

答案与解析

第十六章

动量守恒定律

第1节 实验:探究碰撞中的不变量

高考通关训练

正文 P8

答案

1 BC 2 AB 3 BD

4 (1) 平抛时间 (2) BCD (3) BD

5 AD

6 (1) BC (2) 0.6 2

7 (1) 滑块 a (的遮光条) 通过两个光电门所用时间相等

$$(2) \frac{m_a}{t_1} = \frac{m_a + m_b}{t_2}$$

8 设摆球 A 、 B 的质量分别为 m_A 、 m_B , 摆长为 l , B 球的初始高度为 h_1 , 碰撞前 B 球的速度为 v_B 。在不考虑摆线质量的情况下, 根据题意及机械能守恒定律得

$$h_1 = l(1 - \cos 45^\circ), \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} m_B v_B^2 = m_B g h_1, \quad (2)$$

设碰撞前、后两摆球的总动量的大小分别为 p_1 、 p_2 , 有 $p_1 = m_B v_B$, (3)

$$\text{联立(1)(2)(3)式得 } p_1 = m_B \sqrt{2gl(1 - \cos 45^\circ)}, \quad (4)$$

$$\text{同理可得 } p_2 = (m_A + m_B) \sqrt{2gl(1 - \cos 30^\circ)}, \quad (5)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_A + m_B}{m_B} \sqrt{\frac{1 - \cos 30^\circ}{1 - \cos 45^\circ}}, \quad (6)$$

$$\text{代入已知条件得 } \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^2 = 1.03, \quad (7)$$

由此可以推出 $\left|\frac{p_2 - p_1}{p_1}\right| = 1.4\% < 4\%$, 所以, 此实验在规定的误差范围内验证了动量守恒定律。

9 (1) 使气垫导轨水平 (2) 滑块 A 的左端到挡板 C 的距离 x_1 和滑块 B 的右端到挡板 D 的距离 x_2

$$(3) (M + m) \frac{x_1}{t_1} = M \frac{x_2}{t_2}$$

10 (1) D F (2) $m_1 \sqrt{L_E} = m_1 \sqrt{L_D} + m_2 \sqrt{L_F}$ 11 ① P ② 3.66×10^{-3} 0.54% 在实验误差允许范围内, 可认为系统在碰前的动量和碰后的动量是相等的

$$\text{③ } D \quad \text{④ } m_1 \sqrt{\frac{1}{y_2}} = m_1 \sqrt{\frac{1}{y_3}} + m_2 \sqrt{\frac{1}{y_1}}$$

解析

1 根据实验装置可知, 需要用天平测质量, 挡光板的宽度需要用毫米刻度尺来测量, 所以选项 B 、 C 正确。2 导轨不水平, 小车速度将会受重力影响, A 项正确; 挡光板倾斜会导致挡光板宽度不等于挡光阶段小车通过的位移, 导致速度计算出现误差, B 项正确。

3 小球从斜槽上滚下每次受的阻力相同, 阻力大小并不影响实验, 也不是误差产生的原因。释放点越高, 两球碰后的位移越大, 测量的相对误差越小; 且释放点越高, 入射小球对被碰小球的作用力越大, 轨道对被碰小球的阻力造成的影响也就小一些, 因此释放点应尽量高些。

4 (1) 在此实验装置中两球的飞行时间相同, 实验中可用平抛时间作为时间单位, 从而变比较速度大小为比较水平位移的大小。

(2) 此实验要求两小球平抛, 所以应使斜槽末端点的切线是水平的, B 对。要求碰撞时入射小球的速度不变, 应使入射小球每次都从斜槽上的同一位置无初速度释放, C 对, A 错。为使入射小球不返回且碰撞时为对心正碰, 应使 $m_a > m_b$ 且 $r_a = r_b$, D 对。

(3) 小球每次都从同一位置无初速释放, 由于偶然因素存在, 重复操作时小球的落点不重合是正常的, 但落点应当比较密集。应取包围各落点的最小圆的圆心作为落点的平均位置, 故选项 B 、 D 正确。

7 (1) 如果平衡, 滑块 a 将在导轨上做匀速运动, 因此通过两个光电门所用的时间相等;(2) 根据动量守恒定律可知, $m_a v_1 = (m_a + m_b) v_2$ 。

根据速度公式可知 $v_1 = \frac{d}{t_1}$, $v_2 = \frac{d}{t_2}$, 代入上式可得应满足

$$\text{的公式为: } \frac{m_a}{t_1} = \frac{m_a + m_b}{t_2}.$$

9 (1) 为了保证弹簧把滑块 A 、 B 弹开后两滑块均做匀速直线运动, 必须使气垫导轨水平, 需要用水平仪加以调试。

(2) 要求出两滑块 A 、 B 在卡销放开后的速度, 需测出 A 至 C 的时间 t_1 和 B 至 D 的时间 t_2 , 并且要测量出两滑块到挡板的距离 x_1 和 x_2 , 再由公式 $v = \frac{s}{t}$ 求出其速度。

(3) 根据所测数据求得两滑块的速度大小分别为 $v_A = \frac{x_1}{t_1}$

和 $v_B = \frac{x_2}{t_2}$ 。设向左为正方向, 碰前两滑块静止, 总动量为

$$\text{零, 碰后两滑块的总动量为 } (M + m) \frac{x_1}{t_1} - M \frac{x_2}{t_2}.$$

10 设斜面 BC 与水平面的夹角为 θ , 小球从斜槽 AB 末端抛出的水平速度为 v , 落到斜面 BC 的位置到 B 点的距离为 L ,

由平抛运动知识得小球运动时间 $t = \sqrt{\frac{2L \sin \theta}{g}}$, 水平位移

$$x = L \cos \theta, \text{ 即 } v = \frac{x}{t} = \sqrt{\frac{Lg \cos^2 \theta}{2 \sin \theta}}, \text{ 可知 } v \propto \sqrt{L}.$$

第2节 动量和动量定理

高考通关训练

正文 P18

答案

1 D 2 D 3 CD 4 C 5 D

6 D 7 BD 8 BD 9 D 10 B

11 (1) 两车相撞时认为人与车一起做匀减速运动直到停止, 位移为 0.5 m 。设运动时间为 t , 根据 $x = \frac{v_0}{2} t$, 得 $t = \frac{2x}{v_0} =$

$$\frac{1}{30} \text{ s}。 \text{ 根据动量定理 } Ft = \Delta p = mv_0, \text{ 得 } F = \frac{mv_0}{t} = \frac{60 \times 30}{1/30} \text{ N} = 5.4 \times 10^4 \text{ N}。$$

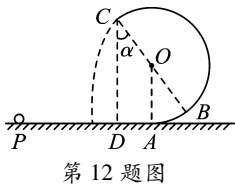
(2) 若人系有安全带, 则 $F' = \frac{mv_0}{t'} = \frac{60 \times 30}{1} \text{ N} = 1.8 \times 10^3 \text{ N}$ 。

- 12 (1) 设水平恒力的大小为 F_0 , 小球到达 C 点时所受的合力大小为 F . 由力的合成法则有

$$\frac{F_0}{mg} = \tan \alpha. \quad (1)$$

$$F^2 = (mg)^2 + F_0^2. \quad (2)$$

设小球到达 C 点时的速度大小为 v , 由牛顿第二定律得 $F = m \frac{v^2}{R}$. (3)



第12题图

由①②③式和题给数据得 $F_0 = \frac{3}{4}mg$. (4)

$$v = \frac{\sqrt{5gR}}{2}. \quad (5)$$

(2) 设小球到达 A 点的速度大小为 v_1 , 作 $CD \perp PA$, 交 PA 于 D 点, 由几何关系得 $DA = R \sin \alpha$. (6)

$$CD = R(1 + \cos \alpha). \quad (7)$$

$$\text{由动能定理有 } -mg \cdot CD - F_0 \cdot DA = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2. \quad (8)$$

由④⑤⑥⑦⑧式和题给数据得, 小球在 A 点的动量大小为 $p = mv_1 = \frac{m\sqrt{23gR}}{2}$. (9)

解析

- 1 由动量的定义式 $p = mv$ 可知, 选项 A、B 均错误; 做匀加速直线运动的物体, 其速度在不断增大, 故动量在增大, 选项 C 错误; 动量的方向始终与速度方向相同, 选项 D 正确.
- 2 玻璃杯从相同的高度下落时, 其在撞击过程中的动量的变化量是相同的, 由动量定理 $(F - mg)t = m\Delta v$ 可得 $F = mg + \frac{m\Delta v}{t}$, 故玻璃杯与石头撞击时易破碎是因为其动量的变化较快.
- 3 反推火箭并没有改变返回舱的动量变化, 所以由动量定理知, 返回舱所受的冲量不变, 只是作用时间延长了, 所以返回舱和航天员所受的平均冲力减小了, 故 C、D 选项正确.
- 4 由动量定理有: $I = \Delta p = m(-v_2) - mv_1$, 故冲量大小为 $m(v_1 + v_2)$, 方向与 v_2 方向相同.
- 5 在安全带产生拉力的过程中, 工人受重力、安全带的拉力作用做减速运动, 此过程的初速度就是自由落体运动的末速度, 所以有: $v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 5} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$, 取竖直向下为正方向, 根据动量定理, 有: $mg \cdot t - F \cdot t = 0 - mv_0$, 解得: $F = mg + \frac{mv_0}{t} = \left(600 + \frac{60 \times 10}{1.2}\right) \text{ N} = 1\ 100 \text{ N}$, 故选 D.
- 6 运动员的速度开始为零, 起跳后变为 v , 以向上为正方向, 由动量定理可得 $I - mg\Delta t = mv - 0$, 故地面对运动员的冲量为 $I = mv + mg\Delta t$, 运动员在跳起时, 地面对运动员的支持力竖直向上, 在跳起过程中, 在支持力方向上没有位移, 地面对运动员的支持力不做功, 故 D 正确.
- 7 由题图知两质点分别在两段时间内的动量变化的大小相等, 据动量定理 $I = \Delta p$ 知两质点分别在两段时间内的冲量大小相等, 选项 B 正确. 由 $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ 知, $p-t$ 图中直线斜率的绝对值表示物体所受合外力的大小, 故 $F_1 > F_2$, 选项 D 正确.
- 8 由 $I = Ft$ 知 $I = 30 \text{ N} \cdot \text{s}$, 选项 B 正确. 由题图知合外力的冲量 $I_{\text{合}} = F \cos 30^\circ \cdot t = 15\sqrt{3} \text{ N} \cdot \text{s}$. 再根据动量定理 $\Delta p = I_{\text{合}} = 15\sqrt{3} \text{ N} \cdot \text{s}$. 选项 D 正确.
- 9 把滑块和球看作一个整体受力分析, 沿斜面和垂直斜面建立直角坐标系, 若假设滑块速度方向向下, 则沿斜面方向: $(m_1 + m_2)g \sin \theta - F_f = (m_1 + m_2)a$, 垂直斜面方向: $F_N =$

$(m_1 + m_2)g \cos \theta$, 其中摩擦力: $F_f = \mu F_N$, 联立解得: $a = g \sin \theta - \mu g \cos \theta$, 对小球现有: $\theta < \beta$, 则有 $a > g \sin \beta$, 所以 $g \sin \theta - \mu g \cos \theta > g \sin \beta$, $g \sin \theta - g \sin \beta > \mu g \cos \theta$, 因为 $\theta < \beta$, 所以 $g \sin \theta - g \sin \beta < 0$, 但 $\mu g \cos \theta > 0$, 所以假设不成立, 即速度的方向一定沿杆向上, 滑块向上运动, 重力有沿杆向下的分力, 同时摩擦力的方向沿杆向下, 所以滑块的加速度方向向下, 滑块沿杆减速上滑, 则滑块的动量方向沿杆向上, 正在均匀减小, 故 D 正确.

- 10 以物体为研究对象, 受重力、支持力、恒力 F 的作用. 以物体出发点为坐标原点, 以沿斜面向上为 x 轴的正方向, 建立坐标系. 撤去 F 前, 物体做匀加速运动, 设撤去 F 时, 物体的速度为 v , 物体的位移为 s , 由动量定理得 $(F - mg \sin \beta)t = mv$, 由位移公式有 $s = \frac{v}{2}t$. 撤去 F 后, 物体做匀变速直线运动, 由牛顿第二定律得加速度 $a = g \sin \beta$, 从撤去 F 到物体回到斜面的底部, 由运动学公式得 $-s = v(2t) - \frac{1}{2}g \sin \beta (2t)^2$, 由以上各式联立求解有 $F = \frac{9}{5}mg \sin \beta$, 故 B 正确.

第3节 动量守恒定律

高考通关训练

正文 P26

答案

- | | | | | | | | | | |
|---|----|---|---|---|----|---|---|----|---|
| 1 | BD | 2 | C | 3 | AC | 4 | A | 5 | A |
| 6 | C | 7 | A | 8 | A | 9 | B | 10 | D |

- 11 (1) $v_1 = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$, 取速度 v_1 的方向为正方向, 由动量定理有 $-I_0 = 0 - m_1 v_1$. (1)
将已知数据代入①式得 $I_0 = 1.6 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{s}$. (2)
由冲量定义有 $I_0 = F_0 t_1$. (3)
将已知数据代入③式得 $F_0 = 1.6 \times 10^5 \text{ N}$. (4)
(2) 设试验车和汽车碰撞后获得共同速度 v , 由动量守恒定律有 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)v$. (5)
对试验车, 由动量定理有 $-F t_2 = m_1 v - m_1 v_1$. (6)
将已知数据代入⑤⑥式得 $F = 2.5 \times 10^4 \text{ N}$.
可见 $F < F_0$, 故试验车的安全气囊不会爆开.
- 12 (1) 小车与小球碰撞过程, 根据动量守恒定律有 $mv_0 = Mv + mv_1$, 解得 $v_1 = -2 \text{ m/s}$, 负号表示碰撞后小车向左运动.
(2) 当弹簧被压缩到最短时, 设小车的速度为 v_2 , 根据动量守恒定律有 $m_0 v_0 + mv_1 = (m_0 + m)v_2$, 解得 $v_2 = 2 \text{ m/s}$. 设从碰撞后瞬间到弹簧被压缩到最短的过程中, 弹簧弹力对小车的冲量大小为 I , 根据动量定理有 $I = mv_2 - mv_1$, 解得 $I = 4 \text{ N} \cdot \text{s}$.

解析

- 1 把兔子和木桩作为一个系统, 木桩动量始终不变, 而兔子的速度发生变化, 动量发生变化, 所以系统动量发生变化, 选项 B、D 均正确.
- 2 甲木块与弹簧接触后, 甲、乙两木块所组成系统 (含轻弹簧) 所受合外力为零, 故系统的动量守恒, 机械能也守恒, 选项 A、B 均错误, C 正确; 系统内部的物体在发生相互作用的过程中, 系统的动能与弹簧的弹性势能会发生相互转化, 故甲、乙两木块所组成系统的动能不守恒, 选项 D 错误.
- 3 A 图中子弹和木块组成的系统在水平方向上不受外力, 竖直方向所受合力为零, 该系统动量守恒; B 图中在弹簧恢

复原长的过程中,系统在水平方向始终受墙的作用力,系统动量不守恒;C图中木球与铁球的系统所受合力为零,系统动量守恒;D图中木块下滑过程中,斜面始终受到挡板的作用力,系统动量不守恒。

- 4 对 a 、 A : $mv = mv_a' + p_A$; 对 b 、 B : $mv = p_B$; 对 c 、 C : $mv = -mv_c' + p_C$, 所以 $p_C > p_B > p_A$ 。
- 5 由题中图像可知,整个碰撞过程是运动的 a 球去碰撞静止的 b 球,碰撞后 a 球反向运动, b 球向前运动。由图像可得碰撞前后 a 球的速度分别为 $2v_0$ 、 $-v_0$, b 球碰后的速度为 v_0 , 由动量守恒定律可得 $m_a \cdot 2v_0 = m_a(-v_0) + m_b v_0$, 解得 $\frac{m_a}{m_b} = \frac{1}{3}$ 。
- 6 规定向右为正方向,则由动量守恒定律,有 $0 = Mv_B - (M + m)v_A$, 得 $\frac{v_A}{v_B} = \frac{M}{M + m}$, 故选 C。
- 7 设炮艇发射炮弹前质量为 M , 速度大小为 v_0 , 发射炮弹的质量均为 m , 相对地面的速度大小均为 v , 发射炮弹后炮艇的速度大小为 v' , 选炮艇的运动方向为正方向, 则由动量守恒定律得: $Mv_0 = (M - 2m)v' + mv - mv$, 即 $Mv_0 = (M - 2m)v'$, 可知选项 A 正确。
- 8 两车碰撞过程中尽管受到地面的摩擦力作用, 但远小于相互作用的内力(碰撞力), 所以动量守恒。依题意, 碰撞后两车以共同速度向南滑行, 即碰撞后系统的总动量方向向南。设长途客车和卡车的质量分别为 m_1 、 m_2 , 撞前的速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 撞后共同速度为 v , 选定向南为正方向, 根据动量守恒定律有 $m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2)v$, 又 $v > 0$, 则 $m_1 v_1 - m_2 v_2 > 0$, 代入数据解得 $v_2 < \frac{m_1}{m_2} v_1 = 10 \text{ m/s}$ 。
- 9 物体落入沙子中, 系统水平方向动量守恒, 由 $(M + m)v = Mv_0$ 可得小车最终速度 $v = \frac{Mv_0}{M + m} = 4 \text{ m/s}$ 。
- 10 设木块质量为 m_1 , 一颗铅弹质量为 m_2 , 则第一颗铅弹射入, 有 $m_1 v_0 - m_2 v = (m_1 + m_2)v_1$, 代入数据可得 $\frac{m_1}{m_2} = 15$, 设再射入 n 颗铅弹木块停止, 有 $(m_1 + m_2)v_1 - nm_2 v = 0$, 解得 $n = 8$ 。

