

教材习题答案

第一章 分子动理论

1 分子动理论的基本内容

◆练习与应用

1. 答案 2.8×10^{-10} m解析 由 $M = \rho V$ 得铜的摩尔体积

$$V = \frac{M}{\rho} = \frac{6.4 \times 10^{-2}}{8.9 \times 10^3} \text{ m}^3/\text{mol} \approx 7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{mol}$$

$$\text{每个铜分子的体积 } V_0 = \frac{V}{N_A} = 1.2 \times 10^{-29} \text{ m}^3$$

把铜分子看成球形

$$\text{则 } V_0 = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3$$

$$\text{所以铜分子的直径 } d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}} \approx 2.8 \times 10^{-10} \text{ m}$$

2. 答案 3.3×10^{-9} m

解析 每个氧气分子占有的体积

$$V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{2.24 \times 10^{-2}}{6 \times 10^{23}} \text{ m}^3 \approx 3.7 \times 10^{-26} \text{ m}^3$$

把每个氧气分子占有的空间看成立方体,立方体的边长即氧气分子间的平均距离,由 $a^3 = V_0$

$$\text{得: } a = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{3.7 \times 10^{-26}} \text{ m} \approx 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

3. 答案 (1) 不正确。布朗运动是分子无规则运动的体现,是悬浮微粒的运动。

(2) 不正确。布朗运动证明液体(或气体)分子的无规则运动。

(3) 不正确。做布朗运动的微粒用肉眼是看不见的,胡椒粉的运动不是水分子撞击不平衡产生的结果,不是布朗运动,不能说明布朗运动与温度的关系。

(4) 正确。煤油中的小粒灰尘的布朗运动是由煤油分子无规则运动对灰尘微粒的撞击作用不平衡引起的。

4. 答案 小张的结论是正确的。小颗粒在不同时刻位置的连线并不是其运动轨迹,其运动轨迹无法准确描述,这些折线是人为的连线,其目的是通过这些折线整体变化的无规则性说明小颗粒运动的无规则性,进而证明液体分子运动的无规则性。

5. 答案 当分子间距离由 r_0 增大时,分子间的引力和斥力都减小,但是斥力比引力减小得快,此过程中引力大于斥力,合力表现为引力。当分子间的距离由 r_0 减小时,分子间的引力和斥力都增大,但斥力增大得更快,此过程中分子间的斥力大于引力,合力表现为斥力。

2 实验:用油膜法估测油酸分子的大小

◆练习与应用

1. 答案 1.5×10^{-3} m解析 将塑料薄膜看成一个柱体,据 $V = Sh$ 和 $V = \frac{m}{\rho}$ 得

$$h = \frac{m}{\rho S} = \frac{3.6 \times 10^{-2}}{1.2 \times 10^3 \times 200 \times 10^{-4}} \text{ m} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

2. 答案 (1) 首先用电子秤称出 1 g 食盐,然后将食盐溶解为 200 mL 的均匀溶液,再取其中的 2 mL 食盐溶液,这 2 mL 食盐溶液含有 0.01 g 食盐,当然要把水分蒸发掉才能得到 0.01 g 的固体食盐。

(2) 所需的器材:刻度尺、量筒、水。测量方法:第一步,截取一段细铁丝,用刻度尺测量出长度 L ;第二步,在量筒中装适量的水,将这段细铁丝放入量筒中,测量出体积 V ;第三步,应用 $S = \frac{V}{L}$ 计算出细铁丝的横截面积 S 。3. 答案 (1) $1.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3$ (2) $2.50 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ (3) $6.8 \times 10^{-10} \text{ m}$

解析 (1) 1 mL 油酸溶液中含纯油酸的体积

$$V_1 = \frac{1}{10^3} \times 1 \text{ mL} = 1 \times 10^{-3} \text{ mL}$$

1 滴油酸溶液中含纯油酸的体积

$$V = \frac{V_1}{58} = \frac{1 \times 10^{-3}}{58} \text{ mL} = 1.7 \times 10^{-5} \text{ mL} = 1.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3$$

$$(2) \text{小方格的面积 } S_1 = 10^{-2} \times 10^{-2} \text{ m}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$$

