确;当氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到基态时,电子的速率增大,动能增加,电势能减小,因向外辐射光子,总能量减小, **B** 正确;根据库仑力提供向心力,可得 $\frac{ke^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,已知 $r_n = n^2 r_1$,则处于 $n=3$ 能级和处于基态的电子做圆周运动的线速度大小之比为 $\sqrt{\frac{1}{r_3}} : \sqrt{\frac{1}{r_1}} = 1 : 3$, **C** 正确;产生的光子的最小频率为 $\nu_{\min} = \frac{E_3 - E_2}{h}$,根据 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 可得最长波长 $\lambda_m = \frac{36hc}{5E_1}$, **D** 错误. 本题选错误的,故选 **D**。

4. C 【解析】大量氢原子从高能级向 $n=1$ 能级跃迁时,发出的光子能量最大为 13.6 eV ,最小为 10.2 eV ,比可见光的最大光子能量 3.11 eV 大得多,所以频率比紫光大,发出的光不可能像红外线那样具有显著的热效应, **A** 错误;大量氢原子从高能级向 $n=3$ 能级跃迁时,发出的光子能量最大为 1.51 eV ,小于可见光的最小光子能量 1.62 eV ,为红外线,不具有荧光效应, **B** 错误;处于第 4 能级状态的氢原子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级时放出的光子能量分别为 $\Delta E_1 = E_4 - E_1 = 12.75 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_2 = E_4 - E_2 = 2.55 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_3 = E_4 - E_3 = 0.66 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_4 = E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_5 = E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$ 、 $\Delta E_6 = E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$,由于可见光的光子能量范围为 $1.62 \sim 3.11 \text{ eV}$,可知大量处于第 4 能级状态的氢原子,发射光的谱线在可见光范围内的有 2 条, **C** 正确;用动能为 E_k 的电子撞击一群处于基态的氢原子,能产生 6 种频率的光子,由 $C_4^2 = 6$ 可知氢原子被激发到 $n=4$ 的激发态,可得 $E_4 - E_1 \leq E_k < E_5 - E_1$,即 **关键点**: 若要发生跃迁,实物粒子的能量应大于等于能级差 $12.75 \text{ eV} \leq E_k < 13.06 \text{ eV}$, **D** 错误。

刷素养

5. B 【解析】由题意可知,该效应劈裂谱线的偏振状态与电场方向有关,所以根据恒星劈裂谱线的偏振状态不可推测该恒星大气中的电场强度的大小,故 **A** 错误;在外加电场作用下,原子的发射光谱中某些谱线会发生劈裂,同理外加电场也可使恒星大气中某种原子光谱的吸收谱线发生劈裂,故 **B** 正确;若这种劈裂效应满足 $\Delta \varepsilon = \mu E$,结合 $W = qU$, $E = \frac{U}{d}$, $q = It$,

可知式中 μ 的单位为 $\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{m}$,故C错误;发生这种效应的原子光谱的能级裂距 $\Delta\varepsilon$ 与外加电场强度的大小 E 成正比,若外加电场强度的大小增加一倍,则原子能级劈裂后的相邻能级间的能量差值增加一倍,但不是从劈裂后的能级跃迁至基态能级发射光子的频率一定增加一倍,故D错误。

专题四 光电效应与原子能级跃迁问题

刷难关

1. C 【解析】能使氢原子从第一激发态($n=2$ 能级)电离的光

子的最小能量为 $E = -\frac{E_1}{4}$,由 $-\frac{E_1}{4} = h \frac{c}{\lambda}$,可得光子的最大波长为 $\lambda = \frac{4hc}{E_1}$,选项C正确。

2. CD 【解析】当滑片 P 向 M 端移动时,加在光电管上的反向电压变大,可知光电流 I 将减小,A错误;用某一频率的光照

射一群处于基态的氢原子后向低能级跃迁时能发出6种频率的光,可知氢原子从基态跃迁到了 $n=4$ 能级,其中只有3种不同频率的光 a 、 b 、 c 照射阴极 K 能够发生光电效应,可知3种光分别对应的三个较大的能级跃迁是 $n=4 \rightarrow n=1$ 、 $n=3 \rightarrow n=1$ 和 $n=2 \rightarrow n=1$,辐射光子的能量分别为12.75 eV、12.09 eV和10.2 eV,则阴极 K 材料的逸出功小于10.2 eV,B错误; a 光照射得到的饱和光电流最弱,由题图丙可知 a 光的遏止电压最大,根据 $U_{\text{遏}} e = E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可知 a 光光子

能量最大,C正确;由题图丙可知 c 光遏止电压最小,则 c 光的光子能量最小,即 c 光的光子能量为10.2 eV,则 b 光的光子能量为12.09 eV,根据 $U_{\text{遏}} e = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可得 $e(U_b - U_c) = 12.09 \text{ eV} - 10.2 \text{ eV}$,解得 $U_b - U_c = 1.89 \text{ V}$,D正确。

3. B 【解析】一群处于 $n=5$ 能级的氢原子向基态跃迁时,能放出 $C_5^2 = \frac{5 \times (5-1)}{2} = 10$ 种不同频率的光,A错误;一群处于 $n=5$ 能级的氢原子向基态跃迁时,发出的光照射锌板,其中从 $n=5$ 能级跃迁到基态、从 $n=4$ 能级跃迁到基态、从 $n=3$ 能级跃迁到基态、从 $n=2$ 能级跃迁到基态产生的4种不同频率的光子能量大于锌的逸出功,故有4种不同频率的光能使锌板发生光电效应,B正确;用能量为10.30 eV的光子照射,处于基态的氢原子吸收光子后的能量为 $E = E_1 + \varepsilon = -13.60 \text{ eV} + 10.30 \text{ eV} = -3.30 \text{ eV}$,氢原子没有-3.30 eV能量的激发态,

故不发生跃迁,C错误;假设氢原子从 n 能级向较低的各能

级跃迁的概率均为 $\frac{1}{n-1}$,则对 N_A 个处于 $n=3$ 能级的氢原子,

直接跃迁到基态的氢原子个数 $N_{31} = \frac{1}{3-1} N_A = \frac{1}{2} N_A$,跃迁到

$n=2$ 能级的氢原子个数 $N_{32} = \frac{1}{3-1} N_A = \frac{1}{2} N_A$,处于 $n=2$ 能级

的氢原子继续跃迁到基态的个数 $N_{21} = N_{32} = \frac{1}{2} N_A$,跃迁过程

中辐射的光子的总数为 $N = N_{31} + N_{32} + N_{21} = \frac{3}{2} N_A$,D错误。

4. BC 【解析】氢原子从 $n=6$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级产生可见光I的光子能量为 $E_{62} = (-0.38 \text{ eV}) - (-3.40 \text{ eV}) = 3.02 \text{ eV}$,从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级产生可见光II的光子能量 $E_{32} = (-1.51 \text{ eV}) - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$,可知光I的光子能量较大,频率较大,比光II有更显著的粒子性,故A错误;根据 $E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$,可知两种光分别照射阴极 K 产生的光电子的最大初动能之差等于光子能量之差,即 $\Delta E_{\text{km}} = E_{62} - E_{32} = (3.02 - 1.89) \text{ eV} = 1.13 \text{ eV}$,根据动能定理有 $E'_{\text{km}} = E_{\text{km}} + eU$,可知光电子到达阳极 A 的最大动能之差为 $\Delta E'_{\text{km}} = \Delta E_{\text{km}} = 1.13 \text{ eV}$,故B正确;滑片 P 向 a 移动,光电管的反向电压变大,当光电流为零时满足 $U_{\text{遏}} e = E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸出功}}$, $E_{62} > E_{32}$,可知光I对应的遏止电压较大,即电流表示数为零时光I对应的电压表示数比光II的大,故C正确;光I频率较大,同一介质对其折射率较大,可知用光I和光II以相同入射角 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)照射同一平行玻璃砖,光I的侧移量大,故D错误。

第二节 放射性元素的衰变

刷基础

1. B 【解析】有些原子核不稳定,可以自发地衰变发出射线,但不是所有元素都具有放射性,故A错误;贝可勒尔发现的天然放射性现象,说明原子核有复杂结构,故B正确;放射性元素的放射性与其核外电子无关,故放射性元素与其他元素形成化合物时仍具有放射性,故C错误; α 、 β 和 γ 三种射线中, γ 射线的穿透能力最强,电离能力最弱,故D错误。