第4节 碰撞

高考通关训练

正文 P35

答案

- 1 D 2 A 3 B 4 B 5 C
6 D 7 ABD 8 A 9 A 10 AC

- 11 (1) 设 B 车的质量为 m_B , 碰后加速度大小为 a_B 。根据牛顿第二定律有 $\mu m_B g = m_B a_B$ 。①
式中 μ 是汽车与路面间的动摩擦因数。
设碰撞后瞬间 B 车速度的大小为 v_B' , 碰撞后滑行的距离为 s_B 。由运动学公式有 $v_B'^2 = 2a_B s_B$ 。②
联立①②式并利用题给数据得 $v_B' = 3.0 \text{ m/s}$ 。③
(2) 设 A 车的质量为 m_A , 碰后加速度大小为 a_A 。根据牛顿第二定律有 $\mu m_A g = m_A a_A$ 。④
设碰撞后瞬间 A 车速度的大小为 v_A' , 碰撞后滑行的距离为 s_A 。由运动学公式有 $v_A'^2 = 2a_A s_A$ 。⑤
设碰撞前的瞬间 A 车速度的大小为 v_A 。两车在碰撞过程

中动量守恒, 有 $m_A v_A = m_A v_A' + m_B v_B'$ 。⑥

联立③④⑤⑥式并利用题给数据得 $v_A = 4.3 \text{ m/s}$ 。

- 12 假如两物块发生的是完全非弹性碰撞, 碰后的共同速度为 v_1 , 则由动量守恒定律有 $m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v_1$, 碰后 A 、 B 一起滑行直至停下, 设滑行时间为 t_1 , 则由动量定理有 $\mu(m_1 + m_2)gt_1 = (m_1 + m_2)v_1$, 解得 $t_1 = 0.25 \text{ s}$ 。
假如两物块发生的是弹性碰撞, 碰后 A 、 B 的速度分别为 v_A 、 v_B , 则由动量守恒定律有 $m_1 v_0 = m_1 v_A + m_2 v_B$,
由机械能守恒有 $\frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}m_1 v_A^2 + \frac{1}{2}m_2 v_B^2$ 。
设碰后 B 滑行的时间为 t_2 , 则 $\mu m_2 g t_2 = m_2 v_B$, 解得 $t_2 = 0.5 \text{ s}$ 。
可见, 碰后 B 在水平面上滑行的时间 t 满足 $0.25 \text{ s} \leq t \leq 0.5 \text{ s}$ 。

- 13 (1) 由题意, $p_A' = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 根据动量守恒定律 $p_A + m_B v_B = p_A' + m_B v_B'$, 解得 $v_B' = 8 \text{ m/s}$ 。
(2) 设 A 球质量为 m_A , A 球能追上 B 球并与之碰撞, 应满足 $v_A = \frac{p_A}{m_A} > v_B$, 碰撞后 A 球不可能运动到 B 球前方, 所以 $v_A' = \frac{p_A'}{m_A} \leq v_B'$, 碰撞过程中系统能量不可能增加, 有 $\frac{p_A'^2}{2m_A} + \frac{1}{2}m_B v_B'^2 \leq \frac{p_A^2}{2m_A} + \frac{1}{2}m_B v_B^2$, 联立解得 $\frac{1}{4} \text{ kg} \leq m_A \leq \frac{3}{7} \text{ kg}$ 。

解析

- 1 使碰撞前的动能尽可能多地转化为内能, 也就是在碰撞过程中损失的机械能尽可能多, 在完全非弹性碰撞中, 碰撞后两粒子粘在一起时, 粒子损失的机械能最多。而在碰撞过程中遵循动量守恒定律, 可知若碰撞前系统的总动量为零, 则碰撞后系统的总动量亦为零, 所以本题关键是设法使这两个重离子在碰撞前瞬间具有大小相等方向相反的动量, 这样可以保证碰撞后粒子的动能最小, 从而使更多的动能转化为内能, D 选项正确。
- 2 子弹射入木块的时间极短(来不及压缩弹簧), 可认为子弹和木块组成的系统动量守恒, 根据动量守恒定律有 $mv_0 = (M + m)v$, 解得 $v = \frac{mv_0}{M + m}$; 木块第一次回到原来位置的速度大小, 等于子弹击中木块后瞬间的速度大小 v , 根据动量定理可得, 木块被子弹击中前到第一次回到原来位置的过程中合外力的木块的冲量 $I = Mv = \frac{mMv_0}{m + M}$ 。
- 3 根据系统的动量守恒可知 $mv_1 = mv_1' + mv_2'$, 解得 $v_2' = 2 \text{ m/s}$, 故选项 B 正确。
- 4 小木块在木箱内粗糙的底板上克服摩擦力做功, 最终两者达到相同速度后一起运动, A、C 选项错误。根据动量守恒定律有: $Mv_0 = (M + m)v$, 得 $v = \frac{Mv_0}{M + m}$, 方向与初速度 v_0 方向一致, B 选项正确, D 选项错误。
- 5 设碰前 A 球的速度为 v_0 , 两个弹性小球发生正碰, 当两者速度相同时, 弹性势能最大, 由动量守恒定律得 $mv_0 = 2mv$, 由机械能守恒得 $E_p = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2} \times 2mv^2$, 解得 $v_0 = 2\sqrt{\frac{E_p}{m}}$, C 选项正确。
- 6 弹性碰撞中系统动量守恒、动能守恒, 选向右为正方向, 设碰后 A 的速度为 v_1 , B 的速度为 v_2 , 则 $m \cdot 2v_0 - 2mv_0 = mv_1 + 2mv_2$, $\frac{1}{2}m(2v_0)^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2} \times 2mv_2^2$, 解得 $v_1 = -2v_0$, $v_2 = v_0$, 选项 D 正确。

- 7 碰撞后总动能不可能增加, A 正确, C 错误。由 $p = \sqrt{2mE_k}$, 得 B 正确。由碰撞过程动量守恒知 D 正确。
- 8 碰撞后, A 球的动量增量为 $-4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 则 B 球的动量增量为 $4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 所以 A 球的动量为 $2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, B 球的动量为 $10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 即 $m_A v_A = 2 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $m_B v_B = 10 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。且 $m_B = 2m_A$, 则 $\frac{v_A}{v_B} = \frac{2}{5}$ 。且碰撞后, 原来在右边的小球的速度大于在左边小球的速度, 故 A 球在左边。选项 A 正确。
- 9 用刻度尺量出碰前白球间距为 0.6 cm , 碰后白球、灰球间距为 0.35 cm 。因为时间间隔相同, 所以可以用这些间距的平方来表示动能, 碰前的动能为 0.6^2 , 碰撞过程中系统损失的动能为 $(0.6^2 - 2 \times 0.35^2)$, 后者除以前者, 得出结论为 31.94% , 即 A 正确。
- 10 碰撞的过程中满足三个条件: 动量守恒、总动能不增加、符合物体的实际运动情况。易判断四个选项中动量均守恒。初状态总动能 $E_1 = \frac{p_1^2}{2m} + \frac{p_2^2}{2m} = \frac{74}{2m}$ 。A 项末状态总动能 $E_2 = \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m} = \frac{72.5}{2m}$, 动能不增加, 但 A 项甲球速度大于乙球, 故 A 不可能。B 项末状态的总动能 $E_2 = \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m} = \frac{72}{2m}$, 动能不增加, 故 B 项可能。C 项末状态总动能 $E_2 = \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m} = \frac{80}{2m}$, 动能增加, 故 C 项不可能。D 项末状态总动能 $E_2 = \frac{p_1'^2}{2m} + \frac{p_2'^2}{2m} = \frac{72.5}{2m}$, 动能不增加, 故 D 项可能。

第5节 反冲运动 火箭

高考通关训练

正文 P41

答案

- 1 C 2 A 3 A 4 CD 5 D
6 D 7 C 8 B

- 9 (1) 由动量守恒定律得 $0 = (m_1 + m_2 - \Delta m)v_{\text{船}} - \Delta m v_1$, 解得 $v_{\text{船}} = \frac{\Delta m v_1}{m_1 + m_2 - \Delta m}$ 。
(2) 对喷射出的气体运用动量定理得 $F \Delta t = \Delta m v_1$, 解得 $F = \frac{\Delta m v_1}{\Delta t}$, 由牛顿第三定律得, 小船所受气体的平均作用力大小 $F' = F = \frac{\Delta m v_1}{\Delta t}$ 。

- 10 当小车不固定时, 小球被弹出, 由于反冲, 小车将同时获得反向速度。从地面上看, 设小球第一次被弹出时, 速度为 v , 小球第二次被弹出时, 速度为 v' , 同时设小车速度为 V 。则根据动量守恒和机械能守恒有

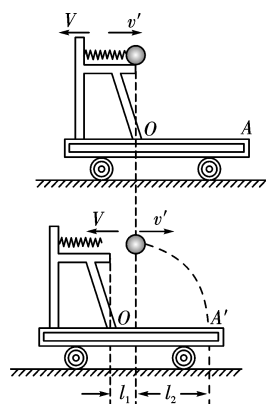
$$-MV + mv' = 0, \quad (1)$$

$$\frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}mv'^2 = \frac{1}{2}mv^2. \quad (2)$$

$$\text{联立解得 } v' = \sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot v, \quad (3)$$

$$V = \frac{m}{M} \cdot \sqrt{\frac{M}{M+m}} \cdot v. \quad (4)$$

如图所示, 所求距离 $OA' = l_1 +$



第10题图

$l_2 = V \cdot t + v' \cdot t$, 其中 t 为小球飞行时间。

将③④式代入, 得 $OA' = \sqrt{\frac{M+m}{M}} \cdot vt$,

依题意 $vt = l$, 故 $OA' = \sqrt{\frac{M+m}{M}} \cdot l$ 。

- 11 设甲车(包括人)滑下斜坡后速度为 v_1 , 由机械能守恒定律有 $(m_1 + M)gh = \frac{1}{2}(m_1 + M)v_1^2$, 其中 $h = \frac{2v_0^2}{g}$, 解得 $v_1 = 2v_0$ 。
设人跳离甲车的水平速度(相对地面)为 v , 人跳离甲车和跳上乙车后, 两车的速度分别为 v_1' 和 v_2' , 由动量守恒定律有 $(M + m_1)v_1 = Mv + m_1v_1'$, $Mv - m_2v_0 = (M + m_2)v_2'$, 解得 $v_1' = 6v_0 - 2v$, $v_2' = \frac{1}{2}v - \frac{1}{2}v_0$ 。
两车不可能发生碰撞的临界条件是 $v_1' = \pm v_2'$,
当 $v_1' = v_2'$ 时, 解得 $v = \frac{13}{5}v_0$,
当 $v_1' = -v_2'$ 时, 解得 $v = \frac{11}{3}v_0$,
故 v 的取值范围为 $\frac{13}{5}v_0 \leq v \leq \frac{11}{3}v_0$ 。

- 12 (1) 设第一个小球射入后再弹出时, 小车的速度为 v_1 。取水平向右为正方向, 由动量守恒定律有 $mv_0 - p = mv_1 + p$, 解得 $v_1 = v_0 - \frac{2p}{m}$ 。
(2) 设第二个小球射入后再次弹出时, 小车的速度为 v_2 , 由动量守恒定律有 $mv_1 - p = mv_2 + p$, 解得 $v_2 = v_1 - \frac{2p}{m}$, 同理可推得, 第三个小球射入后再弹出时, 小车的速度为 $v_3 = v_2 - \frac{2p}{m}$, 由此可见, 每个小球射入后再弹出时, 小车的速度总是减小, 且减小量均为 $\Delta v = \frac{2p}{m}$ 。到小车停止运动, 共射入小球的总数为 $n = \frac{v_0}{\Delta v} = \frac{mv_0}{2p}$ 。从第一个小球射入开始到小车停止运动所需时间为 $t = n\Delta T = \frac{mv_0}{2p}\Delta T$ 。

解析

- 1 由动量守恒定律有 $mv_0 = (M - m)v$, 解得 $v = \frac{m}{M - m}v_0$ 。
2 烧断细线后, 物体 A、B 在水平方向上的动量守恒, 有 $m_A v_A + m_B v_B = 0$, 由 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 及 $m_A = 2m_B$ 解得 $E_{kA} : E_{kB} = 1 : 2$ 。
3 设甲、乙两运动员的质量分别为 $m_{\text{甲}}$ 、 $m_{\text{乙}}$, 由于甲、乙相遇时用力推对方的过程中动量守恒, 故该过程中甲、乙两运动员动量变化量的大小相等, 即有 $m_{\text{甲}} \cdot \Delta v_{\text{甲}} = m_{\text{乙}} \cdot \Delta v_{\text{乙}}$, 其中 $\Delta v_{\text{甲}} = (1.5 + 1.5) \text{ m/s} = 3 \text{ m/s}$, $\Delta v_{\text{乙}} = (2.5 + 1.5) \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$, 故 $m_{\text{甲}} : m_{\text{乙}} = 4 : 3$ 。
4 根据人船模型易得滑块的位移为 $\frac{m}{M+m}L$, 蜗牛运动的距离为 $\frac{M}{M+m}L$, 选项 C、D 均正确。
5 对卫星与箭体的分离过程, 由动量守恒定律有 $(m_1 + m_2)v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$, 解得 $v_1 = v_0 + \frac{m_2}{m_1}(v_0 - v_2)$ 。选项 A、B、C 错误, D 正确。
6 挡板挡住 A 球时, 弹簧的弹性势能全部转化为 B 球的动能, 有 $E_p = \frac{1}{2}mv_B^2$, 挡板撤走后, 弹性势能会被两球平分, 则有 $E_p = 2 \times \frac{1}{2}mv_B'^2$, 由以上两式解得 $v_B' = \frac{\sqrt{2}}{2}v_B$, 从而可知。

D 对。

7 由水平方向上动量守恒可知 $0 = m_2 v_0 \cos \theta - (m_1 - m_2) v$,

$$v = \frac{m_2 v_0 \cos \theta}{m_1 - m_2}。选项 C 正确。$$

8 由人船模型知 $ms_1 = 2ms_2$, 且 $s_1 + s_2 = R$ 。所以大球移动的距离 $s_2 = \frac{R}{3}$ 。

第十六章 单元复习方案

测评·高考模拟卷

正文 P46

答案

- 1 A 2 B 3 A 4 C 5 B
6 A 7 A 8 D 9 AD 10 BD
11 (1) BCD (2) A

12 (1) 光电门 E、F 间的水平距离 (2) $m_A \frac{L}{t_A} - m_B \frac{x}{t_B} = 0$ (3) $\frac{1}{2} m_A \left(\frac{L}{t_A} \right)^2 + \frac{1}{2} m_B \left(\frac{x}{t_B} \right)^2$

13 以 m 、 v 和 v' 分别表示垒球的质量、垒球在打击过程始、末瞬时速度的大小, 球棒与垒球的作用时间为 t , 球棒对垒球的平均作用力的大小为 f , 取力的方向为正方向, 按动量定理有

$$ft = mv' - m(-v)。 \quad ①$$

垒球在与球棒碰撞后, 以速率 v' 做平抛运动。令打击点高度为 h , 垒球落地点与打击点的水平距离为 x , 则按平抛运动规律有

$$x = v't', \quad ②$$

$$h = \frac{1}{2}gt'^2。 \quad ③$$

式中, t' 是垒球做平抛运动的时间。

由②③式得 $v' = x \sqrt{\frac{g}{2h}}。 \quad ④$

由①④式得 $f = \frac{m}{t} \left(x \sqrt{\frac{g}{2h}} + v \right)。$

代入数据得 $f = 900 \text{ N}$ 。

14 当木块恰好滑到木板的右端时, 两者速度相等, 则 I 最小,

由系统动量守恒: $mv_0 = (m + M)v_1$, 解得 $v_1 = \frac{1}{6}v_0$, 又

$$\mu mgL = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(m + M)v_1^2, \text{ 得 } v_0 = \sqrt{6} \text{ m/s}, \text{ 由动量定理得: } I = mv_0 = \sqrt{6} \text{ N} \cdot \text{s}。$$

15 (1) 碰撞过程中系统动能最小时, 为两物体速度相等时, 设此时两物体速度为 v , 由系统动量守恒有 $2mv_0 = 3mv$, 得 $v = \frac{2}{3}v_0$, 此时系统动能 $E_k = \frac{1}{2}(3m)v^2 = \frac{2}{3}mv_0^2$ 。

