

课时作业 82 天然放射现象 核反应 核能

基础达标练

1. [2023·广东卷·1, 4分]理论认为,大质量恒星塌缩成黑洞的过程,受核反应 ${}^{12}_6\text{C} + \text{Y} \rightarrow {}^{16}_8\text{O}$ 的影响。下列说法正确的是 ()

- A. Y 是 β 粒子, β 射线穿透能力比 γ 射线强
- B. Y 是 β 粒子, β 射线电离能力比 γ 射线强
- C. Y 是 α 粒子, α 射线穿透能力比 γ 射线强
- D. Y 是 α 粒子, α 射线电离能力比 γ 射线强

【答案】D

【解析】由电荷数守恒和质量数守恒可知 Y 的电荷数为 2, 质量数为 4, 所以 Y 是 α 粒子, A、B 错误。与 γ 射线相比, α 射线的穿透能力较弱、电离能力较强, C 错误, D 正确。

2. [2022·湖北卷·1, 4分]20 世纪四十年代初,我国科学家王淦昌先生首先提出证明中微子存在的实验方案:如果静止原子核 ${}^7_4\text{Be}$ 俘获核外 K 层电子 e, 可生成一个新原子核 X, 并放出中微子 ν_e , 即 ${}^7_4\text{Be} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow \text{X} + {}^0_0\nu_e$ 。根据核反应后原子核 X 的动能和动量,可以间接测量中微子的能量和动量,进而确定中微子的存在。下列说法正确的是 ()

- A. 原子核 X 是 ${}^7_3\text{Li}$
- B. 核反应前后的总质子数不变
- C. 核反应前后总质量数不同
- D. 中微子 ν_e 的电荷量与电子的相同

【答案】A

【解析】根据核反应中的质量数守恒和电荷数守恒可知 X 是 ${}^7_3\text{Li}$, A 正确, C 错误;核反应前的质子数为 4 个,核反应后的质子数为 3 个,核反应前后的质子数发生了变化, B 错误;中微子 ν_e 的电荷量为 0, 而电子的电荷量为 $-e$, D 错误。

3. [2023·湖南卷·1, 4分]2023 年 4 月 12 日,中国“人造太阳”反应堆中科院环流器装置(EAST)创下新纪录,实现 403 秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行,为可控核聚变的最终实现又向前迈出了重要的一步,下列关于核反应的说法正确的是 ()

- A. 相同质量的核燃料,轻核聚变比重核裂变释放的核能更多

- B. 氘氚核聚变的核反应方程为 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^0_{-1}\text{e}$
- C. 核聚变的核反应燃料主要是铀 235
- D. 核聚变反应过程中没有质量亏损

【答案】A

【解析】相同质量的核燃料，轻核聚变产生的质量亏损大于重核裂变产生的质量亏损，轻核聚变释放的核能更多，A 正确，D 错误。核反应方程遵循质量数守恒和电荷数守恒，故氘氚核聚变的核反应方程为 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ ，B 错误。核聚变的核反应燃料主要是原子序数较小的元素，如氢及其同位素等，而重核裂变的核反应燃料主要是铀 235，C 错误。

4. [2025·浙江名校联盟联考]在核电站中，只要“烧”掉一支铅笔那么多的核燃料，释放的能量就相当于 10t 标准煤完全燃烧放出的热。一座百万千瓦级的核电站，每年只消耗 30t 左右的浓缩铀，而同样功率的火电站，每年要烧煤 $2.5 \times 10^6\text{t}$ 。关于重核裂变反应 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$ ，下列说法正确的是（ ）

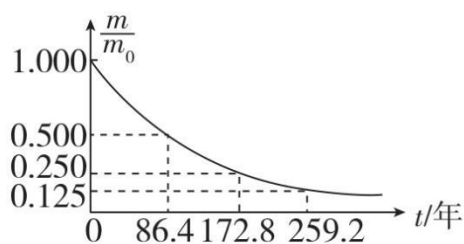
- A. 重核裂变反应生成的中子被称为热中子
- B. 裂变反应产物 ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ 的比结合能比 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 大
- C. 该核反应方程也可简略写为 ${}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 2{}^1_0\text{n}$
- D. 核电站常用的慢化剂有石墨、重水和普通水，可以减慢链式反应