小方格的格数 $n = 250$

$$\text{油酸膜的面积 } S = nS_1 = 2.50 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

(3) 油酸分子的直径

$$d = \frac{V}{S} = \frac{1.7 \times 10^{-11}}{2.50 \times 10^{-2}} \text{ m} \approx 6.8 \times 10^{-10} \text{ m}$$

3 分子运动速率分布规律

◆练习与应用

1. 答案 有区别。一定质量的气体,体积不变仅温度升高,从微观上看,气体分子的平均速率增大,单位时间内、单位面积上气体分子与器壁的碰撞对器壁的作用力就增大,从而使压强增大;温度不变仅体积减小,从微观上看,气体分子的数密度增大,在单位时间内,与单位面积器壁碰撞的分子数就增多,平均作用力也会增大,从而使压强增大。

2. 答案 相同点:都呈“中间多、两头少”的分布;

不同点:100 °C 的氧气,速率大的分子比例较多,其分子的平均速率比 0 °C 的大。

3. 答案 (1) 乙的压强小于 p 。从微观上看,乙气体分子的数密度比甲小,在单位时间内,与单位面积器壁碰撞的分子数就少,平均作用力也较小,而其他因素与甲气体的相同,所以产生的压强较小。(2) 丙的压强大于 p 。从微观上看,丙气体分子的平均速率比甲大,单位时间内、单位面积上气体分子与器壁的碰撞对器壁的作用力就大,而其他因素与甲气体的相同,所以产生的压强较大。(3) 丁的压强大于 p 。从微观上看,丁气体分子的数密度比甲大,在单位时间内,与单位面积器壁碰撞的分子数就多,平均作用力也较大;并且丙气体分子的平均速率比甲大,单位时间内、单位面积上气体分子与器壁的碰撞对器壁的作用力就大,所以产生的压强较大。

4. 答案 还可以统计“在某区域、某时段共享单车停放位置的人

数”“在某区域、某时段沿某道路特定方向骑行的人数”等。利用“在某区域、某时段沿不同道路骑行的人数”规划具体线路,利用“在某区域、某时段沿某道路骑行超过 1 km、2 km、3 km 的人数”和“在某区域、某时段共享单车停放位置的人数”规划公交站的位置,利用“在某区域、某时段沿某道路特定方向骑行的人数”规划公交车发车的时间、车次频率等。

4 分子动能和分子势能

◆练习与应用

- 答案** 水的内能发生了变化。尽管温度不变,分子动能不变,但是水滴蒸发变成了水蒸气,其分子势能发生了变化。
- 答案** 铁块的内能发生了变化。铁块的温度发生变化,其内能发生变化。
- 答案** 不对。分子动能是分子做热运动具有的动能。物体做整体的运动的动能是机械能的一部分,它对物体的内能没有贡献。
- 答案** 不对。分子势能的大小由分子间的相对位置和分子间的相互作用力决定。物体的重力势能是机械能的一部分,它对物体的内能没有贡献。

◆复习与提高

A 组

- 答案** 分子在做永不停息的无规则运动,分子具有热运动的动能,所以任何物体都具有内能。物体的体积不变,分子势能不变,温度升高时,分子动能增加,则其内能增加。
- 答案** 当分子间的距离从 $0.9r_0$ 增大到 $10r_0$ 的过程中,由分子间的作用力与分子间距离的关系可知,分子间的作用力先减小后增大再减小;由分子势能与分子间距离的关系可知,分子势能先减小后增加。

$$3. \text{答案} \quad \frac{m}{M} N_A \quad d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}$$

解析 质量为 m 的钻石所含有的分子数: $N = n N_A = \frac{m}{M} N_A$

$$\text{钻石分子的体积: } V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$$

建立钻石分子的球体模型,设钻石分子的直径为 d ,有

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$$

$$\text{得出: } d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}$$

$$4. \text{答案} \quad 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

解析 在标准状况下,每摩尔气体占有的体积 $V_{\text{mol}} = 22.4 \text{ L}$

$$\text{平均每个气体分子所占立方体空间的体积: } V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A}$$