(2) 设第一次碰撞刚结束时甲、乙的速度分别为 v_1 、 v_2 , 之后甲做匀速直线运动, 乙以初速度 v_2 做匀减速直线运动, 在乙刚停下时甲追上乙并发生碰撞, 因此两物体在这段时间内平均速度相等, 有 $v_1 = \frac{v_2}{2}$, 而第一次碰撞中系统动量守恒, 有 $2mv_0 = 2mv_1 + mv_2$,

$$\text{由以上两式可得 } v_1 = \frac{v_0}{2}, v_2 = v_0,$$

所以第一次碰撞中的机械能损失量为

$$E = \frac{1}{2}(2m)v_0^2 - \frac{1}{2}(2m)v_1^2 - \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{4}mv_0^2。$$

解析

1 由动量定理得 $Ft = mv_1 - 0$, 解得 $F = 180 \text{ N}$ 。

2 在小船和人相互作用的过程中, 由于不计水的阻力, 所以小船和人组成的系统动量守恒, 且由题意可知系统初动量为零。故人向右走, 船向左运动, 人停船也停。相对于人的起始位置, 船尾在左边, 人在右边。

3 由 $Ft = mv$ 得 $m = \frac{Ft}{v}$ 。

4 设 A 球以速度 v 水平射向静止的 B 球, 碰撞后两小球粘在一起运动的速度为 v' , 有: $mv = 2mv'$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 2mv'^2 + E$, 解得: $v = 2\sqrt{\frac{E}{m}}$, 选项 C 正确。

5 在乙推甲的过程中, 忽略运动员与冰面间在水平方向上的相互作用, 则两人组成的系统所受到的合力为 0, 系统动量守恒, 故甲、乙的动量变化大小相等、方向相反。

6 力 F 在 1.5 s 内的冲量 $I = (20 \times 1 - 20 \times 0.5) \text{ N} \cdot \text{s} = 10 \text{ N} \cdot \text{s}$, 由 $I = \Delta p = mv$ 得 $v = 10 \text{ m/s}$, A 正确。

7 设碰前 B 球的速度大小为 v_0 , 碰后 A、B 两球的速度大小分别为 v_A 、 v_B , 分析题意可知, 碰后 A 球的速度方向向左, B 球的速度方向向右, 且 $v_A = v_B = \frac{1}{3}v_0$, 两球在碰撞过程中动量守恒, 取水平向右为正方向, 有 $-m_B v_0 = -m_A v_A + m_B v_B$, 解得 $m_A : m_B = 4 : 1$ 。

8 两小球下降过程为自由落体运动, 触地时两球速度相同, $v = \sqrt{2gh}$, B 球碰撞地之后, 速度瞬间反向, 大小相等, 选 A 与 B 碰撞过程进行研究, 碰撞前后动量守恒, 设碰后 A、B 速度大小分别为 v_1 、 v_2 , 选竖直向上方向为正方向, 则 $m_2 v - m_1 v = m_1 v_1 + m_2 v_2$, 由能量守恒定律得 $\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2}m_1 v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 v_2^2$, 且 $m_2 = 3m_1$, 联立解得 $v_1 = 2v = 2\sqrt{2gh}$, $v_2 = 0$, 故小球 A 反弹后能达到的高度为 $H = \frac{v_1^2}{2g} = 4h$, D 正确。

9 由题图可知, 滑块 I、II 碰前的速度及它们正碰后共同运动的速度分别为 $v_1 = 0.8 \text{ m/s}$ 、 $v_2 = -2 \text{ m/s}$ 、 $v = 0.4 \text{ m/s}$, 故碰前滑块 I 比滑块 II 速度小; 由动量守恒可知 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)v$, 解得 $\frac{m_1}{m_2} = 6$, 由 $p = mv$ 可知, 碰前滑块 I 的动量比滑块 II 的动量大; 由 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 可知, 碰前滑块 I 的动能比滑块 II 的动能小。

10 由 $I = Ft$, 弹簧对 A、B 的冲量大小相等、方向相反, A 错误; A 离开弹簧前, 由 $mv = (m + 2m)v_1$, 得 $v_1 = \frac{1}{3}v$, 弹簧的最大弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}(m + 2m)v_1^2 = \frac{1}{3}mv^2$, B 正确; A 离开弹簧后, 由 $mv = mv_A + 2mv_B$, $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2} \cdot 2mv_B^2$, 得 $v_A = -\frac{1}{3}v$, $v_B = \frac{2}{3}v$, 故弹簧对 B 的冲量 $I_B = 2mv_B = \frac{4}{3}mv$, C 错误, D 正确。

11 (1) 由实验原理可知, 需要测小球质量, 测 OM、OP、ON 距离, 为准确确定落点, 用圆规把多次实验的落点用尽可能小的圆圈起, 把圆心作为落点, 所以需要天平、刻度尺、圆规。(2) 根据动量守恒定律有: $m_A OP = m_A OM + m_B ON$, 即 $m_A(OP - OM) = m_B ON$, A 正确。

第十七章

波粒二象性

第1节 能量量子化

高考通关训练

正文 P53

答案

- 1 A 2 AD 3 A 4 B 5 C 6 A
7 A 8 ABD 9 B 10 D 11 B

解析

- 1 根据黑体辐射电磁波波长分布的决定因素得,其只与温度有关。
- 2 温度升高,各种波长的辐射强度都有增加,A正确,B、C错误。随着温度的升高,辐射强度的极大值向较短波长方向移动,D正确。
- 3 由光速、波长的关系可得出光的频率 $\nu = \frac{c}{\lambda}$,从而 $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$,故 A 选项正确。
- 4 量子的能量 $\varepsilon = h\nu$,由光的频率 $\nu_{\text{红}} < \nu_{\text{黄}} < \nu_{\text{绿}} < \nu_{\text{紫}}$ 知,红光光子能量最小,选项 B 正确。
- 5 根据辐射规律可知,随着温度的升高,各种波长的辐射强度都增加;随着温度的升高,辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,人的体温的高低,直接决定了这个人辐射的红外线的频率和强度,通过监测被测者辐射的红外线的情况就可知道这个人的体温,选项 C 正确。
- 6 每秒有 6 个绿光的能量子射入瞳孔,所以察觉到绿光时所接收到的最小功率为
- $$P = \frac{n \frac{hc}{\lambda}}{t} = \frac{6 \times \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{530 \times 10^{-9}}}{1} \text{ W} \approx 2.3 \times 10^{-18} \text{ W}.$$
- 7 每个能量子的能量 $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$,每秒钟发射光子的总能量为 P ,则 $n = \frac{P}{\varepsilon} = \frac{\lambda P}{hc}$ 。
- 8 根据普朗克能量子假说,带电粒子的能量只能是某一最小能量值 ε 的整数倍,能量的辐射、吸收要一份份地进行,故 A、B、D 正确。
- 9 所有物体均向外辐射电磁波,A 错,热辐射强度也与材料种类及表面状况有关,C 错。
- 10 由题图可知,水对红外辐射吸收率最低的波长范围是 8 ~ 13 μm ;二氧化碳对红外辐射吸收率最低的波长范围是 5 ~ 13 μm 。综上可知,应选 D。
- 11 根据公式 $\nu = kU$ 可知,比例系数的单位应该是 $\frac{1}{\text{V} \cdot \text{s}}$,而 A 选项的单位 $1 \frac{\text{J} \cdot \text{s}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{V} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}{\text{C}} = 1 \text{V} \cdot \text{s}$,则 A 选项错误;同理可知 B 选项的单位是 $1 \frac{\text{C}}{\text{J} \cdot \text{s}} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{C} \cdot \text{s}} = 1 \frac{1}{\text{V} \cdot \text{s}}$,故 B 选项正确;同理可知 C、D 选项错误。

第2节 光的粒子性

高考通关训练

正文 P60

答案

- 1 A 2 A 3 CD 4 A 5 D
6 D 7 AB 8 BC 9 B 10 B
11 B 12 A C BD

解析

- 1 由 $E = h\nu, c = \lambda\nu$ 得 $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$,可见光子的能量与其频率成正比、与其波长成反比,A 正确,B 错误。由于任意能量的光子在真空中传播的速度都是相同的,故 C、D 皆错误。
- 2 硅光电池是利用光照产生电能,即把光能转化为电能,A 选项正确;吸收了光子能量的电子未必都向物体的表面运动而逸出,其运动方向是随机的,也可能向着物体内部运动而不能逸出,B 选项错误;由光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$,逸出功 W_0 一定时,光电子的最大初动能随入射光的频率增大而增大,C 选项错误;每一种金属都存在一个极限频率 ν_0 ,当满足 $h\nu \geq W_0$ 时才能让电子逸出,所以当照射光的频率 $\nu \geq \nu_0$ 时,才能产生光电效应,D 选项错误。
- 3 碰撞后光子改变原来的运动方向,但传播速度不变,光子由于在与电子碰撞中损失能量,因而频率减小,即 $\nu_1 > \nu_2$,再由 $c = \lambda\nu_1 = \lambda\nu_2$,得到 $\lambda_1 < \lambda_2$,故选项 C、D 正确。
- 4 设能量为 2.5 eV 光子照射时,光电子的最大初动能为 $\frac{1}{2}mv^2$,阴极材料的逸出功为 W ,据爱因斯坦光电效应方程有: $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - W$ 。①
- 题图中光电管上加的是反向电压,据题意,当反向电压达到 $U = 0.6 \text{ V}$ 以后,具有最大初动能的光电子也不能达到阳极,因此 $eU = \frac{1}{2}mv^2$ 。②
- 由①②得 $W = h\nu - eU = 2.5 \text{ eV} - 0.6 \text{ eV} = 1.9 \text{ eV}$,故选项 A 正确。
- 5 光源发出的光中都含有比极限波长更短的光,所以都能产生光电效应,故选项 D 正确,选项 A、B、C 错误。
- 6 逸出功 W_0 是由金属的材料性质决定的,与入射光的频率和强度无关,选项 A 错误;由光电效应方程 $E_{k\text{m}} = h\nu - W_0$ 可知,最大初动能随入射光频率的增大而增大,而与入射光强度无关,同时结合图像可知,图线的斜率为 h ,选项 B 错误、D 正确;只有入射光的频率大于极限频率时,即 $\nu > \nu_0$ 时才会发生光电效应现象,选项 C 错误。
- 7 本题考查对光电效应现象、对逸出功概念的理解、对光电效应方程的应用。该金属的极限频率为 ν_0 ,则可知逸出功 $W_0 = h\nu_0$,逸出功由金属自身性质决定,与照射光的频率无关,因此 C 错误,由光电效应的规律可知 A 正确,由光电效应方程 $E_{k\text{m}} = h\nu - W_0$,将 $W_0 = h\nu_0$ 代入可知 B 正确,D 错误,因此本题正确选项为 A、B。
- 8 根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 知选项 A 错误。光电效应由爱因斯坦用光子说观点成功解释,所以光电效应揭示了光的粒子性,选项 B 正确。根据光电效应实验规律,选项 C 内容是正确的。产生光电效应的条件是照射光的频率大于极限频率,跟照射时间无关,选项 D 错误。
- 9 同频率的光照射阴极 K,普通光不能使其发生光电效应,而强激光能使其发生光电效应,说明一个电子吸收了多个光子。设吸收的光子个数为 n ,光电子逸出的最大初动能为 E_k ,由光电效应方程知: $E_k = nh\nu - W (n \geq 2)$;光电子逸出后克服电场力做功,由动能定理知 $E_k = eU$,联立上述两式得 $U = \frac{nh\nu}{e} - \frac{W}{e}$,当 $n = 2$ 时,即为 B 选项,其他选项均不可能。
- 10 当反向电压 U 与入射光频率一定时,光电流 i 与光强成正比,所以 A 图正确;频率为 ν 的入射光照射阴极所发射出的光电子的最大初动能为 $\frac{1}{2}mv_{\text{m}}^2 = h\nu - W$,而截止电压 U_0 与

最大初动能的关系为 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_m^2$, 所以截止电压 U_0 与入射光频率 ν 的关系是 $eU_0 = h\nu - W$, 其函数图像不过原点, 所以 B 图错误, 选项 B 符合题意; 当光强与入射光频率一定时, 单位时间内单位面积上逸出的光电子数及其最大初动能是一定的, 所形成的光电流强度会随反向电压的增大而减小, 所以 C 图正确; 根据光电效应的瞬时性规律, 不难确定 D 图是正确的。

- 11 当光电管两端加上反向截止电压, 光电流为零时, 则由动能定理 $\frac{1}{2}mv_m^2 - 0 = eU_c$, 对同一光电管(逸出功 W 相同)使用不同频率的光照射, 有 $h\nu - W = \frac{1}{2}mv_m^2$, 两式联立可得 $h\nu - W = eU_c$, 丙光的反向截止电压最大, 则丙光的频率最大, A、C 错误, 又 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 可见 $\lambda_{丙} < \lambda_{乙}$, B 正确; 又由 $h\nu - W = \frac{1}{2}mv_m^2$ 或由 $\frac{1}{2}mv_m^2 - 0 = eU_c$ 可知丙光对应的光电子最大初动能最大, D 错误。
- 12 光子的能量由光的频率决定, 同一束单色光频率相同, 因而光子能量相同。逸出功等于电子脱离原子核束缚需要做的最少的功, 因此只由材料决定, 锌片和银片的光电效应中, 光电子的逸出功一定不相同。由 $E_{km} = h\nu - W_0$, 照射光的光子能量 $h\nu$ 相同, 逸出功 W_0 不同, 则电子最大初动能不同。由于光电子吸收光子后到达金属表面的路径不同, 途中损失的能量也不同, 因而脱离金属时的初动能分布在零到最大初动能之间。所以, 在两个不同光电效应过程中, 光电子的初动能是可能相等的。

第3节 粒子的波动性

高考通关训练

正文 P65

答案

- 1 C 2 BD 3 AB 4 C 5 ABD
6 ABC 7 A 8 BD 9 D 10 C
11 D

- 12 (1) 光子的动量为 p , 由动量守恒定律知反冲核的动量大小也为 p 。由 $p = \frac{h}{\lambda} = Mv$, 得 $v = \frac{h}{\lambda M}$ 。
(2) 反冲核的物质波的波长 $\lambda' = \frac{h}{Mv} = \lambda$ 。

解析

- 1 因为色散现象说明的是白光是由各种单色光组成的复色光, 故 A 错, 由于反射现象并非波动所独有的性质, 故 B 错, 直线传播并非波动所独有, 且光电效应说明光具有粒子性, 故 D 错。只有衍射现象和偏振现象为波动所独有的性质, 所以 C 正确。
- 2 根据德布罗意物质波理论知, 任何一个运动的物体, 小到电子、质子, 大到行星、太阳, 都有一种波与之相对应, 这种波叫作物质波, 可见, A 选项是正确的; 由于 X 射线本身就是一种波, 而不是实物粒子, 故 X 射线的衍射现象, 并不能证实物质波理论的正确性, 故 B 选项错误; 电子是一种实物粒子, 电子的衍射现象表明运动着的实物粒子具有波动性, 故 C 选项是正确的; 由电子穿过铝箔的衍射实验知, 少量电子穿过铝箔后所落位置是散乱的, 无规律的, 但大量电子穿过铝箔后落的位置则呈现出衍射图样, 即大量电子的行为表现出电子的波动性, 干涉、衍射是波的特有

现象, 只要是波, 都会发生干涉、衍射现象, 故 D 选项错误。综合以上分析知, 本题应选 B、D。

- 3 光的粒子性可通过康普顿效应和光电效应揭示, 所以 A、B 正确。
- 4 由德布罗意波长 $\lambda = \frac{h}{p}$ 知二者的动量应相同, 故 C 正确; 由 $p = mv$ 可知二者速度不同, $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$, 二者动能不同, 由 $E = mc^2$ 可知总能量也不同, A、B、D 均错。
- 5 个别光子的行为表现为粒子性, 大量光子的行为表现为波动性, A 选项正确; 光与物质作用, 表现为粒子性, 光的传播表现出波动性, 光的波动性与粒子性都是光的本质属性, 因为波动性表现为粒子的分布概率, 光的粒子性表现明显时仍具有波动性, 因为大量粒子的个别行为呈现出波动规律, B、D 选项正确。
- 6 电子束具有波动性, 通过双缝实验装置后可以形成干涉图样, 选项 A 正确。人们利用慢中子衍射来研究晶体的结构, 体现出波动性, 选项 B 正确。电子显微镜是利用电子束工作的, 体现了波动性, 选项 C 正确。光电效应实验, 体现的是波的粒子性, 选项 D 错误。
- 7 因金属的逸出功 $W = h\nu_0$, 根据爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W$ 可知, 从钾表面飞出的光电子初动能大, 从钙表面飞出的光电子初动能小, 此时光电子的能量 E 小, 由 $\lambda = \frac{hc}{E}$ 可知, 从钙表面溢出的光电子具有较大的波长, 选项 A 正确。

- 8 光电效应体现光的粒子性, A 错误; 肥皂泡看起来是彩色的, 这是薄膜干涉现象, 体现光的波动性, B 正确; 由于小球的德布罗意波长太小, 很难观察到其波动性, C 错误; 人们利用热中子的衍射现象研究晶体结构, 所以能够体现波动性, D 正确。

- 9 Δt 时间内太阳帆板接收的光子数为 $N = nS \cdot \Delta t$, 光子的总动量为 $p_1 = nS \cdot \Delta t \cdot \frac{h}{\lambda}$, 反射后光子的总动量为 $p_2 = p_1$, 方向两者相反, 由 $F = \frac{p_2 - p_1}{\Delta t}$ 得 $F = \frac{2nSh}{\lambda}$, 由牛顿第二定律得 $a = \frac{F}{m} = \frac{2nhS}{m\lambda}$, 故 D 对。