2. C 【解析】由题图可知 A 板带正电, B 板带负电,由于 α 射线带正电, β 射线带负电, γ 射线不带电,故打在 A 板上的是 β 射线,打在 B 板上的是 α 射线,不发生弯曲的是 γ 射线,其中 γ 射线的穿透能力最强,可用于治疗肿瘤,故A、B、D错误;到达 A 板的射线为 β 射线,由电子组成,是原子核内的中子转化为质子时放出的,故C正确。

3. D 【解析】 α 射线带正电, γ 射线不带电, β 射线是电子流、带负电,根据左手定则可知打到 a 、 b 、 c 三点的射线分别是 β

射线、 γ 射线、 α 射线。D 正确。

4. D 【解析】三种射线中 α 射线和 β 射线是带电粒子流, 进入电场后会发生偏转, 而 γ 射线不带电, 不受电场力作用, 在电场中不偏转。由题意知, 将电场撤去, 通过显微镜观察到荧光屏上每分钟闪烁的亮点数没有变化, 又 β 射线能够穿过薄铝片, 可知射线中含有 γ 射线且不含 β 射线, 再将薄铝片移开, 则通过显微镜观察到荧光屏上每分钟闪烁亮点数大大增加, 根据 α 射线穿透本领最弱, 一张纸就能挡住的特性, 可知射线中含有 α 射线, 故放射源所发出的射线可能为 α 射线和 γ 射线, 故 D 正确。

关键点拨 本题要求熟练掌握三种射线的特性。三种射线中 α 射线的穿透本领最弱, γ 射线的穿透本领最强, γ 射线不带电, 在电场和磁场中不偏转。

5. AC 【解析】 α 衰变后新核的电荷数少 2, 质量数少 4, β 衰变后新核的电荷数多 1, 质量数不变, 由题意知原子核 A 和原子核 B 的中子数相同, 则 $a+4-b-2=d-c+1$, X 的中子数-Y 的中子数 $=a-b-(d-c)=-1$, A 正确, B 错误; 由 $a-b-(d-c)=-1$ 知, 如果 $a-d=2$, 则 $b-c=3$, C 正确, D 错误。

6. A 【解析】铀核 ($^{238}_{92}\text{U}$) 衰变为氡核 ($^{222}_{86}\text{Rn}$) 时质量数减少 16, 每次 α 衰变质量数减少 4, 故 α 衰变次数为 $\frac{238-222}{4}=4$, 质子数减少 6, 4 次 α 衰变使质子数减少 $4\times 2=8$, 每次 β 衰变质子数增加 1, 故 β 衰变次数为 $8-6=2$ 。综上所述, α 衰变 4 次, β 衰变 2 次, 故 A 正确。

7. B 【解析】发生 α 衰变的次数为 $n_1=\frac{232-208}{4}=6$, 发生 β 衰变的次数 $n_2=82+2\times 6-90=4$, 故 A 错误; 钍核与铅核质子数之差为 $n_3=90-82=8$, 可知铅核比钍核少 8 个质子, 故 B 正确; β 衰变所放出的电子来自原子核内, 故 C 错误; 钍核与铅核中子数之差为 $n_4=(232-90)-(208-82)=16$, 可知钍核比铅核多 16 个中子, 故 D 错误。

方法总结 确定原子核衰变次数的技巧

衰变次数的确定, 一般先由质量数的改变确定 α 衰变的次数, 这是因为 β 衰变的次数的多少对质量数没有影响, 然后根据电荷数的改变结合 α 衰变次数确定 β 衰变的次数。

8. B 【解析】设两种放射性元素的原子核数分别为 N_1 、 N_2 , 对应的半衰期分别为 t_0 和 $2t_0$, 则 $N_1+N_2=N$, 经过 $t=2t_0$ 后, 尚未衰变的原子核总数为 $\frac{5N}{12}$, 则有 $\frac{5N}{12}=\left(\frac{1}{2}\right)^2 N_1+\left(\frac{1}{2}\right)^1 N_2$, 解得 $N_1=\frac{1}{3}N$, $N_2=\frac{2}{3}N$, 经过 $t=6t_0$, 尚未衰变的原子核总数为

$$N'=\left(\frac{1}{2}\right)^6 N_1+\left(\frac{1}{2}\right)^3 N_2, \text{ 联立解得 } N'=\frac{17N}{192}, \text{ 故选 B.}$$

9. A 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒, 有 $18=18+0, 9=8+1$, 故 X 为正电子 (^0_1e), 故 A 正确; 半衰期由原子核内部结构决定, 与外界条件 (如高压) 无关, 故 B 错误; 衰变释放能量, 但质量数仍守恒, 故 C 错误; 半衰期是统计规律, 适用于大量原子核, 少量原子核不适用, 100 个 $^{18}_9\text{F}$ 经过 220 分钟 (2 个半衰期) 后, 未衰变的原子核数目无法确定, 故 D 错误。

关键点拨

应用半衰期公式 $m=M\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ 和 $n=N\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ 的

三点提示

- (1) 半衰期公式只对大量原子核才适用, 对少数原子核是不适用的。
- (2) 明确半衰期公式中 m 、 M 的含义及二者的关系, n 、 N 的含义及二者的关系。
- (3) 明确发生衰变的原子核与新产生的原子核质量之间的比例关系, 每衰变一个原子核, 就会产生一个新核, 它们之间的质量之比等于各自单个原子核的质量之比。

10. A 【解析】 ^{14}C 的半衰期为 $5\,730$ 年, 样品年代为 $22\,920$ 年, 经历的半衰期个数为 $\frac{22\,920}{5\,730}=4$ 次, 每经过一个半衰期, ^{14}C 含量减半, 4 次后剩余比例为 $\left(\frac{1}{2}\right)^4=\frac{1}{16}$, 初始含量比为 1.2×10^{-12} , 因此样品中 ^{14}C 与 ^{12}C 的含量比为 $\frac{1.2\times 10^{-12}}{16}=7.5\times 10^{-14}$, 故选 A。

11. BD 【解析】原子核发生衰变, 放出的粒子和新核动量守恒, 由于不知道衰变后粒子的速度方向, 所以无法确定磁场方向, 也无法判断粒子的运动方向, 故 A、C 错误; 根据洛伦兹力提供向心力, 有 $Bqv=m\frac{v^2}{r}$, 可得粒子做圆周运动的轨迹半径 $r=\frac{mv}{Bq}$, 因为衰变过程动量守恒, 则衰变后两粒子的动量大小相等, 方向相反, α 粒子和新核 X₁ 均带正电, 根据左手定则, 可知其形成的圆为外切圆, 因 α 粒子所带电荷量小, 则 α 粒子轨迹半径大, 故③为 α 粒子, 同理可知②为 β 粒子, 故 B 正确; 衰变过程动量守恒, 粒子与新核动量大小 p 相等, 粒子的质量小于新核的质量, 根据 $E_k=\frac{p^2}{2m}$, 可知②动能比①大, ③动能比④大, 故 D 正确。

方法总结 解答此类问题的三点注意事项

- (1) 原子核在释放 α 粒子或 β 粒子的过程中系统的动量守恒、能量守恒、电荷数守恒、质量数守恒；
- (2) 由左手定则和轨迹的内切(或外切)判断释放粒子的电性；
- (3) 根据洛伦兹力和牛顿第二定律以及动量守恒定律可知粒子轨迹半径和粒子电荷量的关系。

刷易错

★易错点 对衰变相关概念理解不正确

12. C 【解析】铀元素质量 m 、衰变后剩余铀元素的质量 m_1 、衰变时间 t 、半衰期 T 之间关系为 $m_1 = m \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$, 经过 $2T$, 剩余铀元素的质量为 $m_1 = m \left(\frac{1}{2} \right)^2 = \frac{m}{4}$, 即发生衰变的铀元素质量为 $\frac{3}{4}m$, 故 A、B 错误; 经过 $3T$ 后, 铀元素的质量还剩 $m'_1 =$ $m \left(\frac{1}{2} \right)^3 = \frac{m}{8}$, 故 C 正确; 经过 T 时间后, 有质量为 $\frac{m}{2}$ 的铀元素发生衰变生成铅, 则该矿石的剩余质量大于 $\frac{M}{2}$, 故 D 错误。