设每个气体分子占有空间的边长为 a ,有 $V_0 = a^3$

$$\text{得出: } a = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{mol}}}{N_A}} \approx 3.34 \times 10^{-9} \text{ m}$$

B 组

$$1. \text{答案} \quad (1) 1.34 \times 10^{18} \quad (2) 1.25 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

$$\text{解析} \quad (1) \text{铁分子的体积: } V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$$

建立铁分子的球体模型,设铁分子的直径为 d ,有

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$$

$$\text{得出 } d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}} \approx 2.83 \times 10^{-10} \text{ m}$$

这条“分子大道”共需铁分子的个数

$$N = \frac{3.8 \times 10^8 \text{ m}}{2.83 \times 10^{-10} \text{ m}} = 1.34 \times 10^{18}$$

$$(2) \text{这条“分子大道”的质量: } m = \frac{N}{N_A} M = 1.25 \times 10^{-7} \text{ kg}$$

2. **答案** 甲同学的偏大,乙同学的偏小,丙同学的偏小。

甲同学的油酸酒精溶液浓度的计算值偏大,则一滴油酸溶液中含纯油酸体积的计算值偏大,由分子直径 $d = \frac{V}{S}$ 可知,

实验测得的油酸分子直径偏大。乙同学的每滴油酸酒精溶液的体积的计算值偏小,则一滴油酸溶液中含纯油酸体积的计算值偏小,由分子直径 $d = \frac{V}{S}$ 可知,实验测得的油酸分子直径

偏小。丙同学的油膜面积的计算值偏大,由分子直径 $d = \frac{V}{S}$ 可知,实验测得的油酸分子直径偏小。

3. **答案** 根据所得数据发现,硬币正面朝上的次数接近总共投掷次数的一半。

第二章 气体、固体和液体

1 温度和温标

◆练习与应用

- 答案** “金属块在沸水中加热,经过一段时间”达到“热平衡”,用温度计测量金属块与水的共同温度达到“热平衡”。
- 答案** 300.15 K $-270.65 \text{ } ^\circ\text{C}$
解析 由 $T = t + 273.15 \text{ K}$ 得 $T = (27 + 273.15) \text{ K} = 300.15 \text{ K}$
由 $T = t + 273.15 \text{ K}$ 得 $t = (2.5 - 273.15) \text{ } ^\circ\text{C} = -270.65 \text{ } ^\circ\text{C}$
- 答案** $X = kT$ $X = k(t + 273.15 \text{ K})$ $X-T$ 图像和 $X-t$ 图像的草图略。
- 答案** t_1 标在电流比较大的刻度上

解析 设电源的电动势为 E ,内阻为 r

据题图乙,由闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R + r} \quad \text{①}$$

根据题图甲知, R 与 t 为一次函数关系

$$\text{设 } R = R_0 + kt \text{ (} k \text{ 为常数, } R_0 \text{ 为常数)} \quad \text{②}$$

$$\text{由①②式得 } I = \frac{E}{R_0 + r + kt} \quad \text{③}$$

因 E 、 r 、 R_0 均为常数,由③式知, t 越小, I 越大,电流表上代表 t_1 、 t_2 的两点, t_1 应标在电流比较大的刻度上。

2 气体的等温变化

◆练习与应用

- 答案** 小王仅用两组数据得出其定量规律的做法是不科学的。一般情况下,研究物理量之间定量关系时,需要通过对大量数据进行分析。而小李的看法也不对。错误原因有两个:
一、仅用两组数据确定物理量之间的线性关系的做法是不科

