

第五章 原子核

第1节 原子核的组成

刷基础

1. B 【解析】天然放射现象的发现,揭示了原子核有复杂结构,故 A 错误;玻尔理论表明,氢原子能量越高,电子绕核运动的半径越大,由 $\frac{ke^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$,可知半径越大,动能越小,故 B 正确;造成 α 粒子发生大角度偏转的原因是 α 粒子受到了带正电的原子核的库仑斥力作用,故 C 错误;电子束穿过铝箔后的衍射图样揭示了电子的波动性,故 D 错误。

2. B 【解析】有些原子核不稳定,可以自发地发出射线,但不是所有元素都具有放射性,故 A 错误;贝克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。

3. D 【解析】 α 射线带正电, β 射线带负电, γ 射线不带电, γ 射线不受电场力和洛伦兹力,故射到 b 处的一定不是 γ 射线,故 C 错误; α 射线和 β 射线在电场、磁场中受到电场力和洛伦兹力,若电场力大于洛伦兹力,则射到 b 处的是 α 射线,若洛伦兹力大于电场力,则射到 b 处的是 β 射线,故 D 正确, A、B 错误。

→ 关键点: α 、 β 射线的偏转方向取决于洛伦兹力与电场力的大小关系

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,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. B 【解析】根据镜像核的定义及质量数 A 等于质子数 Z 与中子数 N 之和,可知 ${}^{13}_7\text{N}$ 和 ${}^{13}_6\text{C}$ 互为镜像核, ${}^{15}_7\text{N}$ 和 ${}^{15}_8\text{O}$ 互为镜像核,故 A、C 正确; ${}^{15}_7\text{N}$ 的质子数为 7,中子数为 8,而 ${}^{16}_8\text{O}$ 的质子数和中子数都为 8,二者不互为镜像核,故 B 错误;互为镜像核的两个核的质子数与中子数互换,质子数与中子数之和不变,所以互为镜像核的两个核质量数相同,故 D 正确。

刷易错

★易错点 对三种射线的产生认识不清

6. D 【解析】原子核内只有质子和中子。原子核放出的 α 粒子是核内两个质子和两个中子结合形成的;放出的 β 粒子是核内的一个中子转变成一个质子时产生的;原子核从高能级向低能级跃迁时,将多余的能量以 γ 光子的形式辐射出去。故 D 正确。

易错分析 本题易由于原子核能放射出 α 、 β 、 γ 三种射线,就误认为原子核内部有 α 粒子、 β 粒子、 γ 光子,实际上原子核内部只存在质子和中子。

第2节 放射性元素的衰变

刷基础

1. C 【解析】与原核相比, 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 的中子数减 Y 的中子数 $=a-b-(d-c)=-1$, A、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。

2. A 【解析】铀核(${}^{238}_{92}\text{U}$)衰变为钍核(${}^{222}_{86}\text{Th}$)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。

3. 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。

教材变式 本题目由教材 P131B 组第 1 题演变而来。本题延伸考查了两个原子核质子数与中子数的比较及 β 衰变放出的电子的来源。

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。

4. 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(${}^0_1\text{e}$),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

关键点: 半衰期是对大量原子核的统计规律

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。

5. 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 $\frac{22\,920}{5\,730}=4$ 个,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。

6. D 【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 X_1 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 错误;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的动能比①的大,

突破点: 根据动量与动能的关系判断动能大小

③的动能比④的大,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。

7. 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 ,根据反应前后电荷数和质量数守恒,可得 $4+27=m_1+30,2+13=n_1+15,15=n_2+14,30=m_2+30$,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。A 正确。

8. C 【解析】该反应打出的是质子,可知 A 错误;根据核反应前后质量数和电荷数守恒可知,B、D 错误,C 正确。

9. B 【解析】由天然放射性元素钋(Po)放出的 α 射线轰击铍时会产生中子流,用中子流轰击石蜡时,会产生质子形成质子流,即粒子 A 是中子,粒子 B 是质子,故 A 错误,B 正确;天然放射性元素钋(Po)放出的 α 射线轰击(Be)时会产生中子流,该核反应方程为 $^9_4\text{Be}+^4_2\text{He}\rightarrow^{12}_6\text{C}+^1_0\text{n}$,故 C 错误;质子是卢瑟福在用 α 粒子轰击氮原子核的实验中首次发现的,故 D 错误。

10. A 【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幽门螺杆菌活性,和碳 14 的放射性有关,故 C 错误;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。

11. 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。

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. B 【解析】根据核反应方程中质量数和电荷数守恒,可知 X 的质量数为 $14+1-14=1$,电荷数为 $7+0-6=1$,故 X 为质子(^1_1H),Y 的质量数为 $14-14=0$,电荷数为 $6-7=-1$,故 Y 为电子($^0_{-1}\text{e}$),A 正确; β 衰变中,电子(Y)是由碳 14 核内的中子转化为质子时释放的,而非由质子直接转化而来,B 错误;碳 14 含量变为原来的 $\frac{1}{8}$,即经历 3 个半衰期 $\left(\frac{1}{2^3}=\frac{1}{8}\right)$,时间为 $3\times$

高中必刷题 物理

5 730 年=17 190 年, **C 正确**;半衰期与外界环境(如温度)无关,因此环境温度变化不会影响衰变释放能量, **D 正确**. B 符

合题意. **关键点: 半衰期由原子核自身特性决定**

2. C 【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 错误**;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**.