易错分析 解决此题时一定要明确半衰期的概念, 半衰期指的是原子核有一半发生衰变的时间, 千万不能认为是原子核全部衰变时间的一半。

刷提升**1. AC** 【解析】根据电荷数和质量数守恒可知, 由 $^{228}_{88}\text{Ra}$ 到 $^{228}_{89}\text{Ac}$ 的衰变过程中放出电子, 则此衰变是 β 衰变, 故 A 正确; 半衰期是大量原子核衰变的统计规律, 对少量原子核不适用, 故 B 错误; 设从 $^{228}_{90}\text{Th}$ 到 $^{208}_{82}\text{Pb}$ 共发生 x 次 α 衰变和 y 次 β 衰变,根据质量数守恒和电荷数守恒有 $2x - y = 90 - 82$, $4x = 228 - 208$, 解得 $x = 5$, $y = 2$, 故 C 正确; 原子核发生的 α 衰变和 β 衰变, 往往伴随 γ 射线的产生, 故 D 错误。**2. AC** 【解析】根据核反应质量数和电荷数守恒, 可知核反应方程为 $^{24}_{11}\text{Na} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + ^0_{-1}\text{e}$, 则该衰变过程为 β 衰变, 故 A 正确; 半衰期由核内部本身的因素决定, 与原子核所处的物理状态或化学状态无关, 所以 $^{24}_{11}\text{Na}$ 进入到血液后半衰期不变, 故 B 错误; 45 h 后, 即经历三个半衰期, 样本放射强度变为原来的 $\left(\frac{1}{2} \right)^3 = \frac{1}{8}$, 故 C 正确; 设该患者体内血液的总体积约为 V ,有 $\frac{6 \times 10^{-3} \text{ L}}{\frac{1}{5} \text{ 次/s}} = \frac{V}{\frac{1}{8} \times 2.4 \times 10^4 \text{ 次/s}}$, 解得 $V = 3.6 \text{ L}$, 故 D 错误。**3. B** 【解析】由质量数守恒和电荷数守恒可知, 两个衰变过程

分别放出正电子和电子, 放射性原子核 $^{30}_{15}\text{P}$ 放出正电子时, 正电子与新核的速度方向相反, 电性相同, 则两个粒子受到的洛伦兹力方向相反, 两个粒子的运动轨迹应为外切圆, 而放射性原子核 $^{234}_{90}\text{Th}$ 放出电子时, 电子与新核的速度方向相反, 电性相反, 则两个粒子受到的洛伦兹力方向相同, 两个粒子的运动轨迹应为内切圆。静止的放射性原子核放出粒子时, 两带电粒子的动量大小相等, 由 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ 可得轨迹半径与电荷量成反比, 而正电子和电子的电荷量比新核的电荷量小, 则正电子和电子的运动轨迹半径比新核的运动轨迹半径都大, 故运动轨迹 1、2、3、4 依次对应的粒子是 $^{234}_{91}\text{Pa}$ 、电子、正电子、 $^{30}_{14}\text{Si}$, B 正确。

刷素养**4. C** 【解析】静止的氢原子核由于衰变放出 α 粒子而生成一个新的原子核的过程动量守恒, 则衰变产生的 α 粒子与新核的动量等大反向, α 粒子与新核都带正电, 根据左手定则可知两圆一定都沿逆时针方向转动, 两圆一定外切, 故 A、B 错误; 设 α 粒子和新核的质量分别为 m_1 、 m_2 , 速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 电荷量分别为 q_1 、 q_2 , α 粒子做圆周运动过程中洛伦兹力提供向心力, 有 $q_1 v_1 B = m_1 \frac{v_1^2}{R_1}$, 解得 α 粒子做圆周运动的轨迹半径为 $R_1 = \frac{m_1 v_1}{q_1 B}$, 同理, 新核做圆周运动的轨迹半径为 $R_2 = \frac{m_2 v_2}{q_2 B}$, 以 v_1 的方向为正方向, 则有 $m_1 v_1 - m_2 v_2 = 0$, 根据核

反应质量数和电荷数守恒, 可知新核的核电荷数为 84, 质量

数为 218, 联立可得 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{q_2}{q_1} = \frac{84}{2} = \frac{42}{1}$, 故 D 错误; α 粒子做圆周运动的周期为 $T_1 = \frac{2\pi m_1}{q_1 B}$, 新核做圆周运动的周期为 $T_2 =$ $\frac{2\pi m_2}{q_2 B} = \frac{109}{84} T_1$, 可知 α 粒子第一次与新核碰撞时, 新核转动

→ **关键点:** 质量之比可用质量数之比表示

84 圈, α 粒子转动 109 圈, 故在 α 粒子转动 108 圈之内, 二者一定不会相撞, 故 C 正确。**第三节 核力与核反应方程****刷基础****1. A** 【解析】 $^{228}_{88}\text{Ra}$ 的质子数与核电荷数均为 88, 质量数为228, $^{226}_{88}\text{Ra}$ 的质子数与核电荷数均为 88, 质量数为 226, 两者具有相同的质子数和不同的质量数, A 正确, C 错误; $^{228}_{88}\text{Ra}$ 的

原子序数为 88, 中子数为 $228-88=140$, $^{226}_{88}\text{Ra}$ 的原子序数为 88, 中子数为 $226-88=138$, 两者具有不同的中子数和相同的原子序数, **B 错误**; 原子的核外电子数目与核内质子数目相等, 而核外电子数目决定了原子的化学性质, 两者质子数相等, 则具有相同的核外电子数与化学性质, **D 错误**.

- 2. A** 【解析】设 X 和 Y 的电荷数分别为 n_1 和 n_2 , 质量数分别为 m_1 和 m_2 , 根据反应方程电荷数和质量数守恒, 可得 $4+27=m_1+30$, $2+13=n_1+15$, $15=n_2+4$, $30=m_2+30$, 解得 $n_1=0$, $n_2=1$, $m_1=1$, $m_2=0$, 可知 X 的质量数为 1, 电荷数为 0, X 是中子, Y 的质量数为 0, 电荷数为 1, Y 是正电子. 故选 A.

教材变式 本题目由教材 P123 第 5 题演变而来. 教材考查了放射性元素的半衰期的应用, 本题考查了衰变方程.

- 3. AC** 【解析】核力作用的范围在 10^{-15} m 之内, 只在邻近核子间发生, 是短程力, 故 **A 正确**, **B 错误**; 质子间、中子间、质子与中子之间都有核力, 核力是强相互作用力, 故 **C 正确**, **D 错误**.

- 4. C** 【解析】核子间的强相互作用使核子聚集到一起形成原子核, 故 **A 错误**; 结合能不是指核子结合在一起所具有的能量, 而是把核子分开所需要的能量, 故 **B 错误**; 核子在结合成

原子核时, 核子平均质量亏损越大, 则原子核的比结合能越大, 原子核越稳定, 故 **C 正确**; 组成原子核的核子平均质量越小, 原子核的比结合能越大, 故 **D 错误**.

- 5. A** 【解析】 $^{131}_{53}\text{I}$ 的质子数为 53, 中子数为 $131-53=78$, 质子总质量为 $53\times 1.007\text{ u}=53.371\text{ u}$, 中子总质量为 $78\times 1.009\text{ u}=78.702\text{ u}$, 核子总质量为 $53.371\text{ u}+78.702\text{ u}=132.073\text{ u}$, 核子结合成 $^{131}_{53}\text{I}$ 质量亏损 $\Delta m=132.073\text{ u}-131.037\text{ u}=1.035\text{ u}$, 结合能 $E=1.035\text{ u}\times 931.5\text{ MeV}\approx 965\text{ MeV}$. 故选 A.

- 6. B** 【解析】根据题图 1 可知, ^4_2He 核的比结合能约为 7 MeV, 则 ^4_2He 核的结合能约为 $E=4\times 7\text{ MeV}=28\text{ MeV}$, **A 错误**; 根据题图 1 可知, $^{235}_{92}\text{U}$ 核的比结合能比 $^{89}_{36}\text{Kr}$ 核的比结合能小, 所以 $^{89}_{36}\text{Kr}$ 比 $^{235}_{92}\text{U}$ 更稳定, **B 正确**; 根据题图 2 可知, 核 D 裂变成核 E 和 F 的过程中, 平均核子质量减少, 放出核能, 比结合能增大, **C 错误**; 根据题图 2 可知, 若 A、B 能结合成 C, 平均核子质量减少, 结合过程一定放出能量, **D 错误**.

关键点: 平均核子质量越小, 比结合能越大

方法总结 结合能与比结合能的比较

- (1) 组成原子核的核子越多, 结合能越大, 但比结合能不一定越大.
(2) 结合能与核子个数之比称作比结合能, 比结合能越大, 原子核越稳定.