学的(和小王同样的错误);二、若 p 与 $1/V$ 成正比,两组数据的连线不过原点可能是由偶然误差引起的,不能因两点连线不过原点而判断它们不是正比关系。

2. 答案 在 T_2 温度下的等温线对应温度比较高。由于在体积相等的情况下温度高时气体的压强大,由图可知在 T_2 温度下的等温线对应温度比较高。

3. 答案 见解析

解析 将打气前球内的气体和 20 次打入的气体整体作为研究对象,利用玻意耳定律进行求解。

打气前气体的状态参量为

$$p_1 = p_0, V_1 = 2.5 \text{ L} + 20 \times 125 \times 10^{-3} \text{ L} = 5.0 \text{ L}$$

打气后气体的状态参量为 $V_2 = 2.5 \text{ L}$

$$\text{由玻意耳定律得 } p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{p_0 \times 5.0 \text{ L}}{2.5 \text{ L}} = 2p_0$$

得出此结论的前提是打气过程中温度保持不变,实际打气时由于压缩气体做功,气体的温度会升高。

4. 答案 756 mm

解析 气泡的初状态参量为

$$p_1 = 768 \text{ mmHg} - 750 \text{ mmHg} = 18 \text{ mmHg}, V_1 = 80S$$

气泡的末状态参量为 $V_2 = (750 - 740 + 80)S = 90S$

$$\text{由玻意耳定律得 } p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{18 \times 80S}{90S} = 16 \text{ mmHg}$$

$$p_0' = p_2 + 740 \text{ mmHg} = 756 \text{ mmHg}$$

3 气体的等压变化和等容变化

◆ 练习与应用

1. 答案 漏气 假设钢瓶不漏气,则由查理定律得 $p_2 = \frac{p_1 T_2}{T_1} = \frac{9.31 \times 10^6 \times 260}{290} \text{ Pa} \approx 8.35 \times 10^6 \text{ Pa}$ 。由于 $p_2 = 8.35 \times 10^6 \text{ Pa} > 8.15 \times 10^6 \text{ Pa}$,所以钢瓶漏气。

2. 答案 48 N

解析 小罐内空气的体积不变,由查理定律可知 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$,即

$$\frac{p_0}{273+80} = \frac{p_2}{273+20}$$

$$\text{解得 } p_2 = \frac{273+20}{273+80} p_0 = \frac{293}{353} p_0$$

$$\text{小罐内外的压强差为 } \Delta p = p_0 - p_2 = \frac{60}{353} p_0$$

设罐口的横截面积为 S ,则小罐对皮肤的压力

$$F = \Delta p S = \frac{60}{353} p_0 S$$

小罐开口部位的直径约为 6 cm, $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$,

则小罐对皮肤的压力大概为

$$F = \frac{60}{353} \times 1.0 \times 10^5 \times \pi (3 \times 10^{-2})^2 \text{ N} \approx 48 \text{ N}$$

3. 答案 (1) 刻度是均匀的 (2) 23~27 °C

解析 (1) 由盖-吕萨克定律得 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1 - V_2}{T_1 - T_2} = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ 。

设吸管内部的横截面积为 S ,内部在 25 °C 时的热力学温度为 T_1 ,体积为 V_1 ,当温度变化 Δt 时油柱移动的距离为 Δl ,

$$\text{则有 } \frac{V_1}{T_1} = \frac{\Delta l S}{\Delta t}, \text{ 即 } \Delta t = \frac{T_1 S}{V_1} \Delta l。$$

由上式可以看出, Δt 与 Δl 成正比关系,所以给吸管上标刻温度值时,刻度是均匀的。

(2) 当温度为 25 °C 时,气体的热力学温度为 $T_1 = (273 + 25) \text{ K} = 298 \text{ K}$,气体的体积为 $V_1 = 360 \text{ cm}^3 + 0.2 \times 10 \text{ cm}^3 = 362 \text{ cm}^3$ 。