3. C 【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 错误**;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为 V ,有 $\frac{6\times 10^{-3}\text{ L}}{5\text{ 次/s}}=\frac{V}{\frac{1}{8}\times 2.4\times 10^4\text{ 次/s}}$,解得 $V=3.6\text{ L}$,故 **D 错误**.

4. A 【解析】钍 $^{233}_{90}\text{Th}$ 质量数为233,电荷数为90,则中子数为 $233-90=143$,镤 $^{233}_{91}\text{Pa}$ 质量数为233,电荷数为91,则中子数为 $233-91=142$, $^{233}_{90}\text{Th}$ 比 $^{233}_{91}\text{Pa}$ 多1个中子,故 **A 正确**;放射性元素发生 β 衰变时所释放的电子是由原子核内部中子转变成质子和电子释放出来的,故 **B 错误**;根据核反应的质量数和电荷数守恒可知,镤233变成铀233的核反应方程是 $^{233}_{91}\text{Pa}\rightarrow^{233}_{92}\text{U}+^0_{-1}\text{e}$,故 **C 错误**;半衰期不随温度变化而变化,故 **D 错误**.

5. A 【解析】该放射性元素经过6天后,只剩下 $\frac{1}{4}$ 没有衰变,可知经过了2个半衰期,则放射性元素的半衰期为3天,设水库中水的体积为 V ,则9天后水库中所有放射性元素每分钟衰变20V次,设原有放射性元素质量为 m_0 ,9天后,未发生衰变的放射性元素质量为 m ,则 $\frac{20V\text{ 次}}{8\times 10^7\text{ 次}}=\frac{m}{m_0}$,9天经历了3

关键点: 衰变次数之比等于质量之比

个半衰期,有 $\frac{m}{m_0}=\left(\frac{1}{2}\right)^3$,联立解得 $V=5\times 10^5\text{ m}^3$, **A 正确**.

6. D 【解析】碳14转变为氮14,根据衰变过程中电荷数守恒和质量数守恒,可得其衰变方程为 $^{14}_6\text{C}\rightarrow^{14}_7\text{N}+^0_{-1}\text{e}$,可知衰变方式为 β 衰变,故 **A 错误**;衰变服从统计规律,半衰期只对大量的原子核有意义,故 **B 错误**;根据核反应方程中电荷数守恒和质量数守恒,可知X为中子,故 **C 错误**;当氮14数量是碳14数量的7倍时,可知还有 $\frac{1}{8}$ 碳14未衰变,由题图可知 $t=17\ 190$ 年,故 **D 正确**.

7. C 【解析】根据两粒子的运动轨迹可知,A粒子所受电场力与电场方向相同,带正电,B粒子所受电场力与电场方向相反,带负电,因此碘 $^{131}_{53}\text{I}$ 原子核发生的是 β 衰变,并且 $m_A>m_B$,故 **A 错误**;由于衰变过程动量守恒,A、B粒子的速度方向均沿各自轨迹切线的方向,受到恒定的电场力作用,两个粒子的轨迹不是圆弧,故 **B 错误**;衰变过程动量守恒,可得 $m_A v_A=m_B v_B$,结合 $m_A>m_B$,可得 $v_A<v_B$,因为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2=\frac{p^2}{2m}$,可知 $E_{kA}<E_{kB}$,故 **C 正确**,**D 错误**.

8. C 【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,衰变过程遵循质量数守恒和电荷数守恒,故新核的质量数不变,电荷数加一,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 正确**;若有2 g 铀192,经过74天后还有1 g 没有衰变,再过74天(即总共经历148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**.

刷素养

9. 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

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**. **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

第3节 核力与结合能

刷基础

1. C 【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、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**.

2. 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**.

→ **关键点:** 结合能也是核子结合成原子核所释放的能量

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**.

3. 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.

4. 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.

5. C 【解析】根据质量数和电荷数守恒可知,核反应方程为 $^{131}_{53}\text{I}\rightarrow ^{131}_{54}\text{Xe}+^0_{-1}\text{e}$,可知其为 β 衰变, $^{131}_{54}\text{Xe}$ 比 $^{131}_{53}\text{I}$ 更稳定,故 **A、B 错误**;衰变过程释放的核能为 $\Delta E=\Delta mc^2=(m_1-m_{\text{Xe}}-m_{\text{e}})c^2$,故 **C 正确**;患者服药后经过两个半衰期,碘 131 还剩原来的 $\frac{1}{4}$,故 **D 错误**.

6. C 【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 正确**;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**.

7. D 【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 错误**;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**.

8. (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 $E_1+E_2=\Delta E$,

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

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

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

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

根据 $E=\Delta mc^2$,

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

9. (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 $m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$,

$$\text{根据题意得 } \frac{m}{m_0}=100\%-87.5\%,$$

解得 $t=72\text{ 300 年}$.