- 7. AD** 【解析】根据质量数和电荷数守恒, 可知核反应方程为 $3^4_2\text{He}\rightarrow^{12}_6\text{C}$, **A 正确**; X 核中有 $12-6=6$ 个中子, **B 错误**; 该核反应放出的能量等于反应前、后结合能的增加值, 释放的能量 $\Delta E=12E_2-3\times 4E_1=12(E_2-E_1)$, **C 错误**; 该核反应的质量亏损为 $\Delta m=\frac{12(E_2-E_1)}{c^2}$, **D 正确**.

- 8. AD** 【解析】由质量数和电荷数守恒可知, 核反应方程为 $^{10}_5\text{B}+^1_0\text{n}\rightarrow^7_3\text{Li}+^4_2\text{He}$, 故 **A 正确**; 由于 α 衰变是自发进行的, 则硼核吸收慢中子变成新核和 α 粒子的核反应并不是 α 衰变, 故 **B 错误**; 由能量守恒定律可知 $7E_2+4E_3>10E_1$, 得 $E_1<\frac{7E_2+4E_3}{10}$, 故 **C 错误**; 该核反应放出的能量为 $\Delta E=7E_2+4E_3-10E_1$, 则该核反应质量亏损为 $\Delta m=\frac{\Delta E}{c^2}=\frac{7E_2+4E_3-10E_1}{c^2}$, 故 **D 正确**.

- 9. (1)** $^{226}_{88}\text{Ra}\rightarrow^{222}_{86}\text{Rn}+^4_2\text{He}$ **(2)** $\frac{mc^2\Delta m}{M+m}$ $\frac{Mc^2\Delta m}{M+m}$ **(3)** $\frac{\Delta m}{2m_0}$

【解析】(1) 镭核发生衰变的核反应方程为 $^{226}_{88}\text{Ra}\rightarrow^{222}_{86}\text{Rn}+^4_2\text{He}$.

(2) 根据 $\Delta E=\Delta mc^2$, 可知产生的总动能为 Δmc^2 , 设氦核和 α 粒子的速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 由动量守恒定律有 $Mv_1=mv_2$, 由能量守恒定律有 $E_1+E_2=\Delta E$,

$$E_1=\frac{1}{2}Mv_1^2, E_2=\frac{1}{2}mv_2^2,$$

$$\text{联立解得氦核动能为 } E_1=\frac{\Delta E\cdot m}{M+m}=\frac{mc^2\Delta m}{M+m},$$

$$\alpha\text{ 粒子动能为 } E_2=\frac{Mc^2\Delta m}{M+m}.$$

(3) γ 光子产生电子的方程式为 $\gamma\rightarrow^0_1\text{e}+^0_{-1}\text{e}$,

根据 $E=\Delta mc^2$,

$$\gamma\text{ 光子最多产生的正、负电子对数为 } n=\frac{E}{m_0c^2}\times\frac{1}{2}=\frac{\Delta m}{2m_0}.$$

- 10. (1)** 72 300 年 **(2)** $^{239}_{94}\text{Pu}\rightarrow^{235}_{92}\text{U}+^4_2\text{He}+\gamma$ 5.216 4 MeV **(3)** 5.034 MeV

【解析】(1) 根据半衰期公式有 $m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$,

根据题意得 $\frac{m}{m_0}=100\%-87.5\%$,

解得 $t=72\text{ 300 年}$.

(2) 衰变方程为 ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He} + \gamma$,

放出的核能为 $E = (239.052\,1\,\text{u} - 4.002\,6\,\text{u} - 235.043\,9\,\text{u}) \times 931.5\,\text{MeV/u} = 5.216\,4\,\text{MeV}$.

(3) 根据动量守恒定律得 $m_{\text{U}}v_{\text{U}} = m_{\alpha}v_{\alpha}$,

根据能量守恒定律得 $E - E_0 = E_{\text{kU}} + E_{\text{k}\alpha} = \frac{1}{2}m_{\text{U}}v_{\text{U}}^2 + \frac{1}{2}m_{\alpha}v_{\alpha}^2$,

易错点: 不要忘记减去光子的能量

解得 α 粒子的动能为 $E_{\text{k}\alpha} = \frac{m_{\text{U}}}{m_{\alpha} + m_{\text{U}}}(E - E_0) = 5.034\,\text{MeV}$.

刷易错

★易错点 对爱因斯坦质能方程理解错误

11. B 【解析】爱因斯坦质能方程说明了能量和质量间存在联系,但质量并不是能量, **A 错误, B 正确**;核反应中发生的“质量亏损”并不是指这部分质量消失或质量转化为能量,在核反应中,系统的总能量和总质量也是守恒的, **C、D 错误**.

易错分析 质能方程只是说明了质量和能量间存在关系,但质量不是能量,在核反应中质量发生亏损并不意味着质量消失,只是物体的质量由静质量变为动质量.

专题五 质能方程与核能的计算

刷难关

1. B 【解析】根据质量数与电荷数守恒可知 X 为 ${}_0^1\text{n}$,故 **A 错误**;对该核反应,由能量守恒定律可得 $4E_3 - (2E_1 + 3E_2) =$

Δmc^2 ,解得 $\Delta m = \frac{4E_3 - (2E_1 + 3E_2)}{c^2}$,故 **C 错误**;根据上述分析

易错点: 该反应释放能量,生成物的结合能比反应物大

可得 $4E_3 - (2E_1 + 3E_2) > 0$,即 $E_3 > \frac{2E_1 + 3E_2}{4} = \frac{E_1 + E_2}{2} + \frac{E_2}{4} >$

$\frac{E_1 + E_2}{2}$,故 **B 正确**;牛顿运动定律适用于宏观物体的低速运

动,该反应中,牛顿运动定律不再适用,故 **D 错误**.

2. C 【解析】根据核反应方程中质量数守恒和电荷数守恒可知 $x=38, y=136$, **A 正确**;根据质能方程,该核反应释放的能量为 $\Delta E = (m_{\text{U}} - m_{\text{Sr}} - m_{\text{Xe}} - 9m_{\text{n}})c^2$, **B 正确**;设 t 时间消耗的浓

缩铀的质量为 m ,有 $Pt = \frac{m\eta\Delta E}{m_{\text{U}}}$,解得 $m =$

$\frac{Pt m_{\text{U}}}{(m_{\text{U}} - m_{\text{Sr}} - m_{\text{Xe}} - 9m_{\text{n}})\eta c^2}$, **C 错误**;中子和碳核相碰过程中,系

统动量守恒,机械能守恒,设碰后中子速度为 v_1 ,碰后碳核的

速度为 v_2 ,有 $m_{\text{n}}v_0 = m_{\text{n}}v_1 + 12m_{\text{C}}v_2$, $\frac{1}{2}m_{\text{n}}v_0^2 = \frac{1}{2}m_{\text{n}}v_1^2 + \frac{1}{2} \times$

$12m_{\text{C}}v_2^2$,解得 $v_1 = -\frac{11}{13}v_0$,同理第 2 次碰后,中子的速度 $v_1' =$

$\frac{121}{169}v_0$,则中子经过两次碰撞后其速度大小与初速度大小的

比值为 $\frac{121}{169}$, **D 正确**. **C** 符合题意.

3. (1) ${}_{92}^{232}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ (2) 3 是 α 粒子的轨迹 4 是钍核 Th 的轨迹 45:1 (3) 5.4 MeV

【解析】(1) 铀核 ${}_{92}^{232}\text{U}$ 的衰变方程是 ${}_{92}^{232}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{228}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$.

(2) 根据衰变过程中动量守恒,有 $0 = m_{\text{Th}}v_{\text{Th}} - m_{\alpha}v_{\alpha}$,

根据牛顿第二定律有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$,解得 $r = \frac{mv}{qB}$,

α 粒子和钍核 Th 的动量大小相等,故轨迹半径之比等于电荷量的反比,故 $r_{\alpha} : r_{\text{Th}} = 45 : 1$,

因为 α 粒子和钍核 Th 都带正电,根据左手定则可知,衰变瞬间二者受力方向相反,轨迹外切,再根据半径关系可知,3 是 α 粒子的轨迹,4 是钍核 Th 的轨迹.

(3) 质量亏损 $\Delta m = m_{\text{U}} - m_{\text{Th}} - m_{\alpha} = (232.037\,2 - 228.028\,7 - 4.002\,6)\,\text{u} = 0.005\,9\,\text{u}$,

释放的核能 $\Delta E = \Delta mc^2 = 0.005\,9 \times 931.5\,\text{MeV} = 5.495\,85\,\text{MeV}$.