- 10 由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 知热中子动量 $p = \frac{h}{\lambda}$, 又 $p^2 = 2mE_k$, 所以热中子动能 $E_k = \frac{p^2}{2m} = \frac{h^2}{2\lambda^2 m} = \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{2 \times (1.82 \times 10^{-10})^2 \times 1.67 \times 10^{-27}} \text{ J} \approx 4 \times 10^{-21} \text{ J}$ 。故选项 C 正确。

- 11 根据 $\lambda = \frac{h}{p}$, $p = mv$, 由题意可知 $\lambda = \frac{d}{n} = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$, 则 $v = \frac{nh}{m\lambda d}$ 。电子经过电场加速, 由动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $U = \frac{n^2 h^2}{2med^2}$, 故正确答案为 D。

第4节 概率波

第5节 不确定性关系

高考通关训练

正文 P70

答案

- 1 BCD 2 CD 3 D 4 AD 5 C
6 D 7 C 8 AB 9 BD 10 CD
11 B 12 CD

解析

- 1 声波是机械波, A 错。
- 2 根据经典物理学关于粒子的理论定义得 C、D 项正确。
- 3 电子的德布罗意波是概率波, 无法确定其坐标的准确位置, 故选项 D 正确。
- 4 根据不确定性关系 $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 可知, 当粒子位置不确定性变小, 粒子动量的不确定性变大; 当粒子位置不确定性变大时, 粒子动量的不确定性变小, 故正确答案为 A、D。
- 5 波粒二象性不是指一种物质同时是波又是粒子, 而是指这种物质有时表现为波动性, 有时又表现为粒子性, 选项 A 错误; 少量的粒子体现粒子性, 大量粒子体现波动性, 不是个别光子是粒子, 大量光子是波, 选项 B 错误; 光沿直线传播时表现为粒子性, 发生干涉时表现为波动性, 选项 C 正确; 在光的干涉条纹中, 明条纹是光子到达概率比较高的地方, 暗条纹是光子到达概率比较低的地方, 选项 D 错误。
- 6 光具有波粒二象性, 这些照片说明少量光子的运动显示粒子性, 大量光子的运动显示波动性, 故 D 正确。
- 7 由 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$, 狭缝变小了, 即 Δx 减小了, Δp 变大, 即动量的不确定性变大, 故 C 对。
- 8 得到电子的衍射图样, 说明电子具有波动性, A 正确; 由德布罗意波波长公式 $\lambda = \frac{h}{p}$, 而动量 $p = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2mE_U}$, 两式联立得 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_U}}$, B 正确; 从公式 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_U}}$ 可知, 加速电压越大, 电子的波长越短, 衍射现象就越不明显, C 错误; 用相同动能的质子替代电子, 质子的波长变短, 衍射现象相比电子不明显, 故 D 错误。
- 9 由粒子位置不确定量 Δx 与粒子动量不确定量 Δp 的不确定关系 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$ 可知, 单缝越宽, 位置不确定量 Δx 越大, 动量不确定量 Δp 越小, 所以光沿直线传播, B 正确; 单缝越窄, 位置不确定量 Δx 越小, 动量不确定量 Δp 越大, 所以中央亮纹越宽, D 正确。
- 10 电子的德布罗意波长 $\lambda = \frac{h}{p}$, 选项 B 正确。荧光屏上暗纹的位置是电子到达概率小的位置, 明纹的位置是电子到达概率大的位置, 选项 D 正确。
- 11 $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v_0}$, 当以速率 $2v_0$ 发射电子时, λ 减小, 由 $\Delta x = \frac{L}{d} \lambda$ 知 B 正确。根据题意, 改变发射电子的速率, 但 O 点到两波源光程差为 0, 仍是明条纹, A 错误。若将两个狭缝沿垂直于缝方向移动一小段距离, 屏幕上仍有干涉条纹, 但形成干涉的两列电子波在 O 点的相位差可能是同相, 也可能是反相, 或是其他相位差, C、D 错误。
- 12 根据概率波的概念, 对于一个光子通过单缝落在何处, 是不可确定的, 但概率最大的是落在中央亮纹处, 可达到 95% 以上。当然也可落在其他亮纹处, 还可能落在暗纹处, 不过, 落在暗纹处的概率很小, 故 C、D 正确。

第十七章 单元复习方案

测评·高考模拟卷

正文 P74

答案

- 1 B 2 C 3 D 4 C 5 C

- 6 CD 7 BD 8 D 9 C 10 CD
11 概率 概率 12 5.0×10^{14} 6.4×10^{-34}

- 13 (1) 由于 $p = \frac{h}{\lambda}$, 式中: $\lambda = 10^{-4} \lambda_0 = 4.4 \times 10^{-11} \text{ m}$,
解得: $p = 1.5 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ 。
(2) 电子在电场中加速, 有: $eU = \frac{1}{2}mv^2$,
又: $p = mv$, 解得: $U = 7.7 \times 10^2 \text{ V}$ 。
- 14 根据爱因斯坦光电效应方程, 当用波长为 λ 的单色光 1 照射该金属时, 有: $E_{k_{m1}} = \frac{hc}{\lambda} - W_0$, 当用波长为 $n\lambda$ 的单色光 2 照射该金属时, 有: $E_{k_{m2}} = \frac{hc}{n\lambda} - W_0$, 由题意可知: $\frac{E_{k_{m1}}}{E_{k_{m2}}} = \frac{1}{2}$, 解得: $n = \frac{3}{4}$ 。
- 15 (1) X 射线管阴极上产生的热电子在 20 kV 高压加速下获得的动能全部变成 X 光子的能量时, X 光子的波长最短。
由 $W = Ue = hv = \frac{hc}{\lambda}$ 得 $\lambda = \frac{hc}{Ue} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} \approx 6.2 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。
(2) 高压电源的电功率 $P_1 = UI = 100 \text{ W}$,
每秒产生的 X 光子的能量 $E = \frac{nhc}{\lambda} \approx 0.1 \text{ J}$, 功率 $P_2 = \frac{E}{t} = 0.1 \text{ W}$, 效率为 $\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% = 0.1\%$ 。
- 16 (1) 由于阳极 A 和阴极 K 之间所加电压为反向电压, 由动能定理有: $-eU_{c1} = 0 - \frac{1}{2}mv_{m1}^2$, $-eU_{c2} = 0 - \frac{1}{2}mv_{m2}^2$,
由光电效应方程有: $\frac{1}{2}mv_{m1}^2 = h\nu_1 - W_0$, $\frac{1}{2}mv_{m2}^2 = h\nu_2 - W_0$,
其中 $W_0 = h\nu_c$, 解得: $\nu_c = \frac{U_{c1}\nu_2 - U_{c2}\nu_1}{U_{c1} - U_{c2}}$ 。
(2) 由题意有: $eU_{c1} = h\nu_1 - W_0$, $eU_{c2} = h\nu_2 - W_0$, 解得: $h = \frac{eU_{c1} - eU_{c2}}{\nu_1 - \nu_2}$ 。

解析

- 1 最早发现光电效应的科学家是赫兹。
- 2 康普顿效应证明光具有粒子性, 选项 A 错误; 康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时发现, 在散射的 X 射线中, 有些波长变长了, 选项 B 错误、C 正确; 用经典电磁理论来解释康普顿效应遇到了困难, 康普顿借助于光子理论, 使其得到了圆满地解释, 选项 D 错误。
- 3 一切光都具有粒子性和波动性, 选项 A、B 均错误; 德布罗意指出电子等实物粒子都有自己的物质波, 物质波也是概率波, 光子和电子都是粒子, 可是电子是实物粒子, 有静质量, 光子却没有静质量, 只有动质量, 选项 C 错误; 虽然光都具有波粒二象性, 但是有的光波动性显著, 有的光粒子性显著, 这完全取决于光的频率或波长, 且光的波长越长, 波动性就越显著, 反之, 粒子性就越显著, 选项 D 正确。
- 4 光电效应产生条件是入射光的频率大于极限频率, 而 $\lambda = \frac{c}{\nu}$, 所以入射光的波长必须小于最大波长, 选项 C 正确。
- 5 单个光子的运动路径是不可确定的, 只知道落在 P 处的概率大, 落在 Q 处的概率小, 因此, 一个光子从狭缝通过后可能落在 P 处也可能落在 Q 处。
- 6 a 光照射金属板时, 光电子从金属板逸出, 金属板带正电, 故验电器的金属小球带正电, 选项 A 错误; 当 a 光照射时

验电器的指针偏转, b 光照射时指针未偏转, 说明 a 光的频率大于锌板的极限频率, b 光的频率小于锌板的极限频率, 故 a 光的频率大于 b 光的频率, 选项 C 正确、B 错误; 增大 a 光的强度, 从金属板逸出的光电子增多, 金属板的电荷量增大, 验电器的指针偏角一定增大, 选项 D 正确。

7. 在 $E_k - \nu$ 图像中, 纵坐标截距的绝对值等于金属的逸出功 W_0 , 由图像分析可知, 甲金属的逸出功比乙金属的逸出功小, 结合光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知, 选项 A、C 均错误, B 正确, 由光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知, 普朗克常量 h 为图像的斜率, 选项 D 正确。
8. 由题意知像素越高形成照片的光子数越多, 表现的波动性越强, 照片越清晰, D 项正确。
9. 由光电效应方程 $h\nu - W = \frac{1}{2}mv^2$, 由向心力公式 $evB = m\frac{v^2}{r}$. 由两式可得 $\nu = \frac{W}{h} + \frac{e^2B^2r^2}{2mh}$.
10. 当只调换电源的极性时, 电子从 K 到 A 减速运动, 到 A 恰好速度为零时对应电压为遏止电压, 所以 A 项错误; 当其他条件不变, P 向右滑动, 加在光电管两端的电压增加, 光电子运动更快, 由 $I = \frac{q}{t}$ 得电流表读数变大, 达到饱和值后就不再增大, B 项错误; 只增大光束强度时, 单位时间内光电子数变多, 电流表示数变大, C 项正确。当光束的频率为 f_0 时, 无论 P 怎样滑动, 电流表示数都为零, 说明未飞出光电子, 则有 $W = hf_0$, 所以 f_0 为阴极 K 的极限频率, D 项正确。
12. 由题图可知 $\nu_c = 5.0 \times 10^{14}$ Hz. 又因为 $eU_c = h\nu - W_0$, 所以 $U_c = \frac{h\nu - W_0}{e}$. 结合图线可得 $k = \frac{h}{e} = \frac{2.0}{5.0 \times 10^{14}}$ V/Hz, $h = \frac{2.0 \times 1.6 \times 10^{-19}}{5.0 \times 10^{14}}$ J · s = 6.4×10^{-34} J · s.

第十八章

原子结构

第 1 节 电子的发现

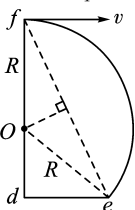
高考通关训练

正文 P79

答案

1. C 2. B 3. D 4. BD
5. AC 6. BD 7. AD 8. B

9. (1) 油滴速度为 v_1 时所受阻力 $f_1 = kv_1$, 油滴向下匀速运动时, 重力与阻力平衡, 有 $f_1 = mg$, $m = \rho V = \frac{1}{6}\pi\rho D^3$, 则 $k = \frac{1}{6v_1}\pi\rho D^3 g$.
- (2) 设油滴所带电荷量为 q , 油滴受到的电场力为 $F_{电} = qE = q\frac{U}{d}$, 油滴向上匀速运动时, 阻力向下, 油滴受力平衡, 则 $kv_2 + mg = q\frac{U}{d}$, 油滴所带电荷量为 $q = \frac{\rho\pi D^3 gd(v_1 + v_2)}{6Uv_1}$.
10. 带电粒子进入电场, 经电场加速, 根据动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv^2$, 则 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$.
- 粒子进入磁场后做匀速圆周运动, 轨迹如图所示。设圆周半径为 R , 在 $\triangle Ode$ 中, 有: $(L - R)^2 + (\frac{L}{2})^2 = R^2$, 整理得: $R = \frac{5}{8}L$.
- 洛伦兹力充当向心力: $qvB = m\frac{v^2}{R}$.



第 10 题图

联立上述方程, 解得: $\frac{q}{m} = \frac{128U}{25B^2L^2}$.

11. (1) B 步骤的目的是使电子刚好落在 M_2 极板右边缘, 利用已知量表示 $\frac{q}{m}$; C 步骤中磁场方向垂直于纸面向外。
- (2) 不正确。电子的比荷是由电子本身的性质决定的, 是电子的固有参数。

解析

1. 阴极射线是原子受到激发而射出的电子流。关于阴极射线是电磁波、X 射线等都是研究阴极射线过程中的一些猜想, 后来经证明都是错的。
2. 阴极射线通过电场或磁场时发生偏转, 说明它是带电的粒子, 不是不带电的电磁波, 只有选项 B 正确。
3. 由物理学史可知 D 正确。
4. 真空中不能发生辉光放电。 U_1 为低压电源, U_2 为高压电源。
5. 实验证明, 阴极射线是电子, 它在电场中偏转时应偏向正电的极板一侧, 可知选项 C 正确, 选项 B 错误。加上磁场时, 电子在磁场中受洛伦兹力作用, 要发生偏转, 因而选项 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, 选项 A 正确。
6. 空气是由多种气体组成的混合气体, 在正常情况下, 气体分子不带电(显中性), 是较好的绝缘体。但在射线、受热及强电场作用下, 空气分子被电离, 才具有导电性能, 且空气密度较大时, 电离的自由电荷很容易与其他空气分子碰撞, 正、负电荷重新复合, 难以形成稳定的放电电流, 因而电离后的自由电荷在稀薄气体环境中导电性能更好, 综上所述, 正确答案为 B、D。
8. 油滴悬浮在两极板间, 由平衡条件得: $q\frac{U}{d} = mg$, 题给已知信息 $v = km$, 联立得: $q = \frac{vdg}{kU}$, 选项 B 正确。
11. (1) 当在荧光屏上看不到亮点时, 电子刚好打在下极板 M_2 的右边缘, 设两极板间距离为 x . 则 $\frac{x}{2} = \frac{qU}{2mx}\left(\frac{d}{v}\right)^2$, 即 $\frac{q}{m} = \frac{x^2v^2}{Ud^2}$, 由此可看出, 这一步(步骤 B)的目的是使粒子在电场中的偏转量成为已知量, 进而表示出粒子的比荷。步骤 C 加上磁场后电子不偏转, 则洛伦兹力等于电场力, 且洛伦兹力方向向上, 由左手定则得磁场方向垂直于纸面向外。
- (2) 由电场力等于洛伦兹力, 有 $q\frac{U}{x} = qBv$, 得 $v = \frac{U}{Bx}$, 把它代入 $\frac{q}{m} = \frac{x^2v^2}{Ud^2}$ 得 $\frac{q}{m} = \frac{U}{B^2d^2}$, 这位同学的说法不对。电子的比荷是电子的固有参数, 与测量时所加 U 、 B 及极板的长度 d 无关。

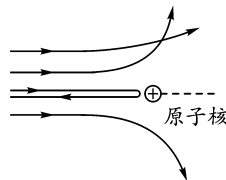
第 2 节 原子的核式结构模型

高考通关训练

正文 P85

答案

1. C 2. D 3. D 4. A 5. A
6. D 7. AD 8. B 9. A
10. α 粒子散射 如图所示



第 10 题图

$$11 \text{ 由动能转化为电势能得 } \frac{1}{2}m_{\alpha}v_{\alpha}^2 = q_{\alpha}\varphi_P, \quad (1)$$

$$\text{又因为 } \varphi_P = \frac{kQ}{r}, \quad (2)$$

由①②得 $r = \frac{2q_{\alpha}kQ}{m_{\alpha}v_{\alpha}^2}$, 其中 Q 为金原子核电荷量 $Q = 79e$, α

粒子电荷量 $q_{\alpha} = 2e$, 将题中数据代入可得 $r \approx 4 \times 10^{-14} \text{ m}$ 。

12 设 α 粒子初速度为 v , 质量为 M , 与电子碰撞后速度为 v_1 , 电子质量为 m , 与 α 粒子碰撞后速度为 v_2 , 由动量守恒定律可得 $Mv = Mv_1 + mv_2$ 。

$$\text{由能量守恒定律可得 } \frac{1}{2}Mv^2 = \frac{1}{2}Mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2。$$

$$\text{联立解得碰撞后 } \alpha \text{ 粒子速度为 } v_1 = \frac{M-m}{M+m}v。$$

$$\alpha \text{ 粒子速度变化量为 } \Delta v = v_1 - v = -\frac{2mv}{M+m}。$$

把 $M = 7300m$ 代入上式得 $\Delta v = -0.0003v$ 。

可见 α 粒子的速度变化只有万分之三, 说明原子中的电子不能使 α 粒子发生明显的偏转。

解析

1 光电效应实验说明光具有粒子性, A 选项不符合题意; X 射线(伦琴射线)的发现是 19 世纪末 20 世纪初物理学的三大发现(X 射线 1896 年、放射线 1896 年、电子 1897 年)之一, 这一发现标志着现代物理学的产生, B 选项不符合题意; 氢原子光谱的发现(下节学)解释了原子的稳定性以及原子光谱的分立特征, D 选项不符合题意。