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

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

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

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

→ **易错点:** 不要忘记减去光子的能量

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

教材变式 本题由教材 P131 复习与提高 B 组第 4 题演变而来.教材考查了衰变方程,本题延伸考查了衰变的时间及衰变过程中放出的核能.

刷易错

★**易错点** 对爱因斯坦质能方程理解错误

10. 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6 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 $4E_3 - (2E_1 + 3E_2) = \Delta mc^2$, 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 $\Delta E = (m_U - m_{\text{Sr}} - m_{\text{Xe}} - 9m_n)c^2$, B 正确; 设 t 时间消耗的浓缩铀的质量为 m , 有 $Pt = \frac{m\eta\Delta E}{m_U}$, 解得 $m =$

$\frac{Ptm_U}{(m_U - m_{\text{Sr}} - m_{\text{Xe}} - 9m_n)\eta c^2}$, 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 $m_n v_0 = m_n v_1 + 12m_n v_2$, $\frac{1}{2}m_n v_0^2 = \frac{1}{2}m_n v_1^2 + \frac{1}{2} \times 12m_n v_2^2$, 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 $\Delta m = m_U - m_{\text{Th}} - m_{\alpha} = (232.0372 - 228.0287 - 4.0026) \text{ u} = 0.0059 \text{ u}$,

释放的核能 $\Delta E = \Delta mc^2 = 0.0059 \times 931.5 \text{ MeV} = 5.49585 \text{ MeV}$,

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

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

释放的核能全部转化为 α 粒子和钍核 Th 的动能, 有

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

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

第4~5节 核裂变与核聚变/“基本”粒子

刷基础

1. 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} m 以内, 故 D 错误.

2. 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 的方向为正方向, 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, 与铅原子核和铀原子核碰撞后, 几乎以原速率弹回

3. C 【解析】核反应都遵循质量数守恒和电荷数守恒, 故 A 错误; 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.

4. B 【解析】裂变反应参与的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多, 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; 由于聚变反应中发生质量亏损, 故聚变反应后质量变小, 故 D 错误.

5. 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.

6. 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; 该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 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 核的比结合能小于 ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ 核的比结合能, 故 B 正确; 根据题意可知, ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ 会发生 β 衰变, 因此其衰变方程为 ${}_{56}^{141}\text{Ba} \rightarrow {}_{57}^{141}\text{X} + {}_{-1}^0\text{e}$, 故 C 错误; 根据爱因斯坦质能方程有 $\Delta E = \Delta mc^2 = (235.0439 \text{ u} + 1.0087 \text{ u} - 140.9139 \text{ u} - 91.8973 \text{ u} - 3 \times 1.0087 \text{ u})c^2$, 解得 $\Delta E \approx 3.2 \times 10^{-11} \text{ J}$, 故 D 错误.

7. (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 $E = E_2 + E_3 - E_1 = 139.4 \text{ MeV}$.

8. A 【解析】根据质量数守恒和电荷数守恒, 可得该聚变的核反应方程为 $4 {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2 {}^0_{-1}\text{e}$, 生成物是正电子, 不是负电子, A 错误; 聚变反应需要在高温高压条件下发生, 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 正确.

9. 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; 核聚变会释放大量能量, 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.

10. 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

11. C 【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 $(m_1 - m_2) \times 931.5 \text{ MeV} \approx 3.26 \text{ MeV}$, 故 A 错误; 两个氦核以相等的动能 0.35 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 错误; 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

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中生成物中有 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中生成物中有 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, 说明生成物比反应物更加稳定, 可知 ${}^{141}_{56}\text{Ba}$ 的比结合能比 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 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.

教材变式 本题目由教材 P131A 组第 2 题演变而来. 教材考查了区分几种核反应, 本题延伸考查了半衰期、比结合能等知识.

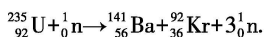
易错分析 核反应有四种类型, 衰变、人工转变、核裂变、核聚变, 本题易因混淆这四种核反应而致错, 掌握四种核反应的特点是解决此类问题的关键.

刷提升

1. A 【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, 故 B 正确; 核反应中有一部分能量转化为新核的动能, 故 C 错误; 中子核能级跃迁, 故 D 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 正确; 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 $\Delta E = (m_2 - m_3 - m_4 - 2m_1)c^2$.

高中必刷题 物理

(3) 一个 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 在裂变反应中亏损的质量 $\Delta m = (235.0439 - 140.9139 - 91.8973 - 2 \times 1.0087) \text{u} = 0.2153 \text{u}$,
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 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 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$.

(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 $M = 12m$,

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

$$\text{所以 } E_1 = \frac{1}{2}mv^2 = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 E_0 \approx 1.25 \text{ MeV}, \quad \frac{E_{\text{损}}}{E_0} = \frac{E_0 - E_1}{E_0} \approx 0.286.$$

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

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

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

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

.....

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

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

教材变式 本题由教材 P125 第 5 题演变而来. 教材考查了碰撞后中子的动能小于 $10^{-6} E_0$ 的碰撞次数, 本题延伸考查了核反应方程及中子损失动能与原来动能的比值.

第五章素养检测

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.