根据 $E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$,可知 α 粒子和钍核 Th 的动能之比

$E_{\text{k}\alpha} : E_{\text{kTh}} = m_{\text{Th}} : m_{\alpha}$,

释放的核能全部转化为 α 粒子和钍核 Th 的动能,有

$\Delta E = E_{\text{k}\alpha} + E_{\text{kTh}}$,

联立解得 $E_{\text{k}\alpha} = \frac{m_{\text{Th}}}{m_{\alpha} + m_{\text{Th}}}\Delta E = 5.4\,\text{MeV}$.

第四节 放射性同位素

刷基础

1. AC 【解析】碳 14 具有放射性,呼气实验主要利用碳 14 作为示踪原子的特点,故 **A 正确**;半衰期只由原子核自身决定,高温高压不会改变碳 14 的半衰期,故 **B 错误**;实验中通过判断呼出气体中碳 14 的放射性衰变水平来判断细菌活性,和碳 14 的放射性有关,故 **C 正确**;半衰期只适用于大量原子核衰变,对少量原子核不适用,故 **D 错误**.

2. D 【解析】由题意可知,检测用的 Tc 半衰期既不能太长,也不能太短,太长了对人体产生的伤害较大,太短了不能完成医疗检测,则 ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ 最合适. **D 正确**.

教材变式 本题目由教材 P112 第 3 题演变而来.教材和本题都考查了放射性元素在医疗诊断方面的应用,解决此类问题的关键是要理解题意,选择半衰期合适的放射性元素.

3. AD 【解析】 β 衰变的实质是原子核里的一个中子放出一个电子变为一个质子,反应过程中遵循质量数守恒和电荷数守恒,故铪 192 的衰变方程为 ${}^{192}_{77}\text{Ir} \rightarrow {}^{192}_{78}\text{X} + {}^0_{-1}\text{e}$,故 **A 正确**;探测器得到的射线变弱,说明钢板厚度增大,应当减小热轧机两轮之间的厚度间隙,故 **B 错误**;若有 2 g 铪 192,经过 74 天后还有 1 g 没有衰变,再过 74 天还有 0.5 g 没有衰变,故 **C 错误**;放射性同位素发生衰变时,遵循能量守恒和质量数守恒,故 **D 正确**.

4. B 【解析】三种同位素的化学性质无明显差异,**A 错误**;三种同位素的原子核不同,则原子光谱不同,**B 正确**;由题意可知, ${}^{14}\text{C}$ 自发进行 β 衰变,衰变后原子序数会增加 1,故衰变后的新核为 ${}^{14}\text{N}$,质量数不变,**C、D 错误**.

5. A 【解析】在大剂量或长时间的放射线照射下,人体和动物会受到某种损害作用.放射线也能损伤正常细胞的遗传物质,主要在于引起基因突变和染色体畸变,使一代甚至几代受害,故 **A 错误**;放射性物质的废料仍然有放射性,故对放射性物质的废料,要装入特制的容器并埋入深地层进行处理,故 **B 正确**;放射性会向各个方向放射射线,故射线探伤仪中的放射源必须存放在特制容器里,而不能随意放置,故 **C 正确**;放射性废料中的放射性物质,采用一般的物理、化学及生物学的方法都不能将其消灭或破坏,只有通过放射性元素的衰变才能使其放射性衰减到一定的水平,而许多放射性元素的半衰期十分长,并且衰变的产物又是新的放射性元素,所以放射性废料与其他废料相比在处理和处置上有许多不同之处,故对可能产生放射性污染的场所或物品进行检测是很有必要的,故 **D 正确**. 本题选说法不正确的,故选 **A**.

第五节 裂变和聚变

刷基础

1. B 【解析】核裂变是指重核被中子轰击后分裂成两个或多个中等大小的原子核,故根据核裂变的定义只有 **B** 选项正确. **A** 选项是轻核聚变,**C、D** 选项都是人工核反应. 故选 **B**.

2. B 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒可知核反应方程中的 $x=56$, $y=92$,故 **A 错误**;核反应的产物比反应物更稳定,而比结合能越大原子核越稳定,可知 ${}^{235}\text{U}$ 核的比结合能小于 ${}^{141}_{54}\text{Ba}$ 核的比结合能,故 **B 正确**;根据题意可知, ${}^{141}_{54}\text{Ba}$ 会发生 β 衰变,因此其衰变方程为 ${}^{141}_{54}\text{Ba} \rightarrow {}^{141}_{55}\text{X} + {}^0_{-1}\text{e}$,故 **C 错误**;根据爱因斯坦质能方程有 $\Delta E = \Delta mc^2 = (235.043\ 9\ \text{u} + 1.008\ 7\ \text{u} - 140.913\ 9\ \text{u} - 91.897\ 3\ \text{u} - 3 \times 1.008\ 7\ \text{u})c^2$,解得 $\Delta E \approx 3.2 \times 10^{-11}\ \text{J}$,故 **D 错误**.

3. (1) 1 786 MeV (2) 1 142. 4 MeV 783 MeV

(3) 释放能量 139. 4 MeV

【解析】(1)把 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 分解成核子时,要吸收的能量为

$$E_1 = 235 \times 7.6\ \text{MeV} = 1\ 786\ \text{MeV}.$$

(2)使相应的核子结合成 ${}^{136}_{54}\text{Xe}$ 要释放的能量为

$$E_2 = 136 \times 8.4\ \text{MeV} = 1\ 142.4\ \text{MeV},$$

使相应的核子结合成 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 要释放的能量为

$$E_3 = 90 \times 8.7\ \text{MeV} = 783\ \text{MeV}.$$

(3) ${}^{136}_{54}\text{Xe}$ 和 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 的平均结合能均大于 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的平均结合能,说明生成的新核更稳定,则这个核反应释放能量,释放的能量为 $E = E_2 + E_3 - E_1 = 139.4\ \text{MeV}$.

4. AC 【解析】核反应都遵循质量数守恒和电荷数守恒,故 **A 正确**;两个轻核结合成质量较大的核,结合时放出能量,出现质量亏损,则总质量比聚变前的小,故 **B 错误**;两个轻核结合成质量较大的核,放出能量,总的结合能增加,则核子的比结合能增加,故 **C 正确**;与裂变相比,轻核聚变辐射极少,废物容易处理,更为安全、清洁,但是目前聚变还不能进行控制,目前利用核能的主要方式是裂变,故 **D 错误**.

5. B 【解析】裂变反应参与核子数目可以大于聚变反应,故聚变反应释放的总能量不一定多,但聚变反应比裂变反应每个核子平均释放的能量一定大,故 **A 错误, B 正确**;由于聚变反应释放能量,所以粒子的比结合能变大,故 **C 错误**;由于核反应中发生质量亏损,故聚变反应后质量变小,故 **D 错误**.

6. BC 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒,可得该聚变反应的核反应方程为 $4\ {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2\ {}^0_{-1}\text{e}$,生成物是正电子,不是电子,**A 错误**;该聚变反应需要在高温高压条件下发生,聚变反应在常温下不能发生,**B 正确**;根据爱因斯坦质能方程,可得太阳每秒钟减少的质量为 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{4.0 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2}\ \text{kg} \approx 4.4 \times 10^9\ \text{kg}$,**C 正确**;目前核电站采用的核燃料主要是铀核,利用铀核的裂变反应过程中释放的核能,**D 错误**.

7. A 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒可知,X 的质量数为 1,电荷数为 0,是中子(${}^1_0\text{n}$),故 **A 正确, B 错误**;核聚变会释放大能量,根据爱因斯坦质能方程($\Delta E = \Delta mc^2$),可知存在质量亏损,故 **C 错误**;核聚变中,生成物的比结合能大于反应物的,故 **D 错误**.