解法一:当温度降低时,气体体积减小,油柱向罐的开口处移动,移至开口处时,气体的温度最低,此时气体的体积为 $V_2 = 360 \text{ cm}^3$ 。

$$\text{由盖-吕萨克定律得 } T_2 = \frac{V_2}{V_1} T_1 = \frac{360}{362} \times 298 \text{ K} \approx 296 \text{ K}, \text{ 即}$$

$$t_2 = (T_2 - 273) \text{ °C} = 23 \text{ °C}。$$

当温度升高时,气体体积增大,油柱向管口处移动,移至管口处时,气体的温度最高,此时气体的体积为 $V_3 = 360 \text{ cm}^3 + 0.2 \times 20 \text{ cm}^3 = 364 \text{ cm}^3$ 。

$$\text{由盖-吕萨克定律得 } T_3 = \frac{V_3}{V_1} T_1 = \frac{364}{362} \times 298 \text{ K} \approx 300 \text{ K}, \text{ 即}$$

$$t_3 = (T_3 - 273) \text{ °C} = 27 \text{ °C}。$$

所以这个气温计的测量范围为 23~27 °C。

解法二:由(1)中的结论可得,油柱移动 10 cm 对应的温

度变化为 $\Delta t = \frac{T_1 S}{V_1} \Delta l = \frac{298 \times 0.2}{362} \times 10 \text{ °C} \approx 1.6 \text{ °C}$ 。所以这个气温计的测量范围为 $(25 \text{ °C} - 1.6 \text{ °C}) \sim (25 \text{ °C} + 1.6 \text{ °C})$,即约为 23~27 °C。

4. 答案 $\frac{l_2 T_1 - l_1 T_2}{T_2 - T_1} S$

解析 设容器容积为 V

封闭空气的初状态参量为

$$V_1 = l_1 S + V, T_1$$

封闭空气的末状态参量为

$$V_2 = l_2 S + V, T_2$$

$$\text{由盖-吕萨克定律得 } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\text{即 } \frac{l_1 S + V}{T_1} = \frac{l_2 S + V}{T_2}$$

$$\text{解得 } V = \frac{l_2 T_1 - l_1 T_2}{T_2 - T_1} S$$

4 固体

◆ 练习与应用

1. 答案 实验时,在平面直角坐标轴中所取的两点 x_1 和 y_1 的位置若处在晶体分子排列的对称位置上时,测温元件温度变化也会相同,无法体现晶体与非晶体的各向异性与各向同性的差异,即使实验中观察到这种薄片在导热特性上为各向同性,也不能确定它为非晶体,因为多晶体也具有各向同性,从这两方面看,该实验结果缺乏科学性。

2. 答案 还需知道氯化钠的摩尔质量 M 和阿伏加德罗常数 N_A 。

$$\text{相邻两个钠离子中心距离为 } \sqrt{2} \times \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}。$$

具体推导过程如下。

每摩尔氯化钠晶体内的离子总数为 $2N_A$, 其摩尔体积 $V = \frac{M}{\rho}$ 。则每个离子所占的体积: $V_0 = \frac{V}{2N_A} = \frac{M}{2\rho N_A}$ 。

由氯化钠晶体的结构图可知: V_0 即八个离子中心所夹的正方体的体积, 该正方体边长:

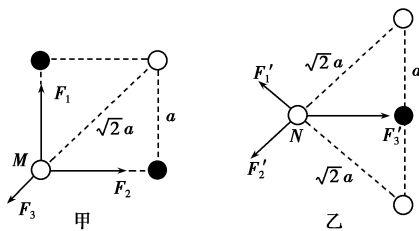
$$d = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}$$

故最近的两个钠离子中心距离 $r = \sqrt{2} \times \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}$ 。

3. 答案 见解析

解析 (1) 钠离子 M 和 N 受到的扇形区域内钠离子和氯离子的库仑力作用如图甲、乙所示。

设各离子带电荷量为 e , 正方形边长为 a 。



由甲图知钠离子 M 受力: $F_1 = k \frac{e^2}{a^2} = F, F_2 = k \frac{e^2}{a^2} = F, F_3 = k \frac{e^2}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{F}{2}$, 各力方向如图甲所示。