[120]

2. D 【解析】题图甲中, 一个氢原子从 $n=4$ 的能级向基态跃迁时, 最多可以放出 3 种光子, A 错误; 题图乙中, 剩余质量由原

易错点: 分清“一个”还是“一群”

质量的 $\frac{2}{3}$ 变为原质量的 $\frac{1}{3}$ 所经历的时间为 $182.4 \text{ d} - 67.3 \text{ d} = 115.1 \text{ d}$, 可得 $T = 115.1 \text{ 天}$, B 错误; 题图丙中, 微粒在液体分子的撞击下做无规则的布朗运动, 液体分子做的是无规则的热运动, C 错误; 题图丁中, 反应后生成物更稳定, 比结合能更大, 故 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的比结合能小于 ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ 的比结合能, D 正确.

3. A 【解析】放射性元素 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 发生 α 衰变的核反应方程为

$${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}, \text{ 故 A 正确; 根据 } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \text{ 知, } \alpha \text{ 粒子}$$

获得的能量越大, 其德布罗意波长越短, 故 B 错误; β 衰变中产生的电子来源于原子核的内部, 半衰期不受元素化学状态的影响, 故 C 错误; 原子核衰变后, 质量亏损产生的能量 $\Delta mc^2 = h\nu + E_k$, 可知 $h\nu < \Delta mc^2$, 故 D 错误.

4. C 【解析】根据 $\Delta E = \Delta mc^2$, 其中质量亏损 $\Delta m = 4m_p - m_\alpha$, 代入数据可得 $\Delta m = 4 \times 1.0078 \text{ u} - 4.0026 \text{ u} = 0.0286 \text{ u}$, 则该反应释放的能量 $E = 0.0286 \times 931 \text{ MeV} \approx 27 \text{ MeV}$, 故选 C.

5. B 【解析】根据质量数与电荷数守恒有 $238 - 4 = 234$, $92 - 2 = 90$, 可知, 铀 238 发生 α 衰变的方程为 ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$, 故 A 错误; 质量数与电荷数的差值等于中子数, 发生 α 衰变前, ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核内中子数为 $238 - 92 = 146$, 发生 α 衰变后, ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 核内中子数为 $234 - 90 = 144$, 则 $146 - 144 = 2$, 即铀 238 发生一次 α 衰变时, 核内中子数减少 2, 故 B 正确; 铀 238 衰变为铅 206, 设经过了 m 次 α 衰变, n 次 β 衰变, 根据质量数与电荷数守恒有 $238 = 206 + 4m$, $92 = 82 + 2m - n$, 解得 $m = 8$, $n = 6$, 故 C 错误; 根据图像可知, 铀 238 的半衰期为 45 亿年, 通过测量发现某岩石中铀 238 的相对含量是岩石形成初期时的一半, 说明经过了一个半衰期, 可推算出地球的年龄至少为 45 亿年, 故 D 错误.

6. C 【解析】由题图可知, X 的质量数为 238, 中子数为 146, Y 的质量数为 206, 中子数为 124, 故 X 的质子数与 Y 的质子数之比为 $(238 - 146) : (206 - 124) = 46 : 41$, 故 A 错误; 设 X 经过 a 次 α 衰变、 b 次 β 衰变达到稳定状态变成 Y, 核反应方程可写为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Y} + a{}^4_2\text{He} + b{}^0_{-1}\text{e}$, 由电荷数与质量数守恒可得 $238 = 206 + 4a$, $92 = 82 + 2a - b$, 解得 $a = 8$, $b = 6$, 故衰变方程为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Y} + 8{}^4_2\text{He} + 6{}^0_{-1}\text{e}$, 故 D 错误; 衰变放出能量, 生成物更稳定, 故 Y 的比结合能大于 X 的比结合能, 故 B 错误; X 经过 1 次 α 衰变的衰变方程为 ${}^{238}_{92}\text{X} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Z} + {}^4_2\text{He}$, 新元素 Z 的质子数与中子数之比为 $90 : (234 - 90) = 5 : 8$, 故 C 正确.

7. D 【解析】原子核衰变过程中系统动量守恒, 衰变生成的两粒子的动量方向相反, 由左手定则可知, 若生成的两粒子电性相反, 则在磁场中的轨迹为内切圆, 若电性相同, 则在磁场中的轨迹为外切圆, 由题图知原子核发生 α 衰变. 原子核原

来静止,初动量为零,由动量守恒定律可知,原子核衰变生成的两粒子动量 p 大小相等,方向相反,粒子在磁场中做匀速圆周运动,洛伦兹力提供向心力,由牛顿第二定律得 $qvB = \frac{mv^2}{r}$,解得 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$,由于 p 、 B 相同,则粒子的电荷量 q 越大,轨迹半径越小,由于新核的电荷量大,所以新核的轨迹半径小,所以径迹 1 为新核的径迹,径迹 2 是衰变后 α 粒子的径迹,由左手定则可知两径迹旋转方向相同,故 **A、B 错误**。
由动能与动量的关系 $E_k = \frac{p^2}{2m}$,可知动能之比等于质量的反比,即 $E_{k1} : E_{k2} = 2 : 117$,由前面分析知 $r_1 : r_2 = 2 : 90 = 1 : 45$,故 **C 错误, D 正确**。