8. B 【解析】核聚变中生成物的比结合能高于反应物的, ${}^3_2\text{He}$ 的比结合能 E_2 大于氦核的比结合能 E_1 ,故 **A 错误**;总动能等于核能 E 与初始动能 $2E_{k0}$ 之和. 反应前后动量守恒, ${}^3_2\text{He}$ 与中子动量等大反向,动能比为其质量的反比(1:3),总动能 $E_{\text{总}} = 4E_k$,故 $E_k = \frac{E + 2E_{k0}}{4}$,故 **B 正确**;释放的核能 $E = 3E_2 -$

$4E_1$, 可得 $E_2 = \frac{E+4E_1}{3}$, 故 C、D 错误。

→ **关键点:** 生成物结合能减反应物结合能

- 9. BC** 【解析】反应前的质量 $m_1 = 2 \times 2.013\ 6\ \text{u} = 4.027\ 2\ \text{u}$, 反应后的质量 $m_2 = 3.015\ 0\ \text{u} + 1.008\ 7\ \text{u} = 4.023\ 7\ \text{u}$, 因为 $m_1 > m_2$, 可知反应发生质量亏损, 则该核反应释放能量, 释放的能量为 $(m_1 - m_2) \times 931.5\ \text{MeV/u} \approx 3.26\ \text{MeV}$, 故 A 错误; 两个氦核以相等的动能 $0.35\ \text{MeV}$ 进行对心碰撞, 则核反应前两氦核总动量为零, 因而反应后氦核与中子的总动量也为零, 即二者动量等大反向, 故 B 正确; 核反应后的总动能为 $\Delta E + 2E_{k0} = E_{k1} + E_{k2}$, 而 $E_k = \frac{p^2}{2m} \propto \frac{1}{m}$, 所以 $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{m_n}{m_{\text{He}}}$, 联立解得氦核的动能为 $E_{k1} = 0.99\ \text{MeV}$, 中子的动能为 $E_{k2} = 2.97\ \text{MeV}$, 故 C 正确; 由于反应放出能量, 该反应生成物的结合能大于反应物的结合能, 故 D 错误。

→ **关键点:** 反应放出能量, 则生成物的结合能大于反应物的结合能, 生成物更稳定

- 10. C** 【解析】要使铀块发生链式反应, 还需要铀块达到临界体积, 故 A 错误; 镉棒吸收中子的能力很强, 反应激烈时, 应将镉棒插入一些, 故 B 错误; 反应堆中最常使用的慢化剂主要有石墨、重水和普通水, 故 C 正确; 要使轻核发生聚变, 必须使轻核接近核力发生作用的距离, 需要达到 $10^{-15}\ \text{m}$ 以内, 故 D 错误。
- 11. D** 【解析】设中子质量为 m , 碰前速度为 v_0 , 碰后速度为 v_1 , 原子核质量为 M , 碰后速度为 v_2 , 中子与原子核发生弹性正碰, 以速度 v_0 为正方向, 则 $mv_0 = mv_1 + Mv_2$, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$, 得 $v_1 = \frac{m-M}{m+M}v_0 = -\left(1 - \frac{2m}{m+M}\right)v_0$, 可见原子核质量 M 越接近中子质量 m , 碰后中子速度 v_1 越小, D 正确。

→ **关键点:** 中子与电子碰撞后, 速度几乎不变, 与铅原子核或铀原子核碰撞后, 速度反向且大小几乎不变

- 12. B** 【解析】按照粒子与各种相互作用的不同关系, 把粒子大致分为强子、轻子、规范玻色子和希格斯玻色子几类, A 错误; 强子是参与强相互作用的粒子, 质子是最早发现的强子, B 正确; 质子和中子由不同的夸克组成, 本身有复杂的结构, 不是基本粒子, C 错误; 已知夸克有 6 种, 它们的电荷量分别为元电荷的 $+\frac{2}{3}$ 或 $-\frac{1}{3}$, D 错误。

刷易错

★易错点 混淆核反应的类型

- 13. D** 【解析】①中生成核中有 α 粒子, 且由一种变成两种, 属

于 α 衰变, 根据半衰期的规律, $1\ \text{g}\ ^{238}_{92}\text{U}$ 经过两个半衰期有 $\frac{3}{4}\ \text{g}$ 发生了衰变, 还剩余 $\frac{1}{4}\ \text{g}$ 没有发生衰变, 故 A 错误;

②中生成核中有 β 粒子, 且由一种变成两种, 属于 β 衰变, β 射线的电离本领比 α 射线弱, 故 B 错误; ③是核裂变, 由于裂变释放能量, 说明生成核比反应核更加稳定, 可知 $^{141}_{56}\text{Ba}$ 的比结合能比 $^{235}_{92}\text{U}$ 大, 故 C 错误; ④是核聚变, 是热核反应, 该反应需要很高的温度并放出热量, 故 D 正确。

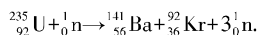
易错分析 核反应有四种类型, 衰变、人工核转变、核裂变、核聚变, 本题易因混淆这四种核反应而致错, 掌握四种核反应的特点是解决此类问题的关键。

刷提升

- 1. BD** 【解析】核反应过程中质量亏损为 $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3 - m_4$, 由爱因斯坦质能方程可知该反应释放的核能为 $E = \Delta mc^2 = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2$, 由于释放的核能并不是全部给了 γ 光子, 可知该反应释放的 γ 光子的能量小于 $(m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2$, 故 A 错误; 核反应释放能量, γ 光子来源于核聚变过程中原子核能级跃迁, 故 B 正确; 利用 γ 光子照射金属打出的光电子的物质波波长为 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$, 故 C 错误; 根据光电效应方程可知, 光电子的最大初动能为 $E_{\text{km}} = \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W_0$, 所以 γ 光子的频率为 $\nu = \frac{mv^2 + 2W_0}{2h}$, 故 D 正确。

- 2. (1)** $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ **(2)** $\Delta E = (m_2 - m_3 - m_4 - 2m_1)c^2$
(3) $3.7 \times 10^{26}\ \text{MeV}$

【解析】(1) 由质量数和电荷数守恒可得该核反应方程为



(2) 反应前后质量亏损为 $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3 - m_4 - 3m_1 = m_2 - m_3 - m_4 - 2m_1$,

根据爱因斯坦质能方程得 $\Delta E = (m_2 - m_3 - m_4 - 2m_1)c^2$ 。

(3) 一个 $^{235}_{92}\text{U}$ 在裂变反应中亏损的质量 $\Delta m = (235.043\ 9 - 140.913\ 9 - 91.897\ 3 - 2 \times 1.008\ 7)\ \text{u} = 0.215\ 3\ \text{u}$,

则 $\Delta E = \Delta mc^2 \approx 201\ \text{MeV}$,

这颗原子弹中发生裂变的铀 235 的质量约为 $m = 60\ \text{kg} \times 1.2\% = 0.72\ \text{kg} = 720\ \text{g}$,

铀 235 的摩尔质量 M 为 $235\ \text{g/mol}$, 所以 $E_{\text{总}} = \frac{m}{M} N_A \Delta E$,

代入数据得 $E_{\text{总}} = 3.7 \times 10^{26}\ \text{MeV}$ 。

刷素养

- 3. (1)** $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{144}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ **(2)** 0.286 **(3)** 54

【解析】(1) 根据质量数守恒和电荷数守恒可知核反应方程为 ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$ 。

(2) 设中子和碳核的质量分别为 m 和 M , 碰撞前中子的速度为 v_0 , 碰撞后中子和碳核的速度分别为 v 和 v' , 因为碰撞是对心弹性碰撞, 所以在碰撞前后, 动量和机械能均守恒, 有

$$mv_0 = mv + Mv', \quad \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mv'^2,$$

$$\text{联立解得 } v = \frac{m-M}{m+M}v_0,$$

因为 $M = 12m$,

$$\text{代入解得 } v = -\frac{11}{13}v_0,$$

$$\text{所以 } E_1 = \frac{1}{2}mv^2 = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 E_0 \approx 1.25 \text{ MeV}, \quad \frac{E_{\text{核}}}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \approx$$

0.286。

$$(3) \text{第一次碰撞后 } E_1 = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 E_0,$$

设经过 2、3、 \cdots 、 n 次碰撞后, 中子的能量依次为 E_2 、 E_3 、 \cdots 、 E_n , 则有

$$E_2 = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 E_1 = \left(-\frac{11}{13}\right)^4 E_0,$$

$$E_3 = \left(-\frac{11}{13}\right)^6 E_0,$$

\cdots

$$E_n = \left(-\frac{11}{13}\right)^{2n} E_0,$$

$$\text{所以 } n = \frac{\lg \frac{E_n}{E_0}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{\lg \frac{0.025}{1.75 \times 10^6}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{\lg \frac{1}{7 \times 10^7}}{2 \lg \frac{11}{13}} = \frac{-7 - 0.845}{2 \times (-0.0726)} \approx 54.$$

第四~五章素养检测

刷速度

1. C 【解析】赤道上方磁场方向与地面平行, 由南指向北, 根据左手定则可知, 带正电的 α 射线和质子向东偏转, 带负电的 β 射线向西偏转, 不带电的 γ 射线不偏转。故选 C。

2. C 【解析】用光子能量为 12.75 eV 的光束照射大量处于基态的氦(${}^3_1\text{H}$)原子, 氦(${}^3_1\text{H}$)原子会跃迁到 $n=4$ 的激发态, 因此当氦(${}^3_1\text{H}$)原子向基态跃迁时, 一共能发出 6 种不同频率的光子, A 错误; 根据爱因斯坦光电效应方程可知, 从金属板上