2 电子的质量远小于 α 粒子的质量, 电子质量仅为 α 粒子质量的 $\frac{1}{7300}$, 两者相撞时, 电子对 α 粒子的作用力可以忽略不计, 选项 D 正确。

3 卢瑟福的 α 粒子散射实验是为了探究原子内电荷的分布, 并非为了验证汤姆孙模型是错误的, A 错误; 卢瑟福并不是认识到枣糕模型的错误后提出的核式结构理论, B 错误; 卢瑟福做了 α 粒子散射实验后, 由实验现象提出了核式结构理论, C 错误, D 正确。

4 卢瑟福根据 α 粒子散射实验, 提出了原子核式结构模型, 选项 A 正确, B 错误; 电子质量太小, 对 α 粒子的影响不大, 选项 C 错误; 绝大多数 α 粒子穿过金箔后, 基本上仍沿原方向前进, 选项 D 错误。

5 原子的正电荷和绝大部分质量集中在一个很小的核上, 才使得在散射实验中, 只有少数的 α 粒子离核很近, 受到较大的库仑斥力, 发生大角度的偏转, 所以选项 A 正确。

6 卢瑟福的 α 粒子散射实验说明原子中存在原子核, 选项 A 错。 α 粒子大角度散射是由于 α 粒子进入原子内部, 接近原子核受到较大斥力而引起的, 选项 B 错。 α 粒子散射实验的重要发现使人们认识到原子具有核式结构, 选项 C 错, 选项 D 正确。

7 α 粒子和金原子核都带正电, 库仑力表现为斥力, 两者距离减小, 库仑力做负功, 故 α 粒子动能减小, 电势能增大; 系统的能量守恒, 由库仑定律可知, 随着距离的减小, 库仑斥力逐渐增大。

8 两个径迹都显示 α 粒子受到的是斥力, 所以原子核带正电。粒子在径迹 1、2 中原子核对它们先做负功, 后做正功, 动能先减小, 后增大。同一等势面, 势能相同, 动能变化量也相同。

9 原子核和 α 粒子均带正电, 两者之间为斥力, 据曲线运动的条件知, α 粒子在 P 点时, 原子核可以位于①②区域, α 粒子在 Q 点时, 原子核可以位于①③区域, 取交集知原子核应

位于①区域, 故 A 正确。

第3节 氢原子光谱

高考通关训练

正文 P90

答案

1 C 2 ABD 3 BC 4 B 5 D

6 BD 7 B 8 B 9 AC 10 D

11 (1) 由帕邢系公式 $\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$, 当 $n = 6$ 时, 得 $\lambda = 1.09 \times 10^{-6} \text{ m}$ 。

(2) 帕邢系形成的谱线在红外光区, 而红外线属于电磁波, 在真空中以光速传播, 故波速为光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, 由 $c = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$, 得 $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1.09 \times 10^{-6}} \text{ Hz} = 2.75 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 。

12 设该种金属的逸出功为 W , 光电效应所产生的光电子最大初动能为 E_{km} 。由动能定理知: $E_{\text{km}} = eU_c$ 。

对于莱曼系, 当 $n = 2$ 时对应的波波长最长, 设为 λ_1 。

$$\text{由题中所给公式有: } \frac{1}{\lambda_1} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) = \frac{3}{4}R。$$

$$\text{波长 } \lambda_1 \text{ 对应的光的频率 } \nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3}{4}Rc。$$

对于巴耳末系, 当 $n = \infty$ 时对应的光波长最短, 设为 λ_2 , 由题中所给公式有: $\frac{1}{\lambda_2} = R\left(\frac{1}{2^2} - 0\right) = \frac{1}{4}R$ 。

$$\text{波长 } \lambda_2 \text{ 的光对应的频率 } \nu_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{1}{4}Rc。$$

根据爱因斯坦的光电效应方程 $E_{\text{km}} = h\nu - W$ 知: $E_{\text{km}_1} = h\nu_1 - W$, $E_{\text{km}_2} = h\nu_2 - W$ 。

$$\text{又 } E_{\text{km}_1} = eU_1, E_{\text{km}_2} = eU_2, \text{ 可解得: } h = \frac{2e(U_1 - U_2)}{Rc}, W = \frac{e(U_1 - 3U_2)}{2}。$$

解析

1 不同光源发出的光谱有连续谱, 也有线状谱, 故选项 A、B 错误; 霓虹灯发光形成的光谱是线状谱, 选项 C 正确; 只有应用线状谱可以进行光谱分析, 选项 D 错误。

2 各原子光谱反映了它们各自的特征, 所以 A、B 正确。太阳光谱是吸收光谱, 它是不连续的。光谱可以用来鉴别物质的组成, C 错误, D 正确。故正确答案为 A、B、D。

3 光谱分析常用来反映原子的特征, 谱线既可以用线状光谱也可以用吸收光谱, 但不能用连续光谱, A 错, C 对; 利用光谱分析时, 样品中元素达到 10^{-10} g 就可以被检测得到, 灵敏度很高, B 对; 不同原子光谱不同, D 错。

4 氢原子光谱是线状谱, 波长是一系列不连续的、分立的特征谱线, 并不是只含有一种波长的光, 也不是一系列亮度不连续的光, 氢原子产生的光的波长与氢原子本身特征有关, 所以只有选项 B 正确。

5 巴耳末系的前四条谱线在可见光区, n 的取值分别为 3, 4, 5, 6。 n 越小, λ 越大, 故 $n = 3$ 时波长最大, $\lambda_{\text{max}} = \frac{36}{5R}$; $n = 6$

时波长最小; $\lambda_{\text{min}} = \frac{36}{8R}$, 故 $\frac{\lambda_{\text{max}}}{\lambda_{\text{min}}} = \frac{8}{5}$, D 正确。

6 将甲中的线状谱与乙中的谱线相对照, 没有的谱线即是该矿物质中缺少的。

- 7 按照经典电磁理论,电子绕核运行时,辐射电磁波的频率应等于电子绕核运行的频率;随着运行轨道半径的不断变化,电子绕核运行的频率不断变化,原子辐射电磁波的频率也应不断变化。这样,大量原子发光的频率应当是连续光谱;电子在转动的过程中,应辐射出电磁波,它的能量也要减少;随着能量的减少,电子绕核运行的轨道半径也要减小,A、C、D均属于经典电磁理论,所以选B。
- 9 此公式是巴耳末在研究氢光谱在可见光区的14条谱线中得到的,只适用于氢光谱的分析,且 n 只能取大于等于3的整数,则 λ 不能取连续值,故氢原子光谱是线状谱。
- 10 光谱中的一条亮线对应某一频率的光,“分离的不连续的亮线”对应着不连续的频率的光,B、C错误。氢原子在不同的能级之间跃迁时,辐射不同能量的光子,并且满足 $E=h\nu$ 。能量不同,相应光子频率不同,体现在光谱上是一些不连续的亮线,A错误,D正确。

第4节 玻尔的原子模型

高考通关训练

正文 P99

答案

- 1 BD 2 C 3 D 4 AB 5 AC
6 C 7 B 8 CD 9 D 10 CD

- 11 设电子与原子碰撞前后的速率分别为 v_1 和 v_2 ,原子碰撞后的速率为 v ,假设碰撞是一维正碰。
由动量守恒定律有: $mv_1 = mv_2 + m_0v$ 。
由能量守恒定律有: $\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}m_0v^2 + \Delta E$ 。
由上面两式得: $m_0(m_0 + m)v^2 - 2mm_0v_1v + 2m\Delta E = 0$ 。
上式是关于 v 的二次方程,要使 v 有实数解,该方程的判别式 $\Delta \geq 0$,即 $\Delta = (-2mm_0v_1)^2 - 4m_0(m_0 + m) \times 2m\Delta E \geq 0$ 。所以, $\frac{1}{2}mv_1^2 \geq \frac{m_0 + m}{m_0}\Delta E$ 。
可见,入射电子的最小动能为 $\frac{m_0 + m}{m_0}\Delta E$ 。

解析

- 1 玻尔的原子模型在核式结构模型的前提下提出轨道量子化、能量量子化及能级跃迁,故A错误,B正确;它的成功在于引入了量子化理论,缺点是过多的引入经典力学,故C错误,D正确。
- 2 氢原子从高能级向低能级跃迁,而且直接跃迁,故原子要发出某一频率的光子,故仅C正确。
- 3 根据 $h\nu = E_n - E_m$,从能级图可以看出a的能量最大,频率最大,波长最小;b的能量最小,频率最小,波长最大,即 $\lambda_a < \lambda_c < \lambda_b$,由 $h\nu_a = E_3 - E_1 = E_3 - E_2 + E_2 - E_1 = h\nu_b + h\nu_c$ 得 $\frac{1}{\lambda_a} = \frac{1}{\lambda_b} + \frac{1}{\lambda_c}$,所以选项D正确。
- 4 由轨道量子化 $r_n = n^2 r_1, n=1,2,3,\dots$ 知A正确;由动能与轨道半径成反比知B正确;由速度与轨道半径的平方成正比知C、D错误。
- 5 一群氢原子从 n 为3、4、5、6的能级直接向 $n=2$ 能级跃迁时产生的四条谱线中,红光的频率最低,即是氢原子从 $n=3$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁时产生的,选项A正确;蓝色光谱的频率是第二低的,是从 $n=4$ 能级直接向 $n=2$ 能级跃迁时产生的,选项B错误;若氢原子从 $n=6$ 能级直接向 $n=1$ 能级跃迁,产生光的能量比紫光能量大,所以能够产生紫外线,选项C正确;若氢原子从 $n=6$ 能级直接向 $n=1$ 能级跃迁时所产生的辐射不能使某金属发生光电效应,则

氢原子从 $n=6$ 能级直接向 $n=2$ 能级跃迁时所产生的辐射一定不能使该金属发出光电效应,选项D错误。

- 6 由于 μ 氢原子吸收光子后,能释放6种光子,可知其吸收光子后跃迁到第4能级,因此所吸收的光子的能量 $E = E_4 - E_2$,而此种光子能量在所释放的6种光子中仅大于 E_{43} 和 E_{32} ,居第3位,又因为光子能量与频率成正比,所以 $E = h\nu_3$,故选C。
- 7 处于 $n=3$ 激发态的氢原子所具有的能量 $E_3 = \frac{E_1}{3^2} = -1.51 \text{ eV}$,由于 $1.87 \text{ eV} + (-1.51 \text{ eV}) = 0.36 \text{ eV} > 0$,说明氢原子能够吸收该光子后被电离,电离后电子动能是 $(1.87 - 1.51) \text{ eV} = 0.36 \text{ eV}$ 。
- 8 氢原子核外电子由一个轨道跃迁到另一个轨道,可能有两种情况:一是由较高能级向较低能级跃迁,即原子的电子由距核较远处跃迁到较近处,要放出光子。原子的能量(电子和原子核共有的电势能与电子动能之和,即能级)要减少,原子的电势能要减少(电场力做正功),而电子的动能增加;二是由较低能级向较高能级跃迁,与上述相反。根据玻尔假设,在氢原子中,电子绕核做圆周运动的向心力由原子核对电子的吸引力(静电引力)提供,即 $k\frac{e^2}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$, $v = \sqrt{\frac{ke^2}{mr}}$,可见,原子由低能级跃迁到高能级时,电子轨道半径增加,动能减少,综上所述,C、D正确。
- 9 由于光子能量等于原子跃迁时的能级间隔,即 $\Delta E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$,因此有 $\frac{\Delta E_2}{\Delta E_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$,计算得 $\Delta E_2 = 0.366 \text{ eV}$,选D。
- 10 根据 $E_m - E_n = \frac{hc}{\lambda}$ 知,氢原子从 $n=2$ 跃迁到 $n=1$ 的能级时,辐射光的波长小于656 nm,选项A错误。一群处于 $n=3$ 能级上的氢原子向低能级跃迁时,可能辐射出的光谱线条数为 $\frac{n(n-1)}{2} = 3$ (条),选项C正确。根据 $E_m - E_n = \frac{hc}{\lambda}$ 计算可知,选项B错误,选项D正确。

第十八章 单元复习方案

测评·高考模拟卷

正文 P103

答案

- 1 A 2 B 3 BC 4 D 5 D
6 AD 7 A 8 BC 9 CD 10 BD
11 1:9 3:1 1:27 12 $\frac{5}{27}$

- 13 由题意可知,第一激发态氢原子的能量为: $E_2 = \frac{E_1}{2^2} = \frac{E_1}{4}$,要将氢原子从第一激发态电离,需要光子的能量至少为: $\Delta E = 0 - E_2$,设所需光子的频率为 ν ,有: $\Delta E = h\nu$,由波长、频率与波速的关系有: $c = \nu\lambda$,解得: $\lambda = \frac{4hc}{-E_1}$ 。
- 14 (1) 由 $k\frac{e^2}{(2r_1)^2} = m\frac{v_1^2}{r_1}$, $2r_1mv_1 = \frac{h}{2\pi}$,联立解得,“电子偶数”的基态半径 $r_1 = \frac{h^2}{4\pi^2 ke^2 m}$ 。
- (2) 由 $k\frac{e^2}{(2r_n)^2} = m\frac{v_n^2}{r_n}$, $2r_nmv_n = \frac{nh}{2\pi}$,

$$E_n = -k \frac{e^2}{2r_n} + 2 \cdot \frac{1}{2} m v_n^2, \text{ 联立解得 } E_n = -\frac{m \pi^2 k^2 e^4}{n^2 h^2},$$

赖曼线产生光子的最高频率理解为从 $n = \infty$ 跃迁到 $n = 1$ 的轨道产生即 $h\nu_m = E_\infty - E_1 = -E_1$,

$$\text{产生光子最高频率 } \nu_m = \frac{m \pi^2 k^2 e^4}{h^3}.$$

- 15 (1) 设大量氢原子处于量子数为 n 的能级, 处于该能级的氢原子的能量为 E_n , 氢原子从该能级跃迁到基态时, 发出的光子的频率最大, 有: $-0.96E_1 = E_n - E_1$, 又 $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$, 解得 $n = 5$ 。

频率最小的光子, 一定是氢原子从量子数为 5 的能级跃迁到量子数为 4 的能级时发出的, 故频率最小的光子的能量为: $E_{\min} = E_5 - E_4$, 又: $E_5 = \frac{1}{5^2} E_1$, $E_4 = \frac{1}{4^2} E_1$, 解得: $E_{\min} = 0.31 \text{ eV}$ 。

(2) 大量氢原子处于量子数为 5 的能级时, 可能发出的不同频率的光子数为: $N = C_5^2 = \frac{5 \times (5-1)}{2} = 10$ (种)。

- 16 设运动氢原子的速度为 v_0 , 完全非弹性碰撞后两者的速度为 v , 损失的动能 ΔE 被基态氢原子吸收。

若 $\Delta E = 10.2 \text{ eV}$, 则基态氢原子可由 $n = 1$ 跃迁到 $n = 2$ 。

由动量守恒和能量守恒有:

$$mv_0 = 2mv, \quad \text{①}$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} m v^2 + \Delta E, \quad \text{②}$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 = E_k = 13.6 \text{ eV}. \quad \text{③}$$

$$\text{解①②③得, } \Delta E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} m v_0^2 = 6.8 \text{ eV}.$$

因为 $\Delta E = 6.8 \text{ eV} < 10.2 \text{ eV}$ 。

所以不能使基态氢原子发生跃迁。

解析

- 1 汤姆孙利用气体放电管研究阴极射线, 发现了电子。
- 2 卢瑟福通过 α 粒子散射实验提出原子核式结构模型, 选项 A 错误、B 正确; 对原子光谱的研究开辟了深入探索原子结构的道路, 选项 C 错误; 玻尔理论有局限性, 但不能说是错误的, 选项 D 错误。
- 3 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。
当氢原子从较高轨道第 n 能级跃迁到较低轨道第 m 能级时, 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。
由于氢原子发射的光子的能量: $E = E_n - E_m = \frac{1}{n^2} E_1 - \frac{1}{m^2} E_1 = \frac{m^2 - n^2}{n^2 m^2} E_1$, 所以发射的光子的能量值 E 是不连续的, 故只能是一些特定频率的谱线, 故 A 错误, B 正确。
- 4 根据玻尔氢原子理论可知此时电子的轨道半径 $r_n = n^2 r_1$, 选项 A 错误; n 越大, 氢原子的能量 E_n 越大, 选项 B 错误; 由频率条件可知 $h\nu = E_n - E_{n-1}$, 故 $\lambda = \frac{hc}{E_n - E_{n-1}}$, 选项 C 错误; 大量处于量子数为 n 的激发态的氢原子通过自发辐射

射可能产生的光谱数为 $\frac{n(n-1)}{2}$, 选项 D 正确。

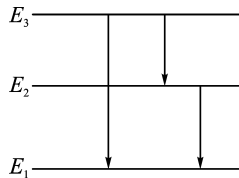
- 5 E_1 为基态能量, 其值最小, 故 A 错。由能级图也可以看出, $(E_3 - E_2) < (E_2 - E_1)$, B 错。由 $h\nu = E_m - E_n$ 可知, c 光频率最高, a 光的波长最长, 故 C 错, D 对。