8. D 【解析】聚变反应释放能量,产物的比结合能比反应物更大,故氦 3 的比结合能大于氦核的比结合能,故 **A 错误**;核反应中质量亏损,质量不守恒,但总能量守恒,故 **B 错误**;质量亏损 $\Delta m = 2m_{\text{氦}} - (m_{\text{氦3}} + m_{\text{中子}}) = 2 \times 3.343\ 6 \times 10^{-27}\text{ kg} - (5.006\ 4 \times 10^{-27} + 1.674\ 9 \times 10^{-27})\text{ kg} = 5.9 \times 10^{-30}\text{ kg}$,释放能量 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 5.9 \times 10^{-30} \times (3 \times 10^8)^2\text{ J} = 5.31 \times 10^{-13}\text{ J}$,即 $\Delta E = 5.31 \times 10^{-13}\text{ MeV} \approx 3.3\text{ MeV}$,故 **C 错误**;1 L 普通水中含有重水的质量为 $1\ 000\text{ g} \times 0.015\ 0\% = 0.15\text{ g}$,氦核数目 $\frac{0.15\text{ g}}{19\text{ g}} \times$

$6.02 \times 10^{23} \approx 4.75 \times 10^{21}$,反应次数为 $\frac{4.75 \times 10^{21}}{2} = 2.375 \times 10^{21}$,
易错点: 每次反应需 2 个氦核
总能量 $E_{\text{总}} = 2.375 \times 10^{21} \times 5.31 \times 10^{-13}\text{ J} = 1.26 \times 10^9\text{ J}$,平均功率 $P = \frac{E_{\text{总}}}{24 \times 3\ 600\text{ s}} = \frac{1.26 \times 10^9}{86\ 400}\text{ W} \approx 14.6\text{ kW}$,故 **D 正确**。

9. C 【解析】由题意可知衰变产生的 $^{235}_{92}\text{U}$ 和 α 粒子电性相同,但运动方向相反,故两粒子垂直射入同一垂直纸面向里的匀强磁场中做匀速圆周运动的轨迹为外切圆,根据左手定则可知二者均沿逆时针方向运动,故 **A 错误**;粒子在磁场中运动,洛伦兹力提供向心力,有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$,所以 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$,由动量守恒定律可知,两粒子动量大小相等,所以两粒子的轨迹半径之比为 $\frac{r_{\text{U}}}{r_{\alpha}} = \frac{q_{\alpha}}{q_{\text{U}}} = \frac{1}{46}$,故 **B 错误**;由能量守恒定律可知 $E = E_{k_{\text{总}}} + E_{\gamma}$,由爱因斯坦质能方程可知 $E = (m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2$,解得 $E_{k_{\text{总}}} = (m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2 - E_{\gamma}$,故 **C 正确**;对两粒子,由动量守恒定律可得 $0 = m_{\text{U}}v_{\text{U}} + m_{\alpha}v_{\alpha}$,且 $E_{k_{\text{总}}} = E_{k_{\text{U}}} + E_{k_{\alpha}} = \frac{1}{2}m_{\text{U}}v_{\text{U}}^2 + \frac{1}{2}m_{\alpha}v_{\alpha}^2$,
关键点: 动量大小相等的两粒子的动能之比等于质量的反比

联立解得 $E_{k_{\alpha}} = \frac{m_{\text{U}}}{m_{\text{U}} + m_{\alpha}} [(m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha})c^2 - E_{\gamma}]$,故 **D 错误**。

10. A 【解析】衰变后产生的 α 粒子与新核 Y 都带正电荷,且由动量守恒定律可知,两粒子的速度反向,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**

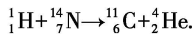
误;衰变方程为 $^A_Z\text{X} \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + ^4_2\text{He}$,则新核 Y 的质量为 $\frac{A-4}{4}m$,电荷量为 $\frac{Z-2}{2}q$,由圆周运动规律得各自的周期为 $T_{\alpha} = \frac{2\pi m}{Bq}$,

$T_{\text{Y}} = \frac{2\pi \frac{A-4}{4}m}{B \frac{Z-2}{2}q} = \frac{(A-4)\pi m}{(Z-2)Bq}$,当 $\frac{A-4}{Z-2}$ 为 2 的整数倍时,衰变后经过 $\frac{(A-4)\pi m}{(Z-2)Bq}$ 两核再次相遇,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**。

11. (1) $^1_1\text{H} + ^{14}_7\text{N} \rightarrow ^{11}_6\text{C} + ^4_2\text{He}$ **(2)** 0.125 g **(3)** $2.5 \times 10^4\text{ m/s}$,方向与质子初速度方向相反

【解析】(1)根据核反应过程质量数和电荷数守恒可知,质子轰击 $^{14}_7\text{N}$ 生成 $^{11}_6\text{C}$ 的核反应方程为



(2)1 g 的 $^{11}_6\text{C}$ 经过 1 小时后,还剩下的 $^{11}_6\text{C}$ 的质量

$$m = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = 1 \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{60}{20}}\text{ g} = \frac{1}{8}\text{ g} = 0.125\text{ g}.$$