→ 关键点: 大量处于 n 能级的原子向基态跃迁时能发出 C_n^2 种不同频率的光子

打出的粒子的最大初动能为 $E_{\text{km}} = h\nu - W_0$, 代入数据可得 $E_{\text{km}} = 10.5 \text{ eV}$, B 错误; 氦(${}^3_1\text{H}$)原子核发生 β 衰变产生氦(${}^3_2\text{He}$)原子核, 衰变方程为 ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$, C 正确; 原子核的半衰期不会因为光束的照射而发生变化, 故氦(${}^3_1\text{H}$)原子核的半衰期不变, D 错误。

3. C 【解析】如题图甲所示, 由黑体的辐射强度与辐射光波长的关系可知, 随温度的升高, 辐射强度的极大值向波长较短的方向移动, 故 A 错误; 如题图乙所示, 发生光电效应时, 入射光频率越大, 光电子的最大初动能也就越大, 光电子的最大初动能与入射光强度无关, 故 B 错误; 根据 $eU_c = h\nu - W_{\text{逸}}$ 可得 $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{W_{\text{逸}}}{e}$, 结合金属的遏止电压 U_c 与入射光的频率 ν 的关系图像可得题图丙中图线的斜率为 $\frac{h}{e}$, 故 C 正确; 根据 $eU_c = E_{\text{km}} = h\nu - W_{\text{逸}}$, 入射光的频率越高, 对应的遏止电压越


大, 由题图丁可知甲光、乙光的遏止电压相等, 所以甲光、乙光的频率相等, 丙光的遏止电压最大, 所以丙光的频率最大, 所以三种光的频率关系为 $\nu_{\text{甲}} = \nu_{\text{乙}} < \nu_{\text{丙}}$, 故 D 错误。

4. D 【解析】大量处于 $n=3$ 激发态的氢原子向低能级跃迁时能辐射出 3 种不同频率的光, 则有 $h\nu_1 = E_3 - E_1 = 12.09 \text{ eV}$, $h\nu_2 = E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$, $h\nu_3 = E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$, 已知阴极材料的逸出功为 3.24 eV, 可知这些氢原子辐射出的 3 种不同频率的光只有 2 种光可使光电管产生光电效应; 已知紫外光光子的能量范围为 3.11~10.34 eV, 可知这些氢原子辐射出的光子中有 1 种属于紫外光, 故 A、B 错误; 明火中紫外线的强度越大, 光电流越大, 电压表的示数越大, 故 C 错误; 若用氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到基态辐射出的光照射阴极, 根据光电效应方程可得 $E_k = h\nu_2 - W_0 = 10.2 \text{ eV} - 3.24 \text{ eV} = 6.96 \text{ eV}$, 根据动能定理可得 $eU_c = E_k = 6.96 \text{ eV}$, 可得其对应的遏止电压为 $U_c = 6.96 \text{ V}$, 故 D 正确。

5. D 【解析】该核反应释放能量, 生成的 ${}^4_2\text{He}$ 更稳定, 因此 ${}^4_2\text{He}$ 的比结合能比 ${}^3_1\text{H}$ 的大, 故 A 错误; 根据核反应过程中电荷数守恒可得 $a+b=2d$, 即 $a=2d-b$, 故 B 错误; 由质能方程得 t 时间内“人造太阳”释放的能量为 $E = \Delta mc^2$, 并非一次聚变释放的能量, 以“人造太阳”的中心为球心、 L 为半径的球面上, 单位面积接收到的能量为 $\bar{E} = \frac{E}{4\pi L^2}$, 单个接收装置接收到的能量为 $E_0 = \bar{E} \pi r^2$, 则单个接收装置对外输出的功率为 $P = \frac{E_0}{t} =$

$\frac{\Delta mc^2 r^2}{4L^2 t}$, 故 C 错误, D 正确.

6. ABD 【解析】根据爱因斯坦光电效应方程可知 $h\nu = E_{\text{km}} + W_0$,

又因为 $c = \lambda\nu$, 解得 $h \frac{c}{\lambda} = E_{\text{km}} + W_0$, 当 $\lambda \rightarrow \infty$ 时, 有 $W_0 =$

 关键点: 列出 E_{km} 与 λ 的函数关系式

$-E_{\text{km}} = b$, A 正确; 结合图线可知, 当 $E_{\text{km}} = 0$ 时, $\lambda = a$, 有 $\frac{hc}{a} = b$,

解得 $h = \frac{ab}{c}$, B 正确; 根据爱因斯坦光电效应方程可知, 光电

子的最大初动能越大, 入射光的频率越大, 又根据 $p = \frac{h\nu}{c}$ 可知, 光子的动量越大, C 错误; 当入射光的强度一定时, 入射光的波长越小, 频率越大, 每个光子的能量就越大, 导致单位时间射到光电管内的光电子数越少, 故饱和光电流越小, D 正确.

7. CD 【解析】质子做匀速圆周运动的动能为 $E_k = \frac{1}{2}m_2 v^2$, 解

得线速度大小为 $v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_2}}$, A 错误; 根据电荷数守恒和质量

数守恒可得中子衰变的核反应方程为 ${}_0^1\text{n} \rightarrow {}_1^1\text{p} + {}_{-1}^0\text{e} + {}_0^0\bar{\nu}_e$, B 错误; 根据能量守恒和爱因斯坦质能方程可得电子和反中微子的总动能为 $E = (m_1 - m_2 - m_3)c^2 - E_k$, C 正确; 质子的圆周运动

可等效成一个环形电流, 其大小为 $I = \frac{e}{T}$, 质子的运动周期为

$T = \frac{2\pi m_2}{eB}$, 联立解得 $I = \frac{e^2 B}{2\pi m_2}$, D 正确.

8. BCD 【解析】 ${}_Z^AX$ 衰变后产生的 α 粒子与新核 Y 都带正电荷, 且由动量守恒可知, 两粒子的初速度反向, 所以在磁场中运动的轨迹(箭头表示运动方向)正确的是题图丁, 故 A 错误;

核反应方程为 ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4\text{He}$, 则新核 Y 的质量为 $\frac{A-4}{4}m$,

电荷量为 $\frac{Z-2}{2}q$, 由匀速圆周运动规律得各自的周期为 $T_\alpha =$

$\frac{2\pi m}{Bq}$, $T_Y = \frac{2\pi \frac{A-4}{4}m}{B \frac{Z-2}{2}q} = \frac{(A-4)\pi m}{(Z-2)Bq}$, 当 $\frac{A-4}{Z-2}$ 为 2 的整数倍时, 两

核经过 $t = \frac{(A-4)\pi m}{(Z-2)Bq}$ 可能再次相遇, 故 B 正确; α 粒子的圆周

运动可以等效成一个环形电流, 环形电流大小为 $I = \frac{q}{T_\alpha} =$

$\frac{q}{\frac{2\pi m}{Bq}} = \frac{q^2 B}{2\pi m}$, 故 C 正确; 根据能量守恒定律有 $\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 +$

$\frac{1}{2} \times \frac{A-4}{4}mv'^2$, 结合圆周运动以及两核的质量、电荷量关系, 整

理得 $\Delta E = \frac{(BqR)^2}{2m} + \frac{2(BqR)^2}{(A-4)m} = \frac{A(BqR)^2}{2(A-4)m}$, 由爱因斯坦质能方

程有 $\Delta E = \Delta mc^2$, 解得 $\Delta m = \frac{A(BqR)^2}{2(A-4)mc^2}$, 故 D 正确.

9. (1) 阴极 (2) 刚开始电流表读数增大, 但达到一定值后不再增大 (3) 3.41×10^{-19} 1.23×10^{-19}

【解析】(1) 研究光电效应的电路中, 光照射的为光电管的阴极.

(2) 滑动变阻器的滑片向右滑动, 正向电压增大, 单位时间内到达阳极的光电子数目增多, 电流增大, 之后电流趋于一个饱和值, 故刚开始电流表读数增大, 但达到一定值后不再增大.

(3) 由 $E_k = h\nu - W_0$ 和 $eU_c = E_k$ 得 $eU_c = h\nu - W_0$, 因此当遏止电压为零时, $h\nu_c = W_0$, 根据题图乙可知, 铷的截止频率 $\nu_c = 5.15 \times 10^{14}$ Hz, 根据 $h\nu_c = W_0$, 可求出铷的逸出功 $W_0 = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.15 \times 10^{14}$ J $\approx 3.41 \times 10^{-19}$ J. 当 $\nu = 7.00 \times 10^{14}$ Hz 时, 根据 $E_k = h\nu - W_0 = h\nu - h\nu_c$, 代入数据得 $E_k \approx 1.23 \times 10^{-19}$ J.