则钠离子 M 受到 F_1, F_2, F_3 作用的合力: $F_M = \sqrt{2}F - \frac{F}{2} = \frac{2\sqrt{2}-1}{2}F$, 方向指向扇形区域内另一钠离子方向。

由乙图知钠离子 N 受力: $F'_1 = k \frac{e^2}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{F}{2}, F'_2 = k \frac{e^2}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{F}{2}, F'_3 = k \frac{e^2}{a^2} = F$, 各力方向如图乙所示。

钠离子 N 受到 F'_1, F'_2, F'_3 作用的合力: $F_N = F - \frac{\sqrt{2}F}{2} = \frac{2-\sqrt{2}}{2}F$, 方向指向扇形区域内氯离子方向。

(2) 由上面计算可知沿同一种离子方向的直线 AA_1 两边离子间内聚作用力较大, 不易分开, 沿正、负离子相间方向的直线 BB_1 两边离子间内聚作用力较小, 较容易分开。因此敲碎岩盐时岩盐总是沿平行于钠离子、氯离子相间的 BB_1 方向断开, 成立方体形状的晶粒, 不会沿平行于同一种离子的 AA_1 方向的分界线断开。

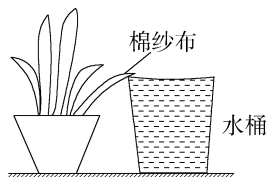
5 液体

◆练习与应用

- 答案** 玻璃管的裂口烧熔后, 熔化的玻璃的表面层在表面张力作用下收缩到最小表面积, 从而使断裂处的尖端变钝。
- 答案** 会呈现标准的球形。在处于失重状态的宇宙飞船中, 由于消除了重力的影响, 水银的表面层在表面张力作用下收缩到最小表面积, 所以呈现球形。
- 答案** 针能浮在水面上是由于水面的表面张力的作用。把针按入水面, 液面对针无作用力, 针的重力大于浮力, 针自然要下沉。

4. 答案 在衣料上、下的棉纸内有许多细小的孔道起着毛细管的作用, 当蜡受热熔化成液体后, 由于毛细现象, 它们就会被棉纸吸掉。

5. 答案 首先要有一个较大的盛水容器, 可以用水桶或大的盆; 棉纱布里有很多毛细管, 可以利用棉纱布发生毛细现象实现连续少量浇水, 因此可以设计如图所示的自动浇水装置。

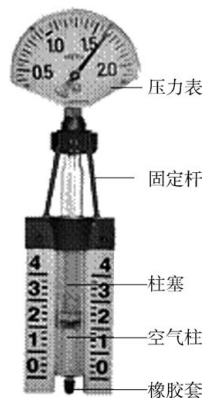


6. 答案 应选用酱油不浸润的材料(即黄颜色的那种)。因为用酱油不浸润的材料做瓶口, 瓶口不易附着酱油。

◆复习与提高

A 组

1. 答案 有压强。因为气体对容器的压强并不是因为气体重力产生的, 而是大量气体分子不断撞击器壁的结果。可以利用“探究气体等温变化的规律”的实验装置, 如图所示, 将注射器和压力表固定在一起自由下落, 观察压力表的读数, 或通过频闪照相记录压力表的读数, 若压力表的读数不为零, 则验证了猜想。



2. 答案 41.7 cm

解析 设细管的截面积为 S , 则封闭气体的初始体积为 $V_1 = L_1 S = 50 \text{ cm} \times S$, 初始压强为 $p_1 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