(3)以质子的运动方向为正方向,碰撞过程,由动量守恒定律可得 $m_0 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$,

$$\text{解得氦核的速度为 } v_2 = \frac{m_0 v_0 - m_1 v_1}{m_2} = -2.5 \times 10^4\text{ m/s},$$

所以氦核的速度大小为 $2.5 \times 10^4\text{ m/s}$,方向与质子初速度方向相反。

12. (1) $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ **(2)** $3.22 \times 10^{-11}\text{ J}$
(3) $2.48 \times 10^3\text{ kg}$

【解析】(1)根据电荷数守恒、质量数守恒可知,核反应方程为 $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ 。

(2)核反应的质量亏损

$$\Delta m = m_{\text{U}} + m_{\text{n}} - m_{\text{Ba}} - m_{\text{Kr}} - 3m_{\text{n}} = m_{\text{U}} - m_{\text{Ba}} - m_{\text{Kr}} - 2m_{\text{n}} = 390.313\ 9 \times 10^{-27}\text{ kg} - 234.001\ 6 \times 10^{-27}\text{ kg} - 152.604\ 7 \times 10^{-27}\text{ kg} - 2 \times 1.674\ 9 \times 10^{-27}\text{ kg} = 3.578 \times 10^{-28}\text{ kg},$$

反应中释放的核能为

$$\Delta E = \Delta mc^2 = 3.578 \times 10^{-28} \times (3 \times 10^8)^2\text{ J} \approx 3.22 \times 10^{-11}\text{ J}.$$

(3)秦山核电站一年需要消耗铀核的质量

$$m = \frac{650 \times 10^7 \times 365 \times 24 \times 3\ 600}{3.22 \times 10^{-11}} \times 390.313\ 9 \times 10^{-27}\text{ kg} \approx 2.48 \times 10^3\text{ kg}.$$

教材变式 本题由教材 P131 复习与提高 B 组第 5 题演变而来。题目都考查了核反应方程和核电站每年需要消耗的铀的质量。

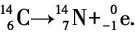
13. (1) 28 650 年 (2) ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ (3) 7 : 1

(4) $\frac{(k+1)E_{k1}}{c^2}$

【解析】(1) 根据题意得 $\frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{5730\text{年}}}$,

解得 $t = 28\ 650$ 年.

(2) 根据质量数和电荷数守恒,核反应方程为



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

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

β 粒子与氮核做圆周运动的半径之比 $\frac{r_{\beta}}{r_{\text{N}}} = \frac{7}{1}$.

(4) 根据 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知 $\frac{E_{k\text{N}}}{E_{k\beta}} = \frac{m_{\beta}}{m_{\text{N}}} = k$,又 $E_{k\beta} = E_{k1}$,解得 $E_{k\text{N}} = kE_{k1}$,

突破点: 根据动能与动量关系求解

衰变过程,根据爱因斯坦质能方程有 $\Delta mc^2 = kE_{k1} + E_{k1}$,

解得 $\Delta m = \frac{(k+1)E_{k1}}{c^2}$.

第五章高考强化

刷真题

1. B 【解析】

选项	分析	结论
A	原子核衰变后释放能量,根据质能方程可知,新核总质量应小于原核质量	×
B	半衰期的定义是放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间	✓
C、D	半衰期由原子核内部自身的因素决定,与温度、压强、化学状态无关,环境温度升高或化学方法均不改变半衰期	×

易错分析 1. 混淆“质量数守恒”与“质量守恒”,误认为衰变后质量不变(忽略质量亏损).

2. 误认为半衰期受外界条件(温度、压强等)影响.

2. B 【解析】采集时 ${}^7_4\text{Be}$ 原子个数设为 x ,由题意可知,经过 106 天, ${}^7_4\text{Be}$ 经历两个半衰期,原子个数变为原来的四分之一, ${}^{10}_4\text{Be}$ 不考虑衰变,采集时 ${}^{10}_4\text{Be}$ 原子个数设为 y ,保持不变,

关键点: 106 天相对于 139 万年可忽略不计,故可认为 ${}^{10}_4\text{Be}$ 数量不变

总数变为原来的 $\frac{3}{4}$,则有 $\frac{\frac{1}{4}x+y}{x+y} = \frac{3}{4}$,解得 $\frac{x}{y} = \frac{1}{2}$,B 正确.

3. D 【解析】核反应方程遵循质量数守恒和电荷数守恒,则 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 衰变成 ${}^{90}_{39}\text{Y}$ 的核反应方程为 ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}$,A 错误; ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 衰变成 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 的核反应方程为 ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$,B 错误;相同数目的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 经 50 年,衰变超过一半,剩余的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 数目少于一半, ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 经 50 年,还没有半数发生衰变,剩余的 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$

数目多于一半,则剩余的 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 数目多,C 错误;相同数目的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 经 87 年,经过三个半衰期,剩余的数目是原来的 $\left(\frac{1}{2}\right)^3 = \frac{1}{8}$, ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 经 87 年,刚好有半数发生衰变,剩余的数目是原来的 $\frac{1}{2}$,则剩余的 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 数目多,D 正确.