- 6 阴极射线是电子流, 故带负电, 选项 A 正确、B 错误; 电子与氢离子的带电荷量在数值上相等, 但质量不同, 故比荷不同, 选项 C 错误、D 正确。

- 7 由 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ 可得各能级 $E_2 = \frac{-13.6}{4} \text{ eV} = -3.4 \text{ eV}$, $E_3 = \frac{-13.6}{9} \text{ eV} = -1.51 \text{ eV}$, $E_4 = \frac{-13.6}{16} \text{ eV} = -0.85 \text{ eV}$, $E_5 = \frac{-13.6}{25} \text{ eV} = -0.54 \text{ eV}$, $E_6 = \frac{-13.6}{36} \text{ eV} = -0.38 \text{ eV}$ 。
氢原子由高能级向低能级跃迁时, 辐射光子, 由 $h\nu = E - E'$, 可得 $\nu_0 = \frac{E_3 - E_2}{h}$, $\nu_1 = \frac{E_2 - E_1}{h}$, $\nu_2 = \frac{E_4 - E_3}{h}$, $\nu_3 = \frac{E_5 - E_3}{h}$, $\nu_4 = \frac{E_6 - E_5}{h}$, 又 $E_3 - E_2 = 1.89 \text{ eV}$, $E_2 - E_1 = 10.2 \text{ eV}$, $E_4 - E_3 = 0.66 \text{ eV}$, $E_5 - E_3 = 0.97 \text{ eV}$, $E_6 - E_5 = 0.16 \text{ eV}$, 故只有 $\nu_1 > \nu_0$, A 选项正确。

- 8 根据德布罗意波长 $\lambda = \frac{h}{p}$ 以及光子的能量 $\varepsilon = h \frac{c}{\lambda}$, 联立解得 $p = \frac{\varepsilon}{c}$, 所以 $\frac{p_a}{p_b} = \frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_b} = k : 1$, 选项 A 错误; 由 $\varepsilon = h \frac{c}{\lambda}$, 得 $\lambda = \frac{hc}{\varepsilon}$, 选项 B 正确; 光电子最大初动能 $E_k = \varepsilon - W_0$, 因此 $E_{ka} - E_{kb} = (k-1)\varepsilon_b$, 选项 C 正确; 结合 C 选项, 可知 a 、 b 两态能级之差为 $E_a - E_b = \varepsilon_b(1-k)$, 选项 D 错误。

- 9 利用能级图如图所示, 注意根据可能性进行必要的讨论。由 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ 可知, 波长长的光频率小, 光子能量也小, 所以本题会出现下面几种可能性。



第 9 题图

- (1) λ_1 为 E_3 跃迁到 E_2 发射的光, 若 λ_2 为从 E_2 跃迁至 E_1 的光, 则有 $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1}$, $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_2}$, $E_3 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_3}$, 所以可得: $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$, C 项可能。若 λ_2 为 E_3 跃迁至 E_1 的光, 则 $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_1}$, $E_3 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_2}$, $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_3}$, 可得: $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$, D 项可能。
- (2) 若 λ_1 为从 E_2 跃迁至 E_1 发出的光, 则 λ_2 必为从 E_3 跃迁至 E_1 发出的光, 则 $E_2 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_1}$, $E_3 - E_1 = \frac{hc}{\lambda_2}$, $E_3 - E_2 = \frac{hc}{\lambda_3}$, 可得: $\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}$, D 项可能。所以 C、D 选项正确。

- 10 氢原子只有吸收特定频率的光子, 才能从低能级跃迁到高能级。对于能量介于 $10 \text{ eV} \sim 12.9 \text{ eV}$ 范围内的光子, 处于基态的氢原子可能吸收具有 12.75 eV 、 12.09 eV 、 10.20 eV 这三种能量的光子, 故照射光中有三种频率的光子被吸收, 选项 A 错误、B 正确。氢原子可以吸收大量能量为 12.75 eV 的光子, 从而从 $n = 1$ 能级跃迁到 $n = 4$ 能级, 由于大量处于 $n = 4$ 能级的氢原子不稳定, 会跃迁到低能级从而发射光子, 故共可发射出 $N = C_4^2 = \frac{4 \times (4-1)}{2} = 6$ (种) 不同波长的光, 选项 C 错误、D 正确。

11 根据玻尔氢原子模型的轨道量子化结论有,轨道半径 $r_n = n^2 r_1$, 所以 $r_1 : r_3 = 1^2 : 3^2 = 1 : 9$ 。电子运行时的向心力由库仑力提供, 所以有 $\frac{ke^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}$ 。

$$\text{解得 } v_n = \sqrt{\frac{ke^2}{mr_n}}, \text{ 即 } v_n \propto \sqrt{\frac{1}{r_n}}。$$

$$\text{所以 } v_1 : v_3 = \sqrt{\frac{1}{r_1}} : \sqrt{\frac{1}{r_3}} = 3 : 1。$$

$$\text{电子运行周期 } T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n}。$$

$$\text{所以 } T_1 : T_3 = \frac{r_1}{v_1} : \frac{r_3}{v_3} = 1 : 27。$$

12 当氢原子从第3能级向第2能级跃迁时有 $E_3 - E_2 = h\nu_1$, 从第2能级向基态跃迁时 $E_2 - E_1 = h\nu_2$, 而 $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, 解得

$$\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{5}{27}。$$

第十九章 原子核

第1节 原子核的组成

高考通关训练

→ 正文 P109

答案

- 1 C 2 B 3 A 4 D
5 C 6 D 7 AC 8 A
9 4 -2 10 γ β

原子核	原子序数	质量数	质子数	中子数
J	9	18	9	9
K	Z	A	10	8
L	10	19	10	9

12 α 粒子与反冲核在垂直于磁场方向上动量守恒, 有 $m_\alpha v_\alpha = m_{核} v_{核}$ 。①
又洛伦兹力提供向心力 $Bqv = \frac{mv^2}{R}$ 得 $R = \frac{mv}{Bq}$, ②
对 α 粒子有 $R_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha}{B \times 2e}$, ③
对反冲核有 $R_{核} = \frac{m_{核} v_{核}}{B \times (Z-2)e}$, ④
将①代入③④得 $R_{核} = \frac{2}{Z-2} R_\alpha$, 即 $R_{核} = \frac{2}{Z-2} R_\alpha$ 。

解析

- 1 电离现象是核外电子脱离原子核的束缚; 光电效应是核外电子跃迁; α 粒子散射现象也是在原子核外进行的, 没有涉及原子核内部的变化, 只有天然放射现象是在原子核内部发生的。
2 由于 α 射线的电离作用较强, 能使空气分子电离, 电离产生的电荷会与带电体上的电荷中和, 所以选项 B 正确。
3 根据原子核的表示方法得核外电子数 = 质子数 = 67, 中子数为 $166 - 67 = 99$, 故核内中子数与核外电子数之差为 $99 - 67 = 32$, 故 A 对, B、C、D 错。
4 A 项钷核的质量数为 234, 质子数为 90, 所以 A 错; B 项的铍核的质子数为 4, 中子数为 5, 所以 B 错; 由于同位素是指质子数相同而中子数不同, 即质量数不同, 因而 C 错, D 对。
5 元素的不同同位素的原子核内质子数是一定的, 只是中子

数不同, 设质子数为 Q , 则 $N + Q = A$, 故 $N = A - Q$, Q 是定值, 故选 C。

- 6 衰变的射线均来自于核内, A 错; 从题图中可以看出, 一张纸能挡住①射线, 则①射线一定是 α 射线, 其贯穿本领最差, 电离能力最强, 但不是电磁波, 而是高速 He 粒子流, B 错; 铝板能挡住②, 而不能挡住③, 说明③一定是 γ 射线, 其电离能力最弱, 贯穿本领最强, 是一种电磁波, 属于原子核内以能量形式释放出来的光子, C 错, D 对。
7 由左手定则可知粒子向右射出后, 在匀强磁场中 α 粒子受的洛伦兹力向上, β 粒子受的洛伦兹力向下, 轨迹都是圆弧。由于 α 粒子速度约是光速的 $\frac{1}{10}$, 而 β 粒子速度接近光速, 所以在同样的混合场中不可能都做直线运动。
8 γ 射线不带电, 故在电磁场中不偏转, β 射线不偏转, 则电场力与洛伦兹力是一对平衡力, 故 $q \cdot E = Bqv$, 即 $v = \frac{E}{B}$, 即电场力与洛伦兹力的大小关系与电荷量无关, 只与速度有关, α 射线的速度比 β 射线小, 因此 α 射线(带正电)受向右的电场力大于向左的洛伦兹力, 故 α 射线向右偏, A 正确, B、C、D 错误。
9 α 粒子是氦核, 它是由两个质子和两个中子构成, 故质量数为 4, 电荷数为 2。而它的“反粒子”质量数也是 4, 但电荷数为 -2。
10 三种射线中, 穿透能力最弱的是 α 射线, 所以 α 射线被铝箔挡住, 穿过铝箔的是 β 射线和 γ 射线。 γ 射线在电场中不偏转, 故 a 是 γ 射线, β 射线在电场中受力偏转, 故 b 是 β 射线。

第2节 放射性元素的衰变

高考通关训练

→ 正文 P113

答案

- 1 C 2 BCD 3 CD 4 A 5 C
6 B 7 D 8 C 9 BD 10 B

11 (1) 衰变方程为 ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ 。
(2) 活体中 ${}^{14}_6\text{C}$ 含量不变, 生物死亡后, ${}^{14}_6\text{C}$ 开始衰变, 设活体中 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量为 m_0 , 遗骸中为 m , 则由半衰期的定义得 $m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$, 即 $0.125 = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{\tau}}$, 解得 $\frac{t}{\tau} = 3$, 所以 $t = 3\tau = 17190$ 年。
12 (1) 钷核 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 放出某种粒子 x 后变成钷核 ${}^{218}_{84}\text{Po}$ 可以判断发生的是 α 衰变, 衰变方程为: ${}^{222}_{86}\text{Rn} \rightarrow {}^{218}_{84}\text{Po} + {}^4_2\text{He}$ 。
(2) 设钷核的质量为 m_1 、速度为 v_1 , 粒子 x 的质量为 m_2 、速度为 v_2 , 根据动量守恒定律, 有: $0 = m_1 v_1 - m_2 v_2$ 。
粒子 x 的动能: $E_{k2} = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{(m_2 v_2)^2}{2m_2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} \times \frac{m_1}{m_2} = \frac{109E_{k1}}{2}$ 。

解析

- 1 β 衰变的实质是核内的中子转化为一个质子和一个电子, 其转化方程是 ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^0_{-1}\text{e}$, 转化出的电子射到核外, 就是 β 粒子, 所以答案为 C。
2 只有具有放射性的元素才会发生衰变, 选项 A 错误; 放射性元素的半衰期是由其元素本身决定的, 与其所处的物理状态和化学状态无关, 选项 B、C 正确; 三种射线中, γ 射线的穿透能力最强, 电离能力最弱, 选项 D 正确; 一次衰变中不可能同时放出 α 和 β 两种射线, 选项 E 错误。
3 设原子核 X 的符号为 ${}^A_Z\text{X}$, 则原子核 Y 为 ${}^{A-1}_{Z-1}\text{Y}$, ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-1}_{Z-1}\text{Y} +$

${}_{b-1}^{a}Y, {}_1^1H + {}_{b-1}^{a}Y \rightarrow {}_2^4He + {}_{b-2}^{a-3}Z$, 故原子核 Z 为 ${}_{b-2}^{a-3}Z$ 。

- 4 设原子核衰变过程中发生了 n 次 α 衰变, m 次 β 衰变, 由核衰变规律及衰变前后质量数守恒与电荷数守恒得 $4n = 238 - 206$, $2n - m = 92 - 82$, 解得 $n = 8, m = 6$, 故 A 正确。
- 5 经过 32 天, 也就是 4 个半衰期, 剩下没有衰变的碘 131 的质量是原来质量的 $\frac{1}{16}$, C 正确, A、B、D 错误。
- 6 元素的半衰期是由原子核内部自身的因素决定, 与元素所处的状态和外部环境无关, 故 B 项正确。
- 7 β 射线由高速的电子流组成, A 选项错; γ 光子是能量非常高的光子, 高于任何可见光的光子的能量, B 选项错; 半衰期长说明衰变的慢, C 选项错; 铯 133 和铯 137 是同位素, 含有相同的质子数, 中子数不同, D 选项正确。
- 8 设开始时元素 A、B 的质量都为 m , 经过 20 天, 对元素 A 来说有 5 个半衰期, A 剩下的质量为 $m_A = \left(\frac{1}{2}\right)^5 m$, 对元素 B 来说有 4 个半衰期, B 剩下的质量为 $m_B = \left(\frac{1}{2}\right)^4 m$, 所以剩下的质量之比为 1:2。所以正确选项是 C。
- 9 作假设: 在地球形成初期, 岩石中只含铀, 不含铅, 铅是铀的产物, 通过测定现在岩石中铀与铅的粒子比例就可以推测出岩石最初形成时铀的含量。知道现在铀的含量, 同时铀的半衰期是不会改变的, 就可以用数学方法推测岩石的年龄, 而地球的形成当然比岩石的年龄还要大些。
- 10 ${}_{15}^{30}P \rightarrow {}_{14}^{30}Si + {}_1^0e$ (正电子)。产生的两个粒子, 都带正电, 应是外切圆, 由 $R = \frac{mv}{qB}$ 知, 电荷量大的半径小, 故 3 是正电子, 4 是 ${}_{14}^{30}Si$ 。 ${}_{90}^{234}Th \rightarrow {}_{91}^{234}Pa + {}_1^0e$ (电子), 产生的两个粒子, 一个带正电, 一个带负电, 应是内切圆, 由 $R = \frac{mv}{qB}$ 知, 电荷量大的半径小, 故 1 是 ${}_{91}^{234}Pa$, 2 是电子。故 B 项正确。

第3节 探测射线的方法

第4节 放射性的应用与防护

高考通关训练 \longrightarrow 正文 P120

答案

- 1 A 2 C 3 B 4 ABC 5 BCD
6 AD 7 A 8 A 9 D 10 A
11 4_2He (或 α) 15.2
12 (1) $(234 \times 0.005 + 235 \times 0.72 + 238 \times 99.275) \times 10^{-2}$
(2) 基因突变 杀虫 杀菌 可以

解析

- 1 核反应方程为 ${}^4_2He + {}^{14}_7N \rightarrow {}^{17}_8O + {}^1_1H$ 。所以 X 为 1_1H , 选项 A 正确。
- 2 将题给 3 个方程相加, 整理后得 ${}^7_3Li + {}^{14}_7N + {}^9_4Be \rightarrow {}^{17}_8O + {}^{12}_6C + z$, 根据电荷数守恒和质量数守恒, z 的质量数为 1, 电荷数为 0, 为中子, C 正确。
- 3 盖革-米勒计数器只能用来计数, 不能区分射线的种类, 因为不同的射线在盖革-米勒计数器中产生的脉冲现象相同, 故选 B。
- 4 由质量数和电荷数守恒知 ${}^{15}_8O$ 在人体内的衰变方程是 ${}^{15}_8O \rightarrow {}^{15}_7N + {}^0_1e$, 故 A 正确。正负电子湮灭生成两个光子, B 正确。在 PET 中, ${}^{15}_8O$ 的主要用途是作为示踪原子被探测器探测到, 所以 C 正确, D 错误。
- 5 放疗的同时对人的身体也是有害的, A 选项错误。B、C、D

关于放射性的防护的表述都是正确的。

- 6 由核反应中电荷数和质量数守恒可知 A 选项正确, B 选项错误。由动量守恒定律求得硅原子核速度的数量级为 10^5 m/s, 即 D 选项正确, C 选项错误。
- 7 作为示踪原子的放射性同位素, 应该有稳定的放射性, 半衰期越长, 放射性越稳定; 但考虑到放射性对人体的危害, 半衰期越长, 对人体的危害越大, 所以一旦研究结束, 就希望放出的射线量大大减小, 因此应选择半衰期较短、衰变稍快的放射性元素作示踪原子, 用 2 天就可以了。
- 8 由于金属板对粒子有阻碍作用, 穿过金属板后速度减小, 由 $R = \frac{mv}{qB}$ 可知在同一匀强磁场中运动半径减小, 由图片知粒子在板下面的运动半径大于在板上面的半径, 所以粒子从下向上穿过金属板, 磁场方向垂直于照片向里, 所受洛伦兹力方向指向圆心位置, 根据左手定则判断该粒子带正电荷, 故 A 选项正确。
- 9 放射源发出的只有 α 、 β 、 γ 三种射线, 故选项 A 错误。在 α 、 β 、 γ 三种射线中, 只有 γ 射线能穿透钢板, 故选项 B、C 错误, D 正确。
- 10 涉及的核反应式子分别是 ${}_{92}^{238}U \rightarrow {}_{90}^{234}Th + {}_2^4He$, ${}_{90}^{234}Th \rightarrow {}_{91}^{234}Pa + {}_1^0e$, ${}_{91}^{234}Pa \rightarrow {}_{92}^{234}U + {}_1^0e$, 因此 ①、②、③ 分别是 α 衰变、 β 衰变和 β 衰变, 故 A 正确。
- 11 根据质量数守恒和电荷数守恒可知, 衰变方程为 ${}_{86}^{222}Rn \rightarrow {}_{84}^{218}Po + {}_2^4He$ 。根据衰变方程 $m_{\text{余}} = m_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$, 得 $1 \text{ g} = 16 \text{ g} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{3.8}}$, 解得 $t = 15.2$ 天。
- 12 铀元素的原子量等于每种同位素的原子量与百分含量乘积之和, 即 $(234 \times 0.005 + 235 \times 0.72 + 238 \times 99.275) \times 10^{-2}$ 。 γ 射线的照射强度增大到一定程度往往会使品种基因突变。由于经过放射性同位素照射处理过的材料无放射性, 所以人体完全可以直接接触它。