10. (1) 2.86 eV (2) 10 种 5 种 (3) 15.2 eV

【解析】(1) 氢原子从 $n=5$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁所辐射的光子, 正好使某种金属材料发生光电效应, 则该金属的逸出功为 $W_0 = h\nu_c = E_5 - E_2 = -0.54$ eV $- (-3.40$ eV) = 2.86 eV.

(2) 一群处于 $n=5$ 能级的氢原子向低能级跃迁, 可以辐射光子的种类为 $\frac{5 \times 4}{2} = 10$, 要使金属发生光电效应, 光子能量需要大于等于 2.86 eV, 对应的能级跃迁有 $n=5 \rightarrow n=2$ 、 $n=5 \rightarrow n=1$ 、 $n=4 \rightarrow n=1$ 、 $n=3 \rightarrow n=1$ 、 $n=2 \rightarrow n=1$, 共 5 种, 所以能使该金属发生光电效应的光子共有 5 种.

(3) 能级跃迁产生的光子最大能量为从 $n=5 \rightarrow n=1$ 能级跃迁辐射的能量, 对应光子能量为 $h\nu = E_5 - E_1 = -0.54$ eV $- (-13.6$ eV) = 13.06 eV, 产生的光电子的最大初动能 $E_{\text{km}} = h\nu - W_0 = 13.06$ eV $- 2.86$ eV = 10.2 eV, 在 5 V 的正向电压下, 光电子加速运动至阳极, 由动能定理可得 $eU = E_k - E_{\text{km}}$, 解得 $E_k = 15.2$ eV.

11. (1) ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ $\frac{10}{13}$ (2) $\frac{2}{117}E_k$

(3) $\frac{119}{2}E_1 - \frac{117}{2}E_2 + \frac{119}{468}E_k$

【解析】(1) 由题意可得铀核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 的衰变方程为 ${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$, 衰变后的粒子在磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, $T = \frac{2\pi r}{v}$, 解得 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 已知 α 粒

子和钍核运动后同时第一次经过 MN , 所以周期相同, 即

$$\frac{2\pi m_{\alpha}}{q_{\alpha} B_1} = \frac{2\pi m_{\text{Th}}}{q_{\text{Th}} B_2}, \text{ 解得 } \frac{B_1}{B_2} = \frac{10}{13}.$$

(2) 衰变过程中遵循动量守恒定律, 有 $0 = p_{\alpha} - p_{\text{Th}}$,

由题意知 $E_k = \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\alpha}}$, ${}^{238}_{92}\text{U}$ 经 α 衰变后生成的钍核 (Th) 的动

$$\text{能 } E'_k = \frac{p_{\text{Th}}^2}{2m_{\text{Th}}}, \text{ 解得 } E'_k = \frac{2}{117} E_k.$$

(3) 根据能量守恒定律, 有 $238E_1 + E_k + E'_k = 234E_2 + 4E_3$,

$$\text{解得氦核的比结合能为 } E_3 = \frac{119}{2} E_1 - \frac{117}{2} E_2 + \frac{119}{468} E_k.$$

第四~五章高考强化

刷真题

1. B 【解析】普朗克认为黑体辐射的能量是一份一份的, 是量

子化的, 并不连续, 故 **A 错误**; 发生光电效应的条件是 $\nu \geq \nu_c$,

紫光的频率高于红光, 红光能使金属发生光电效应, 则紫光也能使该金属发生光电效应, 故 **B 正确**; 石墨对 X 射线的散射过程遵循动量守恒, 光子和电子碰撞后, 电子获得一定动

量, 光子动量变小, 根据波长 $\lambda = \frac{h}{p}$ 可知波长变长, 故 **C 错**

误; 德布罗意认为物质都具有波动性, 包括质子和电子, 故 **D 错误**.

2. C 【解析】原子从 E_1 能级跃迁到 E_2 能级所辐射出的光子能

量 $\varepsilon = 2.20 \text{ eV}$, 光子频率 $\nu = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{3.52 \times 10^{-19} \text{ J}}{6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 5.31 \times 10^{14} \text{ Hz}$, **C 正确**.

3. A 【解析】当入射光的能量大于金属的逸出功时会发生光电效应, 故能量为 2.20 eV 的光子射到金属铷上会发生光电效应, 有光电子逸出, **A 正确**.

4. B 【解析】用频率相同的光分别照射甲、乙两种金属, 只有甲发射光电子, 说明该光的频率大于甲金属的截止频率, 而小于乙金属的截止频率, 用频率更小的光照射乙金属, 该种光的频率仍小于乙金属的截止频率, 所以乙金属不会发射光电子, **A 错误**; 根据爱因斯坦光电效应方程可得 $E_k = h\nu - W_0$, 可知使用频率更小的光, 若仍能使甲金属发射光电子, 则其最大初动能小于 E_k , **B 正确**; 能否发射光电子与光的强度无关, 只与频率有关, 所以频率不变, 减弱光强, 乙金属仍不能发射光电子, **C 错误**; 频率不变, 减弱光强, 若仍能使甲金属发射光电子, 根据上述分析可知, 其最大初动能仍等于 E_k , **D 错误**.

5. B 【解析】光电子最大初动能与遏止电压的关系为 $E_k = eU_c$, 由题图可知, 遏止电压关系为 $U_{c2} > U_{c3} > U_{c1}$, 可得 $E_{k2} > E_{k3} > E_{k1}$, **B 正确**.

6. C 【解析】设电子经电压 $U = 100 \text{ V}$ 加速后速度达到 v_1 , 由动能定理得 $eU = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0$, 则电子的动量为 $p_1 = mv_1$, 德布罗意

波长为 $\lambda = \frac{h}{p_1}$, 当加速电压 $U' = 10 \text{ kV} = 100U$ 时, 有 $eU' =$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - 0, p_2 = mv_2, \lambda' = \frac{h}{p_2}, \text{ 解得 } \lambda' = \frac{\lambda}{10}, \text{ C 正确}.$$

一题多解 抓住波长与加速电压的平方根成反比关系

($\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{U}}$), 电压从 100 V 变为 10 kV (增大 100 倍), 直接得出波长变为 $\frac{1}{10}\lambda$, **C 正确**.

7. C 【解析】由题意知, 若所用电子的能量为 50 eV , 可以使 He^+ 离子跃迁到 $n=2, n=3$ 的激发态, 发生能级跃迁, 可以辐

射出三种波长的谱线, 由辐射能量越小, 波长越大, 可知波长

最长的谱线对应的跃迁为 $n=3 \rightarrow n=2$ 能级, **C 正确**.

8. BC 【解析】根据光电效应方程及动能定理得 $U_c e = \frac{1}{2}mv_m^2 =$

$h\nu - W_{\text{逸出功}}$, Q 的遏止电压大于 R 的, 故 Q 的频率大于 R 的频率, Q 的波长小于 R 的波长, 单缝衍射中央亮纹的宽度与波长成正比, 则 Q 的中央亮纹比 R 窄, **A 错误**; 同理可知, P 、 Q 产生的光电子在 K 处 Q 的最大初动能比 P 的大, 根据 $\lambda = \frac{h}{p}$

知, $\lambda_{\text{min}} = \frac{h}{\sqrt{2mE_{\text{km}}}}$, 最小德布罗意波长 P 大于 Q , **B 正确**; Q 对应的能量最大, 则氢原子向第一激发态跃迁发光时, 根据 $h\nu = E_m - E_2$ 可知, 三束光中 Q 对应的能级最高, **C 正确**; 对应于题图 2 中的 M 点, P 和 Q 的光电流相等, 故 P 和 Q 单位时间到达阳极 A 的光电子数目相等, **D 错误**.

9. B 【解析】原子从 $n=3$ 能级向 $n=1$ 能级跃迁辐射光子的能量 $E_{31} = E_3 - E_1$, 根据能量 $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ 和动量 $p = \frac{h}{\lambda}$ 可得 $p_{31} =$

$\frac{E_3 - E_1}{c}$, **A 错误**; 根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$, 频率为 ν_{31} 和 ν_{21} 的两种光分别射入同一光电效应装置, 均产生光电子, 其最大初动能之差为 $\Delta E = h\nu_{31} - h\nu_{21} = (E_3 - E_1) - (E_2 - E_1) = E_3 - E_2 = h\nu_{32}$, **B 正确**; 根据干涉条纹间距公式 $\Delta x = \frac{l}{d}\lambda$, 频率为