4. D 【解析】根据质量数守恒可知,X 的质量数为 $A = 17 + 1 - 14 = 4$,根据电荷数守恒可知,X 的电荷数为 $Z = 8 + 1 - 7 = 2$,则 X 为氦核 ${}^4_2\text{He}$,D 正确.

5. B 【解析】由题意可知该核反应方程为 ${}^{232}_{90}\text{Th} + x {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{233}_{92}\text{U} + y {}^0_{-1}\text{e}$,根据核反应过程中质量数守恒及电荷数守恒得 $x = 233 - 232 = 1$, $y = 92 - 90 = 2$,B 正确.

6. C 【解析】设 X 的质量数为 a ,电荷数为 b ,根据核反应过程中质量数守恒及电荷数守恒,可得 $a = 18$, $b = 8$,X 为 ${}^{18}_8\text{O}$,A 错误;该反应为正 β 衰变,不是核聚变,B 错误; $1\text{ g } {}^{18}_9\text{F}$ 经过一个半衰期,质量变为原来的 $\frac{1}{2}$,还剩下 0.5 g,C 正确; ${}^0_0\nu$ 的电荷数为 0,在磁场中不受洛伦兹力,不会发生偏转,D 错误.

7. A 【解析】反氢原子的基态能量和氢原子的基态能量完全相等,A 正确;由电荷守恒可知,一个中子可以转化为一个质子和一个负电子,B 错误;一对正负电子等速率对撞,总动量为 0,如果湮灭为一个光子,违反动量守恒定律,则它们至少湮灭为两个光子,光子也具有动量

湮灭为两个光子,C 错误;反氦核和反氦核的核聚变反应会放出能量,D 错误.

8. AC 【解析】该反应过程中释放出核能,故该反应有质量亏损,A 正确;该反应是轻核聚变,B 错误;碰撞过程由动量守恒定律有 $m_{\alpha}v_{\alpha} = m_{\text{n}}v_{\text{n}}$,解得 $v_{\text{n}} = 4v_{\alpha}$,又 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$,则 $E_{k\alpha} : E_{k\text{n}} = 1 : 4$,由题意得 $E_{k\alpha} + E_{k\text{n}} = 17.5\text{ MeV}$,联立解得 $E_{k\alpha} = 3.5\text{ MeV}$, $E_{k\text{n}} = 14\text{ MeV}$,C 正确,D 错误.

9. C 【解析】根据质能方程 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$,并结合题意知 $\Delta m \cdot c^2 t = E$,代入能量量级有 $\Delta m \cdot (3 \times 10^8\text{ m/s})^2 \times 60\text{ s} = 10^{48}\text{ J}$,解得 $\Delta m = 1.85 \times 10^{29}\text{ kg/s}$,所以每秒钟平均减少的质量量级为 10^{29} kg ,C 正确.

10. D 【解析】核反应过程中质量数和电荷数守恒,核反应方程式为 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$,A 错误;核反应过程中,生成物比反应物要稳定,比结合能越大,原子核越稳定,故氦核的比结合能比氢核的小,B 错误;核力是短程力,数量级在 10^{-15} m 内才会发生核聚变,故氦核与氦核的间距达到 10^{-10} m 不会发生核聚变,C 错误;一个氦核与一个氦核聚变反应质量亏损 $\Delta m = (2.014\ 1 + 3.016\ 1 - 4.002\ 6 - 1.008\ 7)\text{ u} = 0.018\ 9\text{ u}$,聚变反应释放的能量是 $\Delta E = \Delta m \cdot 931.5(\text{ MeV}) \approx 17.6\text{ MeV}$,4 g 氦完全参与聚变释放出能量 $E = \frac{4}{2} \times 6.0 \times 10^{23} \times \Delta E \approx 2.11 \times 10^{25}\text{ MeV}$,数量级为 10^{25} MeV ,D 正确.

刷原创

1. D 【解析】发电过程中有能量损耗,释放的核能只有一部分转化为电能,故 A 错误. 钡核是反应产物,更稳定,比结合能也就更大,故 B 错误. 质量亏损 $\Delta m = m_{\text{前}} - m_{\text{后}} = 0.186 \text{ u}$, 故 C 错误. 根据爱因斯坦质能方程可知 $\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV/u} \approx 173.3 \text{ MeV}$, 故 D 正确.

2. ACD 【解析】根据电荷数守恒和质量数守恒,可知 X 为 ${}^1_0\text{n}$, A 正确. 半衰期是一个统计学概念,对于少量的原子核不适用, B 错误. 半衰期与环境因素无关, C 正确. 观察反应 (2) 可知, ${}^{30}_{15}\text{P}$ 原子核中释放出了一个 ${}^0_1\text{e}$, 说明转变过程中质量数不

变, 质子数减少 1, 可知反应发生的本质是 ${}^1_1\text{H} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e}$, D 正确.