【答案】B

【解析】重核裂变反应生成的中子被称为快中子，故 A 错误。裂变反应生成物的比结合能大于反应物的比结合能，故裂变反应产物 ${}^{92}_{36}\text{Kr}$ 的比结合能比 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 大，故 B 正确。核反应方程不可简化，故 C 错误。核电站常用的慢化剂有石墨、重水和普通水，可以减慢中子的速度；控制镉棒的插入深度来控制链式反应速率，故 D 错误。

能力强化练

5. [2024·河北秦皇岛模拟]我国造出世界首个人造迷你心脏，人造心脏的放射性同位素动力源用的燃料是钷 238，钷 238 衰变快慢有一定的规律。如图所示，横坐标表示时间，纵坐标表示任意时刻钷 238 的质量 m 与 $t = 0$ 时的质量 m_0 的比值。则经过 43.2 年剩余钷 238 的质量与初始值的比值约为（ ）



- A. 0.250 B. 0.875 C. 0.500 D. 0.707

【答案】D

【解析】原子核发生衰变时，剩余质量 $m = m_0(\frac{1}{2})^{\frac{t}{T}}$ ，经过 43.2 年剩余钷 238 的质量与初始值的比值为 $\frac{m}{m_0} = (\frac{1}{2})^{\frac{t}{T}} = (\frac{1}{2})^{\frac{43.2}{86.4}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$ ，故选 D。

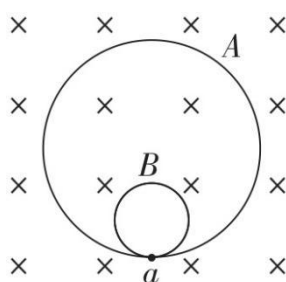
6. ${}^{238}_{92}\text{U}$ (铀核) 经过一系列的 α 衰变和 β 衰变变为 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ (氡核)，已知 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核的比结合能为 E_1 ， ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 核的比结合能为 E_2 ， α 粒子的比结合能为 E_3 ，每次 β 衰变释放的能量为 E_4 ，则 ${}^{238}_{92}\text{U}$ (铀核) 衰变为 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ (氡核) 共释放的能量为 ()

- A. $E_1 - E_2 - E_3 - E_4$ B. $E_2 + E_3 + E_4 - 2E_1$
C. $238E_1 - 222E_2 - 16E_3 - 2E_4$ D. $222E_2 + 16E_3 + 2E_4 - 238E_1$

【答案】D

【解析】设 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 经过 x 次 α 衰变和 y 次 β 衰变变为 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ ，则有 ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{222}_{86}\text{Rn} + x {}^4_2\text{He} + y {}^0_{-1}\text{e}$ ，衰变过程中质量数守恒、电荷数守恒，所以 $238 = 222 + 4x$ ， $92 = 86 + 2x - y$ ，解得 $x = 4$ ， $y = 2$ ，所以衰变过程共释放的能量为 $\Delta E = 222E_2 + 16E_3 + 2E_4 - 238E_1$ 。故选 D。

7. 多选 1898 年，居里夫妇发现了一种能够发出很强射线的新元素——钋 (${}^{210}_{84}\text{Po}$)。现把 ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 原子核静止放在匀强磁场中的 a 点，某一时刻发生 β 衰变，产生了新核 At，形成了如图所示的 A 和 B 两个圆轨迹。下列说法正确的是 ()



- A. ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 的衰变方程为 ${}^{210}_{84}\text{Po} \rightarrow {}^{210}_{85}\text{At} + {}^0_{-1}\text{e}$
B. 把 ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 放在磁场中，其半衰期会增大

C. A 、 B 两个圆的半径之比为 85:1

D. 释放出的粒子和反冲核圆周运动的旋转方向均为顺时针方向

【答案】AC

【解析】 ${}_{84}^{210}\text{Po}$ 的衰变方程为 ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_{85}^{210}\text{At} + {}_{-1}^0\text{e}$ ，故 A 正确；放射性元素的半衰期是由原子核自身的因素决定的，跟所处的物理环境和化学状态没有关系，故 B 错误；原子核发生衰变时，由动量守恒可知释放出的粒子和反冲核的动量大小相等、方向相反，在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，则有 $qvB = \frac{mv^2}{R}$ ，解得圆周运动半径 $R = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ ， p 为动量，则半径 R 与电荷量 q 成反比，则 $R_A : R_B = 85:1$ ，故 C 正确；由左手定则知，反冲核的初速度方向向右，旋转方向为逆时针方向，释放出的粒子的初速度方向向左，旋转方向为顺时针方向，D 错误。