第5节 核力与结合能

高考通关训练 \longrightarrow 正文 P127

答案

- 1 C 2 D 3 D 4 B 5 B
6 C 7 AD 8 ABE 9 BC

- 10 设衰变放出的 α 粒子的速度为 v , 则 $qvB = m \frac{v^2}{R}$,

用 v' 表示衰变后剩余核的速度, 在考虑衰变过程中系统的动量守恒时, 因为亏损质量很小, 可不予考虑, 由动量守恒定律可知: $(M - m)v' = mv$ 。

在衰变过程中, α 粒子和剩余核的动能来自于核能, 即 $\Delta mc^2 = \frac{1}{2}(M - m)v'^2 + \frac{1}{2}mv^2$, 解得: $\Delta m = \frac{M(qBR)^2}{2c^2m(M - m)}$ 。

- 11 根据电荷数守恒和质量数守恒, X 应为 4_2He , 即 α 粒子; 若 $E_k = Q$, 则该核反应不能发生, α 粒子以动能 E_k 轰击静止的 ${}^{14}_7N$ 核, 说明 α 粒子有动量, 根据动量守恒, α 粒子与 ${}^{14}_7N$ 核碰撞后, 总动量不等于零, 则总动能也不等于零, 根据能量守恒, 剩余的能量不足以提供发生核反应吸收的能量。

- 12 衰变方程是: ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2He$ 。

设原子核 X 和 α 粒子的动量分别为 p_0 和 p_2 、动能分别为 E_0 和 E_2 , 根据动量守恒定律有: $p_0 = p_2$ 。

由粒子动能与动量的关系可知: $E_0 = \frac{p_0^2}{2M}$, $E_2 = \frac{p_2^2}{2m_2}$ 。

根据能量守恒,反应后与反应前的总动能之差为:

$$E_2 - E_0 = (M - m_1 - m_2)c^2.$$

$$\text{解得: } E_2 = \frac{M(M - m_1 - m_2)}{M - m_2}c^2.$$

解析

- 核力是短程力,由于核力很强大,所以将核子拆开需要大量的能量克服核力做功。相反,若核子结合成原子核,则放出大量的能量,所以选项 C 正确。
- 根据爱因斯坦的质能方程,太阳每秒钟减少的质量 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$,根据题意解得 $\Delta m = 4.4 \times 10^9 \text{ kg}$,选项 D 正确。
- 自然界中较轻的原子核,质子数与中子数大致相等,对于较重的原子核,中子数大于质子数,越重的元素,两者相差越多。因此正确答案选 D。
- 根据爱因斯坦质能方程可知,物体具有的能量与质量有简单的正比关系。物体质量增大,能量也增大,认为能量与质量可以相互转化的观点是错误的,故 A、C 错, B 对;在核反应中系统的总能量是守恒的,故 D 错。质能方程中反映的是能量与质量的对应关系,但不能理解为能量转化为质量,也不能认为质量转化为能量。
- 反应前的质量总和为 $m_1 + m_3$,质量亏损 $\Delta m = m_1 + m_3 - m_2$,核反应释放的能量 $\Delta E = (m_1 + m_3 - m_2)c^2$,选项 B 正确。
- 核力是一种很强的力,存在于相邻的核子之间,作用范围在 $1.5 \times 10^{-15} \text{ m}$ 之内,由题意知: $F \cdot d = W = E$,则 $F = \frac{10 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-13} \times 10^{-2}} \text{ N} = 1.6 \times 10^3 \text{ N}$,故选项 C 正确。
- 静止的氦核吸收的光子的能量大于其结合能时,才能分解为一个中子和一个质子,所以 A 对、B 错;根据能量守恒,光子的能量大于氦核的结合能,多余的能量以核子动能的形式呈现, C 错、D 对。
- 核反应方程满足质量数守恒和电荷数守恒, A 项正确;微观粒子相互作用过程中,满足动量守恒定律, B 项正确;题述核反应过程属于“二合一”形式的完全非弹性碰撞,机械能有损失,但对于封闭的系统,能量仍然守恒, C 项错误;核反应过程中的机械能有损失,故存在质量亏损现象, D 项错误;硅原子质量约是质子质量的 28 倍,由动量守恒定律知, $m_0 v_0 = 28 m_0 v$,所以硅原子核速度数量级为 10^5 m/s ,方向与质子初速度的方向一致, E 项正确。
- 由图像可知, ${}^4_2\text{He}$ 的比结合能约为 7 MeV,其结合能应为 28 MeV,故 A 错误。比结合能较大的核较稳定,故 B 正确。比结合能较小的核结合成比结合能较大的核时释放能量,故 C 正确。比结合能就是平均结合能,故由题图可知 D 错误。

第 6 节 核裂变

高考通关训练

正文 P132

答案

- 1 B 2 C 3 D 4 D 5 C
6 D 7 C 8 D 9 BCE
10 (1) 3 大于 (2) $4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$

- 因中子与慢化剂原子核发生弹性碰撞,碰撞过程动量和能量都守恒。
设中子质量为 m ,慢化剂原子核质量为 M ,中子的初速度为 v_0 ,有 $mv_0 = mv_1 + Mv_2$, $\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$,

解得 $v_1 = \frac{m-M}{m+M}v_0$ 。可见,当 M 越接近 m 时, v_1 越小,即质量数小的减速效果好。

- 裂变前: $m_0 = (235.0439 + 1.0087) \text{ u} = 236.0526 \text{ u}$,
裂变后: $m' = (140.9139 + 91.8973 + 3 \times 1.0087) \text{ u} = 235.8373 \text{ u}$,
则质量亏损为 $\Delta m = m_0 - m' = 0.2153 \text{ u}$;
释放能量为 $\Delta E = 0.2153 \times 931 \text{ MeV} \approx 200 \text{ MeV}$ 。
设需要 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的质量为 m ,则由能量守恒可得
$$\frac{m}{235} \times N_A \times \Delta E = Pt,$$

解得 $m = \frac{235 \times Pt}{N_A \Delta E}$
$$= \frac{235 \times 5 \times 10^8 \times 24 \times 3600}{6.02 \times 10^{23} \times 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ g}$$

$$\approx 527 \text{ g}.$$

解析

- 根据重核裂变的核反应方程,使裂变不断进行下去的粒子是中子,选项 B 正确。
- 放射性原子核可以自发放射出粒子及能量后变得较为稳定;而裂变是一些质量非常大的原子核分裂成两个或更多个质量中等的原子核,不能自发发生。比较可知, C 项正确。
- 由于 1 mol 的铀核质量为 235 g,1 g 铀 235 的物质的量为 $\frac{1}{235}$,因此 1 g 铀 235 释放的能量 $E = \frac{N_A}{235} \times 196 \text{ MeV}$,故 D 正确。
- 属于核裂变反应的是选项 D。
- 核电站发电的能量主要来自于重核的裂变放出的能量,正确选项为 C。
- 铀 238 具有放射性,放出一个 α 粒子,变成钍 234, A 正确。铀 238 和铀 235 质子数相同,互为同位素, B 正确。核辐射能导致基因突变,是皮肤癌和白血病的诱因之一, C 正确。贫铀弹的穿甲力很强,是因为它的弹芯是由高密度、高强度、高韧性的铀合金组成,袭击目标时产生高温化学反应,所以其爆炸力、穿透力远远超过一般炸弹, D 错。
- 设放出的粒子的质量数为 x ,电荷数为 y ,核反应过程满足质量数守恒和电荷数守恒。由题意可得 $\begin{cases} 235 + 1 = 136 + 90 + x, \\ 92 = 54 + 38 + y, \end{cases}$
解得 $\begin{cases} x = 10, \\ y = 0. \end{cases}$ 由此判断该核反应放出的一定是中子,且个数是 10。
- 根据重核发生裂变的条件和裂变放能的原理分析可知,裂变时因铀核俘获中子发生核反应,是核能转化为其他形式的过程,其释放的能量远大于其俘获中子时吸收的能量。链式反应是有条件的,即铀块的体积必须大于其临界体积,如果体积小,中子从铀块中穿过时,碰不到原子核,则链式反应就不会发生。在裂变反应中核子数是不会减少的,如 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 裂变为 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 和 ${}^{136}_{54}\text{Xe}$ 的核反应,其核反应方程为 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{90}_{38}\text{Sr} + {}^{136}_{54}\text{Xe} + 10{}_0^1\text{n}$,其中各粒子质量分别为 $m_U = 235.0439 \text{ u}$, $m_n = 1.00867 \text{ u}$, $m_{\text{Sr}} = 89.9077 \text{ u}$, $m_{\text{Xe}} = 135.9072 \text{ u}$,质量亏损为 $\Delta m = (m_U + m_n) - (m_{\text{Sr}} + m_{\text{Xe}} + 10m_n) = 0.15097 \text{ u}$ 。见铀核裂变的质量亏损是远小于一个核子的质量的,核子数是不会减少的,因此选项 A、B、C 均错。重核裂变为中等质量的原子核时,由于平均质量减小,会发生质量亏损,从而释放出核能。综上所述,选项 D 正确。
- 核反应中,质量数守恒、电荷数守恒,则知 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} +$

${}^{92}_{36}\text{Kr} + aX$ 中 X 为 ${}^1_0\text{n}$, $a=3$, 则 A 错误, B 正确。由 $\Delta E = \Delta mc^2$ 可得: $\Delta E = (m_U + m_X - m_{Ba} - m_{Kr} - 3m_X)c^2 = (m_U - m_{Ba} - m_{Kr} - 2m_X)c^2$, 则 C 正确, D 错误。由链式反应条件可知, 铀块体积达到临界体积, 反应才可能发生, 则 E 正确。

- 10 (1) 根据质量数守恒可得, 产生中子的数目为 $235 + 1 - 144 - 89 = 3$; 只有大于临界体积才能发生裂变。
 (2) 组成 α 粒子的核子与 α 粒子的质量差 $\Delta m = (2m_p + 2m_n) - m_\alpha$, 结合能 $\Delta E = \Delta mc^2$, 代入数据得 $\Delta E \approx 4.3 \times 10^{-12} \text{ J}$ 。

第7节 核聚变

第8节 粒子和宇宙

高考通关训练

正文 P139

答案

- 1 ABD 2 D 3 A 4 BD 5 B
 6 B 7 AC 8 B 9 AB
 10 C AB E F

- 11 (1) 核反应方程式为 ${}^0_{-1}\text{e} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow 2\gamma$ 。
 (2) 若只放出一个光子, 说明反应后总动量不为零, 而反应前总动量为零, 违反动量守恒定律, 所以只放出一个光子是不可能的。
 (3) 正、负电子湮灭前的动量为零, 即 $c^2 p^2$ 项为零, 可知其对应的能量为 $E = m_0 c^2$, 光子的能量满足 $E = h\nu$, 由能量守恒有: $m_0 c^2 + m_0 c^2 = 2h\nu$, 即得频率为 $\nu = \frac{m_0 c^2}{h} = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 1.24 \times 10^{20} \text{ Hz}$ 。

- 12 (1) 太阳每秒钟放出的能量: $\Delta E = Pt = 3.8 \times 10^{26} \text{ J}$, 由质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 可得: $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} = 4.2 \times 10^9 \text{ kg} = 4.2 \times 10^6 \text{ t}$ 。
 (2) 每秒钟聚变反应的次数:
 $n = \frac{3.8 \times 10^{26} \times 1}{28 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ 次} = 8.48 \times 10^{37} \text{ 次}$ 。
 每秒钟产生的中微子数 $n_1 = 2n = 16.96 \times 10^{37}$ 个。
 距太阳 $L = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$ 的球面面积 $S = 4\pi L^2 = 4 \times 3.14 \times (1.5 \times 10^{11})^2 \text{ m}^2 = 28.26 \times 10^{22} \text{ m}^2$ 。
 每平方米有 n_2 个中微子: $n_2 = \frac{16.96 \times 10^{37}}{28.26 \times 10^{22}} \text{ 个} = 6 \times 10^{14} \text{ 个}$ 。
 (3) 能发生反应的质子总质量为 $m_1 = 2.0 \times 10^{30} \times 10\% \text{ kg}$, 每次聚变反应用 4 个质子, 每秒钟用的质子数 $n = 4 \times 8.48 \times 10^{37}$ 个。每个质子的质量 $m_0 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ 。
 太阳的寿命 $t = \frac{2.0 \times 10^{30} \times 10\%}{4 \times 8.48 \times 10^{37} \times 1.67 \times 10^{-27}} \text{ s} = 3.53 \times 10^{17} \text{ s} = 112 \text{ 亿年}$ 。

解析

- 1 强子是参与强相互作用的粒子, 轻子是不参与强相互作用的粒子, 故选项 A、B 正确。强子由夸克组成, 夸克有 6 种。它们的带电荷量分别为 $+\frac{2}{3}e$ 或 $-\frac{1}{3}e$ 。故选项 D 正确, 目前能发现的轻子只有 6 种, 故选项 C 错误。
 2 6 个中子和 6 个质子可结合成 3 个 α 粒子, 放出能量 $3 \times 28.30 \text{ MeV} = 84.9 \text{ MeV}$, 3 个 α 粒子再结合成一个碳核, 放出 7.26 MeV 能量, 故 6 个中子和 6 个质子结合成一个碳核时, 释放能量为 $84.9 \text{ MeV} + 7.26 \text{ MeV} = 92.16 \text{ MeV}$ 。
 3 由核反应方程可知 1 个氘核和 1 个氚核聚变成氦核时放

出 17.6 MeV 能量和 1 个中子, 则 1 mol 的氘和 1 mol 氚全部聚变成 1 mol 氦核时释放的能量为 $\Delta E = N_A \times 17.6 \text{ MeV}$ 。

- 4 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ 为核聚变反应方程, 选项 A 错误; 根据重核裂变中质量数守恒和电荷数守恒可知, 选项 B 正确; β 衰变时原子核内部中子衰变为质子并释放出高速电子, 电子并不是原子核的组成部分, 选项 C 错误; 根据质能关系可知选项 D 正确。
 5 根据质量数和电荷数守恒可知 $\begin{cases} 4k + d = 10, \\ 2k + d = 6. \end{cases}$ 解得 $k = 2$, $d = 2$; 故 B 正确。
 6 由核反应过程必须遵守的质量数守恒和核电荷数守恒可知 X 是 ${}^4_2\text{He}$ 。放出热量分别为 Q_1 和 Q_2 的两个核反应中质量亏损分别为 0.0021 u 和 0.0053 u , 故 $Q_2 > Q_1$ 。
 7 释放的能量大小用爱因斯坦质能方程 $\Delta E = \Delta mc^2$ 计算, 有的考生不能区分裂变和聚变, 得出错误的选项 B, 本题属于容易题。
 8 此核反应的核反应方程为 ${}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^2_1\text{H} + \gamma$, A 错; 由质能方程, γ 光子的能量为 $E = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$, C 错; 由 $E = h \frac{c}{\lambda}$ 知, 波长 $\lambda = \frac{h}{(m_1 + m_2 - m_3)c}$, D 错。
 9 根据动量守恒定律可以判断核反应后 π^- 介子可能与 K^- 介子运动方向相同, 也可能相反, 结合左手定则和带电粒子在磁场中的运动知识可知, 本题的正确选项为 A、B。
 10 一个原子核自发地放出一个 α 粒子, 生成一个新核的过程是 α 衰变, 因此 C 项是 α 衰变; 一个重核在一个粒子的轰击下, 分裂成几个中等质量原子核的过程是重核的裂变, 因此 E 项是重核的裂变; 两个较轻的原子核聚合成一个较大的原子核, 并放出粒子的过程是轻核的聚变, 因此 F 项是轻核的聚变; 另外, A、B 项是 β 衰变, D 项是原子核的人工转变。

第十九章 单元复习方案

测评·高考模拟卷

正文 P143

答案

- 1 A 2 C 3 C 4 B 5 D
 6 B 7 BC 8 ABC 9 AC 10 AC
 11 ${}^1_0\text{n} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^2_1\text{H} \quad \frac{Q}{2}$ 12 $\gamma \quad 2^T; 2^T$

- 13 设该生物在古代活着时含 ${}^{14}\text{C}$ 为 n_0 个, 含 ${}^{12}\text{C}$ 为 m 个, 则古代时期存量比为 $\frac{n_0}{m}$ 。测得该生物遗骸目前含 ${}^{14}\text{C}$ 为 n 个, 而 ${}^{12}\text{C}$ 因不具有放射性, 不会衰变, 仍为 m 个, 其存量比为 $\frac{n}{m}$ 。设古代和目前空气中 ${}^{14}\text{C}$ 与 ${}^{12}\text{C}$ 存量之比基本不变, 令为 k 。
 由题意得 $\frac{n}{m} = \frac{2}{3}k$, $\frac{n_0}{m} = k$, 即 $\frac{n}{n_0} = \frac{2}{3}$ 。
 由 $n = n_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} = n_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/5686}$,
 得 $\left(\frac{1}{2}\right)^{t/5686} = \frac{2}{3}$, 取对数得:
 $t = \frac{5686 \times (\lg 2 - \lg 3)}{-\lg 2} \text{ 年} = 3326.1 \text{ 年}$ 。
 14 (1) 根据衰变过程中电荷数守恒和质量数守恒, 可得衰变的核反应方程为 ${}^a_b\text{X} \rightarrow {}^{a-4}_{b-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$ 。