3. BD 【解析】 ${}^3_2\text{He}$ 的中子数为 $3-2=1$, A 错误. 总反应中共有 12 个核子参与了反应, 平均每个核子贡献的能量为 $\bar{E} = \frac{43.15 \text{ MeV}}{12} \approx 3.6 \text{ MeV}$, B 正确. 核反应中反应产物更加稳定, 比结合能更大, 结合四种反应和释放的能量可知比结合能的大小关系为 ${}^4_2\text{He} > {}^3_2\text{He} > {}^3_1\text{H} > {}^2_1\text{H}$, C 错误. 与核裂变反应相比, 核聚变反应产物基本上没有放射性, 且每个核子的平均贡献能量更高, 所以更加安全、清洁和高效, D 正确.

题型专练 1 新定义 新情境专练

刷素养

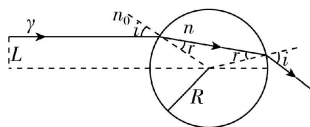
1. A 【解析】光的频率与波长的关系为 $c = \lambda\nu$, 一个光子的能量为 $E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, 该光源在曝光时间 t 内发出的光能为 $E = Pt$, 设在曝光时间 t 内进入手机摄像头的光能为 E_1 , 有 $\frac{E_1}{E} = \frac{S}{4\pi r^2}$, 则曝光时间 t 内进入手机摄像头快门的光子个数为 $n = \frac{E_1}{E_0} = \frac{P\lambda St}{4\pi r^2 hc}$, 故 A 正确.

2. A 【解析】步骤 I 用热水浇淋茶宠时, 腔内气体温度升高, 分子的平均速率增大, 平均动能增大, 但不是每个气体分子的速率均增大, 故 A 正确, B 错误; 步骤 II 用热水浇淋茶宠过程, 腔内气体温度升高, 气体体积不变, 根据查理定律 $\frac{p}{T} = C$ 可知, 腔内密封气体压强增大, 故 C 错误; 步骤 II 茶宠喷水过程中, 腔内气体体积增大, 外界对气体做负功, 根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 可知, 腔内密封气体吸收的热量大于气体内能增加量, 故 D 错误.

3. BC 【解析】对初始时碗内理想气体, 由玻意耳定律得 $p_0 V_0 = \frac{p_0}{2} V_1$, 得 $V_1 = 2V_0$, 则挤出气体的体积为 $V_2 = V_1 - \frac{V_0}{9} = \frac{17V_0}{9}$, 解得挤出的气体与最初皮碗中气体质量之比为 $\frac{m_2}{m_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{17}{18}$, 故 A 错误, B 正确; 向上提皮碗的过程, 由玻意耳定律得 $\frac{p_0}{2} \cdot \frac{V_0}{9} = p_2 V_0$, 设碗与物块即将分离时, 物块恰好离开地面, 此时皮碗能提起的物块重力最大, 分析物块受力, 可得 $p_0 S - G - p_2 S = 0$, 解得 $G = \frac{17p_0 S}{18}$, 即皮碗能提起物块的最大重力为 $\frac{17p_0 S}{18}$, 故 C 正确, D 错误.

4. $\frac{hLn_0\gamma}{nR^2} \left(1 - \frac{n_0 \sqrt{R^2 - L^2}}{\sqrt{n^2 R^2 - n_0^2 L^2}} \right)$

【解析】设入射角为 i , 折射角为 r , 如图所示,



由几何关系可知 $\sin i = \frac{L}{R}$,

根据光的折射定律有 $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n}{n_0}$,

光子的动量 $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\gamma}{c}$,

进入玻璃球的光的偏折角为 $i-r$, 离开玻璃球时, 光的偏折角同样为 $i-r$, 整个过程光偏折了 $2(i-r)$, 通过玻璃球时, 光子的动量变化量 $\Delta p = 2p \sin(i-r)$,

突破点: 由几何关系, $\frac{\Delta p}{\sin 2(i-r)} = \frac{p}{\sin \frac{\pi - 2(i-r)}{2}}$, 整理得 $\Delta p = 2p \sin(i-r)$

整理得 $\Delta p = \frac{2hLn_0\gamma}{cnR^2} (\sqrt{n^2 R^2 - n_0^2 L^2} - n_0 \sqrt{R^2 - L^2})$,

光子穿过玻璃球的时间 $t = \frac{2R \cos r}{\frac{n_0 c}{n}} = \frac{2\sqrt{n^2 R^2 - n_0^2 L^2}}{n_0 c}$,

根据动量定理可知玻璃球对光子的平均作用力大小 $F = \frac{\Delta p}{t} =$

$\frac{hLn_0\gamma}{nR^2} \left(1 - \frac{n_0 \sqrt{R^2 - L^2}}{\sqrt{n^2 R^2 - n_0^2 L^2}} \right)$.

5. (1) $\frac{91}{30}V$ (2) $\frac{1}{6}V$ (3) $\frac{91}{18}V$

【解析】(1) 对需要充入的氦气, 充入前, 温度 $T_0 = (t_0 + 273) \text{ K} = 273 \text{ K}$,

突破点: 初、末状态氦气温度不同

充入后的温度 $T = (t + 273) \text{ K} = 90 \text{ K}$,

根据理想气体状态方程, 有 $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{5p_0 \cdot \frac{1}{5}V}{T}$,

解得 $V_0 = \frac{91}{30}V$.

(2) 气泵发生故障, 无法向贮箱注入氦气后, 对贮箱内的氦