高考真题集训 16 原子结构与波粒二象性 原子核

1. [2024·河北卷·1, 4分] 锂是新能源汽车、储能和信息通信等新兴产业的关键材料。研究表明，锂元素主要来自宇宙线高能粒子与星际物质的原子核产生的散裂反应。其中一种核反应方程为 ${}_{6}^{12}\text{C} + {}_{1}^1\text{H} \rightarrow {}_{3}^7\text{Li} + 2{}_{1}^1\text{H} + \text{X}$ ，式中的 X 为 ()

A. ${}_{0}^1\text{n}$ B. ${}_{-1}^0\text{e}$ C. ${}_{1}^0\text{e}$ D. ${}_{2}^4\text{He}$

【答案】D

【解析】设 X 的电荷数和质量数分别为 Z 、 A ，根据核反应过程中电荷数守恒和质量数守恒有 $6 + 1 = 3 + 2 \times 1 + Z$ ， $12 + 1 = 7 + 2 \times 1 + A$ ，解得 $Z = 2$ ， $A = 4$ ，D 正确。

2. [2024·湖北卷·2, 4分] 硼中子俘获疗法是目前治疗癌症最先进的手段之一， ${}_{5}^{10}\text{B} + {}_{0}^1\text{n} \rightarrow {}_{3}^a\text{X} + {}_{b}^4\text{Y}$ 是该疗法中一种核反应的方程，其中 X、Y 代表两种不同的原子核，则 ()

A. $a = 7$ ， $b = 1$ B. $a = 7$ ， $b = 2$
C. $a = 6$ ， $b = 1$ D. $a = 6$ ， $b = 2$

【答案】B

【解析】由核反应前后质量数守恒和电荷数守恒可得 $10 + 1 = a + 4$ ， $5 + 0 = 3 + b$ ，解得 $a = 7$ ， $b = 2$ ，B 正确。

3. [2022·山东卷·1, 3分]碘 125 衰变时产生 γ 射线, 医学上利用此特性可治疗某些疾病。碘 125 的半衰期为 60 天, 若将一定质量的碘 125 植入患者病灶组织, 经过 180 天剩余碘 125 的质量为刚植入时的 ()

- A. $\frac{1}{16}$ B. $\frac{1}{8}$ C. $\frac{1}{4}$ D. $\frac{1}{2}$

【答案】B

【解析】由衰变规律可知, 经过 n 个半衰期剩余碘 125 的质量 $m_{\text{余}} = \frac{1}{2^n} m_0$, $n = \frac{180}{60} = 3$, 故 $\frac{m_{\text{余}}}{m_0} = \frac{1}{8}$, B 正确。

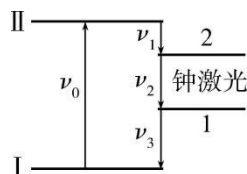
4. [2023·新课标卷·16, 6分]铯原子基态的两个超精细能级之间跃迁发射的光子具有稳定的频率, 铯原子钟利用的两能级的能量差量级为 10^{-5}eV , 跃迁发射的光子的频率量级为 (普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}$, 元电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19}\text{C}$) ()

- A. 10^3Hz B. 10^6Hz C. 10^9Hz D. 10^{12}Hz

【答案】C

【解析】原子在两个能级之间跃迁时发射的光子的能量等于两个能级之间的能量差。根据光子的能量和频率的关系 $\varepsilon = h\nu$, 则 $\nu = \frac{\varepsilon}{h} = \frac{1.60 \times 10^{-19} \times 10^{-5}\text{J}}{6.63 \times 10^{-34}\text{J} \cdot \text{s}} \approx 2.4 \times 10^9\text{Hz}$, C 正确。

5. [2023·山东卷·1, 3分]“梦天号”实验舱携带世界首套可相互比对的冷原子钟组发射升空, 对提升我国导航定位、深空探测等技术具有重要意义。如图所示为某原子钟工作的四能级体系, 原子吸收频率为 ν_0 的光子从基态能级 I 跃迁至激发态能级 II, 然后自发辐射出频率为 ν_1 的光子, 跃迁到钟跃迁的上能级 2, 并在一定条件下可跃迁到钟跃迁的下能级 1, 实现受激辐射, 发出钟激光, 最后辐射出频率为 ν_3 的光子回到基态。该原子钟产生的钟激光的频率 ν_2 为 ()