(2) 根据动量守恒定律,反冲核 Y 的动量与 α 粒子的动量大小相等。

根据公式 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知,反冲核 Y 的动能为 $E_{k1} = \frac{4}{a-4}E_0$ 。

衰变时释放出的总能量为 $E_k = E_0 + E_{k1} = \frac{a}{a-4}E_0$ 。

根据爱因斯坦质能方程有 $E_k = \Delta mc^2$ 。

故衰变过程中总的质量亏损为 $\Delta m = \frac{E_k}{c^2} = \frac{aE_0}{(a-4)c^2}$ 。

15 (1) ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He}$ 。

(2) 根据光子的能量表达式 $E = h\frac{c}{\lambda}$ 得: $\lambda = \frac{hc}{E} = 1.38 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。

(3) 设衰变后,铀核速度为 v_U , α 粒子的速度为 v_α , 根据动量守恒有 $m_U v_U - m_\alpha v_\alpha = 0$ 。

根据带电粒子在磁场中的运动规律可得 $R_\alpha = \frac{m_\alpha v_\alpha}{Bq_\alpha}$, $R_U =$

$\frac{m_U v_U}{Bq_U}$, 联立解得 $\frac{R_\alpha}{R_U} = \frac{46}{1}$ 。

16 (1) 由电荷数守恒有: $Z = 92 - 60 + 8$,
由质量数守恒有: $A = 235 + 1 - 143 - 3$,
解得: $Z = 40, A = 90$ 。

(2) 设 1 kg 铀 235 的铀核数为 n , 有:

$$n = \frac{1\,000}{235.043\,9} \times 6.02 \times 10^{23} = 2.56 \times 10^{24} \text{ (个)},$$

不考虑反应中生成的电子和反中微子的质量,一个铀核反应发生的质量亏损为: $\Delta m = 0.212\text{u}$,

1 kg 铀 235 完全裂变产生的能量约为:

$$E = n\Delta mc^2 = 8.1 \times 10^{13} \text{ J}.$$

解析

1 聚变是两个质量较轻的原子核结合成一个中等质量的原子核,出现了质量亏损,释放出巨大能量,故选项 A 对;选项 B 是 α 衰变;选项 C 是人工转变;选项 D 是 α 粒子轰击铝核,是人工转变。

2 该反应是吸能反应,所以两个核子质量之和大于氦核的质量。

3 链式反应需要条件,铀块的体积必须大于临界体积, A 错;铀 238 就不能裂变, B 错;由于太阳质量减少,对地球的万有引力也就减小,地球做离心运动, C 正确; α 粒子散射实验说明了核式结构, D 错。

4 原子核衰变时质量数守恒,电荷数守恒, $235 = 4m + 207$, $92 = 82 + 2m - n$, 两式联立解得: $m = 7, n = 4$, A 项错误。衰变产物的结合能之和大于铀核 (${}_{92}^{235}\text{U}$) 的结合能, C 项错误。半衰期由原子核内部自身的因素决定,与温度和压强无关, D 项错误。

5 α 射线是高速 ${}^4_2\text{He}$ 核流, β 射线是高速电子流, A 项错误。在 α 、 β 、 γ 三种射线中, α 射线的电离能力最强, γ 射线的电离能力最弱, B 项错误。半衰期是对大量原子核的衰变行为作出的统计规律,对于少数原子核无意义, C 项错误。

6 由动量守恒可知,静止的铀核发生 α 衰变后,生成的均带正电的 α 粒子和铷核的动量大小相等,但方向相反,由左手定则可知它们的运动轨迹应为“外切”圆,又 $R = \frac{mv}{Bq} =$

$\frac{p}{Bq}$, 在 p 和 B 相等的情况下, $R \propto \frac{1}{q}$, 因 $q_{\text{铷}} > q_\alpha$, 则 $R_{\text{铷}} < R_\alpha$, 故 B 正确。

7 当两个质子相距很近时,核力大于库仑力,而当大于一定距离时,核力小于库仑力,选项 A 错误;原子核的结合能等于使其完全分解成自由核子所需要的能量,选项 B 正

确;比结合能越大,原子核越稳定,选项 C 正确;轻核聚变释放能量,一定有质量亏损,选项 D 错误。

8 卢瑟福根据 α 粒子散射实验的结果提出了原子的核式结构模型,则选项 A 对;放射性元素在衰变过程中电荷数和质量数守恒,而 γ 射线不带电,它在电磁场中不会偏转,则选项 B 对;由图可知, A 为重核, B、C 为中等质量的核,重核裂变为中等质量的核将向外释放能量,则选项 C 对;而 D、E 为轻核,轻核聚变成较大质量的原子核时要向外释放巨大的能量,则选项 D 错。

9 由 ${}_{83}^{210}\text{Bi} \xrightarrow{X} {}_{81}^{210}\text{Po}$, 质量数没变,则 X 是 β 衰变,所以 $a = 84$, 由 ${}_{83}^{210}\text{Bi} \rightarrow {}_{81}^{206}\text{Tl}$ 电荷数减少 2, 则 Y 是 α 衰变,所以 $b = 206$, A 对, B 错;由 ${}_{83}^{210}\text{Bi} \rightarrow {}_{82}^{206}\text{Pb}$ 及 $a = 84$ 知, Z 为 α 衰变, C 对;从 β 衰变中放出的是 β 射线,其电离性最弱, D 错。

10 由质量数守恒和核电荷数守恒得: ${}^4_2\text{He} + {}^{23}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{26}_{12}\text{Mg} + {}^1_1\text{H}$ 。又因 α 粒子、新核的质量分别为 $4m, 26m$, 质子的速率为 v , 因为质子与钠原子核发生对心正碰,由动量守恒定律得: $4mv_0 = 26m \times \frac{v}{10} - mv$, 解得: $v \approx 0.23c$ 。

11 根据质量数守恒、电荷数守恒,不难推算某原子核应该是氢原子核,即 ${}^1_1\text{H}$, 该反应放出的能量为 Q , 比结合能也叫平均结合能,氦核的比结合能为 $\frac{Q}{2}$ 。

12 由半衰期公式 $m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_1}}$ 得 $m_A \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_1}} = m_B \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_2}}$, 所以 $\frac{m_A}{m_B} = \frac{2^{\frac{t}{T_1}}}{2^{\frac{t}{T_2}}}$ 。

选修 3-5 模块备考方略

测评·高考模拟卷

正文 P155

答案

- 1 A 2 C 3 C 4 A 5 B
6 BD 7 AC 8 AC 9 A 10 AC
11 正 大于
12 (1) 桌面高 H C 点到桌子边缘间的水平距离 c
(2) $2m_1 \sqrt{a-h} = 2m_1 \sqrt{b-h} + m_2 \frac{c}{\sqrt{H+h}}$

13 (1) PET 中所选的放射性同位素的半衰期要求足够短。半衰期越短,衰变越快,对人体造成的危害就越小。
(2) ${}^{15}\text{O}$ 的主要用途是作为示踪原子。
(3) 由能量守恒定律有: $2mc^2 = 2h\frac{c}{\lambda}$, 解得: $\lambda = \frac{h}{mc}$ 。

14 (1) 设氢原子发射光子前后分别处于第 l 能级与第 m 能级,由题意 $\frac{E_l}{l^2} - \frac{E_1}{1^2} = -\frac{3}{16}E_1$, $\frac{E_l}{m^2} - E_1 = -\frac{3}{4}E_1$ 。
解得 $m = 2, l = 4$ 。
故氢原子发射光子前后分别处于第 4 能级与第 2 能级。
(2) 设碰撞前后氦核速度分别为 v_0, v_{Ne} , 由动量守恒与机械能守恒定律得 $m_\alpha v + m_{\text{Ne}} v_0 = m_{\text{Ne}} v_{\text{Ne}}$ 。
 $\frac{1}{2} m_\alpha v^2 + \frac{1}{2} m_{\text{Ne}} v_0^2 = \frac{1}{2} m_{\text{Ne}} v_{\text{Ne}}^2$, 且 $\frac{m_\alpha}{m_{\text{Ne}}} = \frac{1}{5}$ 。
解得 $v_0 = \frac{m_{\text{Ne}} - m_\alpha}{2m_{\text{Ne}}} v = \frac{2}{5} v, v_{\text{Ne}} = \frac{m_{\text{Ne}} + m_\alpha}{2m_{\text{Ne}}} v = \frac{3}{5} v$ 。

15 (1) 衰变方程为(二选一):
 ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U}^* + \alpha, {}_{92}^{235}\text{U}^* \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + \gamma$
或合起来有: ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + \alpha + \gamma$ 。

(2) 上述衰变过程的质量亏损为: $\Delta m = m_{\text{Pu}} - m_{\text{U}} - m_{\alpha}$,
放出的能量为: $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$,
 ΔE 是铀核 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的动能 E_{U} , α 粒子的动能 E_{α} 和 γ 光子的能量 E_{γ} 之和, 有: $\Delta E = E_{\text{U}} + E_{\alpha} + E_{\gamma}$,
设衰变后的铀核和 α 粒子的动量分别为 p_{U} 和 p_{α} , 则由动量守恒定律有: $p_{\text{U}} = p_{\alpha}$,

由动能的定义式及动量的定义式有: $E_k = \frac{p^2}{2m}$,

解得: $E_{\alpha} = 5.035 \text{ MeV}$ 。

- 16 (1) 设雪橇运动的方向为正方向, 狗第 1 次跳下雪橇后雪橇的速度为 V_1 , 根据动量守恒定律, 有 $MV_1 + m(V_1 + u) = 0$ 。狗第 1 次跳上雪橇时, 雪橇与狗的共同速度为 V_1' 满足 $MV_1 + mv = (M + m)V_1'$ 。

可解得 $V_1' = \frac{-Mmu + (M + m)mv}{(M + m)^2}$, 将 $u = -4 \text{ m/s}$, $v = 5 \text{ m/s}$, $M = 30 \text{ kg}$, $m = 10 \text{ kg}$ 代入, 得 $V_1' = 2 \text{ m/s}$ 。

(2) 解法一: 设雪橇运动的方向为正方向, 狗第 $(n-1)$ 次跳下雪橇后雪橇的速度为 V_{n-1} , 则狗第 $(n-1)$ 次跳上雪橇后的速度为 V_{n-1}' 满足 $MV_{n-1} + mv = (M + m)V_{n-1}'$ 。这样, 狗 n 次跳下雪橇后, 雪橇的速度为 V_n , 满足 $MV_n + m(V_n + u) = (M + m)V_{n-1}'$ 。

解得 $V_n = (v - u) \left[1 - \left(\frac{M}{M + m} \right)^{n-1} \right] - \frac{mu}{M + m} \left(\frac{M}{M + m} \right)^{n-1}$ 。

狗追不上雪橇的条件是 $V_n \geq v$,

可化为 $\left(\frac{M}{M + m} \right)^{n-1} \leq \frac{(M + m)u}{Mu - (M + m)v}$,

最后可求得 $n \geq 1 + \frac{\lg \left[\frac{Mu - (M + m)v}{(M + m)u} \right]}{\lg \left(\frac{M + m}{M} \right)}$,

代入数据, 得 $n \geq 3.41$, 狗最多能跳上雪橇 3 次。

雪橇最终的速度大小为 $V_4 = 5.625 \text{ m/s}$ 。

解法二: 设雪橇运动的方向为正方向, 狗第 i 次跳下雪橇后, 雪橇的速度为 V_i , 狗的速度为 $V_i + u$; 狗第 i 次跳上雪橇后, 雪橇和狗的共同速度为 V_i' , 由动量守恒定律可得第一次跳下雪橇: $MV_1 + m(V_1 + u) = 0$,

$V_1 = -\frac{mu}{M + m} = 1 \text{ m/s}$,

第一次跳上雪橇: $MV_1 + mv = (M + m)V_1'$,

$V_1' = \frac{-Mmu + (M + m)mv}{(M + m)^2} = 2 \text{ m/s}$ 。

第二次跳下雪橇: $(M + m)V_1' = MV_2 + m(V_2 + u)$,

$V_2 = \frac{(M + m)V_1' - mu}{M + m} = 3 \text{ m/s}$ 。

第二次跳上雪橇: $MV_2 + mv = (M + m)V_2'$, $V_2' = \frac{MV_2 + mv}{M + m}$ 。

第三次跳下雪橇: $(M + m)V_2' = MV_3 + m(V_3 + u)$,

$V_3 = \frac{(M + m)V_2' - mu}{M + m} = 4.5 \text{ m/s}$ 。

第三次跳上雪橇: $MV_3 + mv = (M + m)V_3'$, $V_3' = \frac{MV_3 + mv}{M + m}$ 。

第四次跳下雪橇: $(M + m)V_3' = MV_4 + m(V_4 + u)$,

$V_4 = \frac{(M + m)V_3' - mu}{M + m} = 5.625 \text{ m/s}$ 。

此时雪橇的速度已大于狗追赶的速度, 狗将不可能追上雪橇。因此狗最多能跳上雪橇 3 次, 雪橇最终的速度大小为 5.625 m/s 。

解析

- 1 α 粒子带正电, 因此 α 粒子靠近核时, 与核间有斥力, 沿②

所示方向运动的 α 粒子比沿①所示方向运动的 α 粒子离核近, 其与核的作用较强, 故 α 粒子沿②所示方向运动进入后向外侧散射的偏转角应比沿①所示轨迹的偏转角大, 选项 A 正确。

- 2 由质量数守恒和电荷数守恒可得 X、Y 和 Z 分别是 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^4_2\text{He}$ 、 ${}^1_0\text{n}$ 。

- 3 因为衰变产物大部分仍然留在矿石中, 所以该矿石的质量没有太大的改变, 选项 A 错误; 经过 2 个半衰期后矿石中剩余的铀还剩 $\frac{m}{4}$, 选项 B 错误; 经过 3 个半衰期后矿石中剩余的铀还剩 $\frac{m}{8}$, 选项 C 正确; 经过 6 个半衰期后, 这块矿石中仍含有铀, 选项 D 错误。

- 4 由光电效应方程可知 $E_k - \nu$ 图线的斜率为普朗克常量 h , 故金属乙发生光电效应时产生光电子的最大初动能与入射光频率的关系图线一定平行于直线 l , 故 A 正确。

- 5 列车启动的过程中加速度恒定, 由匀变速直线运动的速度与时间关系可知 $v = at$, 且列车的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, 由以上整理得 $E_k = \frac{1}{2}ma^2t^2$, 动能与时间的平方成正比, 动能与速度的平方成正比, A、C 错误; 将 $x = \frac{1}{2}at^2$ 代入上式得 $E_k = max$, 则更车的动能与位移成正比, B 正确; 由动能与动量的关系式 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知, 列车的动能与动量的平方成正比, D 错误。

- 6 比结合能越大, 原子核越稳定, 则选项 A 错误; ${}^{238}_{92}\text{U}$ 衰变为 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$, 质量数减少 16, 电荷数减少 6, 由于原子核经过一次 α 衰变, 电荷数减少 2, 质量数减少 4, 经过一次 β 衰变, 电荷数增加 1, 质量数不变, 所以经过了 4 次 α 衰变, 2 次 β 衰变, 则选项 B 正确; α 射线和 β 射线是带电粒子流, γ 射线是光子流, 选项 C 错误; 在电子的单缝衍射实验中, 狭缝越窄, 屏上中央亮条纹越宽, 即能更准确地测得电子的位置, 根据不确定关系 $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$, 可知电子动量的不确定量变得更大, 则选项 D 正确。

- 7 设电子做匀速圆周运动的频率为 f_1 , 则 $f = kf_1$, $T = \frac{1}{f_1} = \frac{k}{f}$ 。

设电子在匀强磁场中匀速圆周运动的速度为 v , 半径为 R , 洛伦兹力提供向心力, 则 $Bev = \frac{mv^2}{R}$ 。

根据匀速圆周运动的规律有 $v = \frac{2\pi R}{T}$,

因 $T = \frac{k}{f}$, 所以 $B = \frac{2\pi mf}{ke}$ 。

- 8 从 $n = 4$ 能级跃迁可能产生的光子有 $N = \frac{4 \times (4 - 1)}{2} = 6$ 种, 选项 A 正确, B 错误; 若产生光电效应, 则光子的能量需要大于 2.7 eV , 故只有分别由第 4 能级跃迁到第 1 能级、第 3 能级跃迁到第 1 能级、第 2 能级跃迁到第 1 能级发出的 3 种频率的光子能使钙发生光电效应, 选项 C 正确, D 错误。

- 9 中子的质量数为 1, 设质量为 m_0 , 该原子核的质量为 Am_0 , 根据动量守恒定律和机械能守恒定律可得 $m_0v_1 = m_0v_2 + Am_0v$, $\frac{1}{2}m_0v_1^2 = \frac{1}{2}m_0v_2^2 + \frac{1}{2}Am_0v^2$, 联立可得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{A+1}{A-1}$, 选项 A 正确。