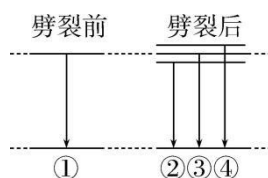


- A. $\nu_0 + \nu_1 + \nu_3$ B. $\nu_0 + \nu_1 - \nu_3$ C. $\nu_0 - \nu_1 + \nu_3$ D. $\nu_0 - \nu_1 - \nu_3$

【答案】D

【解析】利用图示能级关系及能级跃迁理论可知光子的能量关系是 $h\nu_0 = h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3$, 解得 $\nu_2 = \nu_0 - \nu_1 - \nu_3$, D 正确。

6. [2023·辽宁卷·6, 4分]原子处于磁场中,某些能级会发生劈裂。某种原子能级劈裂前后的部分能级图如图所示,相应能级跃迁放出的光子分别设为①②③④。若用①照射某金属表面时能发生光电效应,且逸出光电子的最大初动能为 E_k ,则()



- A. ①和③的能量相等
- B. ②的频率大于④的频率
- C. 用②照射该金属一定能发生光电效应
- D. 用④照射该金属逸出光电子的最大初动能小于 E_k

【答案】A

【解析】根据该原子能级劈裂前后的部分能级图知,相应能级跃迁放出的光子①和③的能量相等, A 正确。②的能量小于④的, 由 $\varepsilon = h\nu$ 可知②的频率小于④的频率, B 错误。用①照射某金属表面时能发生光电效应, 而②的频率小于①的, 则用②照射该金属时不一定能发生光电效应, C 错误。④的频率大于①的频率, 由爱因斯坦光电效应方程知, 用④照射该金属时逸出光电子的最大初动能大于 E_k , D 错误。

7. [2022·辽宁卷·2, 4分]2022年1月,中国锦屏深地实验室发表了首个核天体物理研究实验成果,表明我国核天体物理研究已跻身国际先进行列。实验中所用核反应方程为 $X + {}^{25}_{12}\text{Mg} \rightarrow {}^{26}_{13}\text{Al}$, 已知X、 ${}^{25}_{12}\text{Mg}$ 、 ${}^{26}_{13}\text{Al}$ 的质量分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 , 真空中的光速为 c , 该反应中释放的能量为 E 。下列说法正确的是()

- A. X 为氘核 ${}^2_1\text{H}$
- B. X 为氚核 ${}^3_1\text{H}$
- C. $E = (m_1 + m_2 + m_3)c^2$
- D. $E = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$

【答案】D

【解析】根据核反应过程中质量数守恒和电荷数守恒可知, X 的质量数为 1, 电荷数为 1, 故 X 为氘核 ${}^2_1\text{H}$, A、B 错误; 根据质能方程可知, 该核反应放出的能量为 $E = \Delta mc^2 = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$, C 错误, D 正确。

8. [2023·浙江6月选考卷·15, 3分]多选 有一种新型光电效应量子材料, 其逸出功为 W_0 。当紫外光照射该材料时, 只产生动能和动量单一的相干光电子束。

用该电子束照射间距为 d 的双缝，在与缝相距为 L 的观测屏上形成干涉条纹，测得条纹间距为 Δx 。已知电子质量为 m ，普朗克常量为 h ，光速为 c ，则（ ）

A. 电子的动量 $p_e = \frac{hL}{d\Delta x}$

B. 电子的动能 $E_k = \frac{hL^2}{2md^2(\Delta x)^2}$

C. 光子的能量 $E = W_0 + \frac{chL}{d\Delta x}$

D. 光子的动量 $p = \frac{W_0}{c} + \frac{h^2L^2}{2cmd^2(\Delta x)^2}$

【答案】AD

【解析】由题意知 $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ ，则 $p_e = \frac{h}{\lambda} = \frac{hL}{d\Delta x}$ ，A 正确；根据 $p^2 = 2mE_k$ ，可知 $E_k = \frac{h^2L^2}{2md^2(\Delta x)^2}$ ，B 错误；根据爱因斯坦光电效应方程可知 $E_k = h\nu - W_0$ ，光子能量 $E = h\nu = W_0 + \frac{h^2L^2}{2md^2(\Delta x)^2}$ ，C 错误；而入射紫外光的光子动量为 $p = \frac{h}{\lambda_{\text{紫外}}}$ ， $\lambda_{\text{紫外}} = \frac{c}{\nu}$ ，解得 $p = \frac{W_0}{c} + \frac{h^2L^2}{2cmd^2(\Delta x)^2}$ ，D 正确。