停止进水时, 封闭气体体积为 $V_2 = L_2 S = 48 \text{ cm} \times S$, 设压强为 p_2

由玻意耳定律有 $p_1 V_1 = p_2 V_2$

解得 $p_2 = \frac{25}{24} \times 10^5 \text{ Pa}$

设洗衣缸内水位高度为 h , 则 $p_2 = p_1 + \rho gh$

其中 $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

解得 $h = 41.7 \text{ cm}$

3. 答案 $\frac{p_0 l_0 S}{p_0 S - mg}$

解析 汽缸内空气柱的初始压强为 p_0 , 初始体积: $V_0 = l_0 S$

汽缸悬在空中保持静止时, 空气柱的压强: $p_1 = p_0 - \frac{mg}{S}$, 设

汽缸内空气柱长度为 l_1

由玻意耳定律有 $p_0 l_0 S = p_1 l_1 S$

解得 $l_1 = \frac{p_0 l_0 S}{p_0 S - mg}$

4. 解析 (1) $A \rightarrow B$ 过程为等压变化, 由盖-吕萨克定律有 $\frac{V_A}{T_A} =$

$$\frac{V_B}{T_B}, \text{ 即 } \frac{0.3 \text{ m}^3}{300 \text{ K}} = \frac{V_B}{400 \text{ K}}$$

$$\text{解得 } V_B = 0.4 \text{ m}^3$$

(2) $B \rightarrow C$ 过程为等容变化, 则容器中气体分子的数密度不变, 温度由 400 K 降低到 300 K, 则气体分子的平均速率变小, 单位时间内、单位面积上气体分子与器壁的碰撞对器壁的作用力就变小, 所以压强变小。

5. 答案 0.97

解析 设教室的体积为 V_0 , 在温度为 17 °C 时教室内的这些空气, 到温度为 27 °C 时体积变为 V_1 , 过程为等压变化, 由盖-吕

$$\text{萨克定律有 } \frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}, \text{ 即 } \frac{V_0}{290 \text{ K}} = \frac{V_1}{300 \text{ K}}$$

$$\text{则下午 2 时与上午 8 时教室内的空气质量的比值为 } \frac{V_0}{V_1} =$$

$$\frac{290 \text{ K}}{300 \text{ K}} \approx 0.97$$

6. 答案 43 °C

解析 设两个不锈钢碗刚被扣上时, 里面空气的温度是 t , 两

碗内空气的体积不变, 由查理定律可知 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, 即

$$\frac{p_0}{273+t} = \frac{p_2}{273+15}$$

$$\text{解得 } p_2 = \frac{273+15}{273+t} p_0 = \frac{288}{273+t} p_0$$

$$\text{两碗内外的压强差为 } \Delta p = p_0 - p_2 = \frac{t-15}{273+t} p_0$$

设两碗口的横截面积为 S , 则在拉力方向碗内外的压力差为 $\Delta F = \Delta p S = \frac{t-15}{273+t} p_0 S$

碗口的直径为 20 cm, $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\Delta F = 5 \times 200 \text{ N} = 1\,000 \text{ N}$

$$\text{则 } 1\,000 \text{ N} = \frac{t-15}{273+t} \times 1.0 \times 10^5 \times \pi (10 \times 10^{-2})^2 \text{ N}$$

$$\text{解得: } t \approx 150 \text{ °C}$$

7. 答案 270 K

解析 由图可以设状态 A 的压强 $p_A = 10p$, 体积 $V_A = 3V$, 则

状态 B 的压强 $p_B = 10p$, 体积 $V_B = 9V$

状态 C 的压强 $p_C = 3p$, 体积 $V_C = 9V$

$A \rightarrow B$ 过程为等压变化, 由盖-吕萨克定律有 $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$, 即

$$\frac{3V}{300 \text{ K}} = \frac{9V}{T_B}$$

$$\text{解得 } T_B = 900 \text{ K}$$

$B \rightarrow C$ 过程为等容变化, 由查理定律可知 $\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$, 即

$$\frac{10p}{900 \text{ K}} = \frac{3p}{T_C}$$

$$\text{解得 } T_C = 270 \text{ K}$$

8. 答案 土壤里有很多毛细管, 地下的水分可以沿着它们上升到地面。如果要保存地下的水分, 就要把地面的土壤锄松, 破坏这些土壤里的毛细管。

B 组

1. 答案 (1) 22 cm (2) 显示温度比实际温度高

解析 (1) 初始状态的温度 $T_1 = 300 \text{ K}$, 压强 $p_1 = (76 - 16) \text{ cmHg} = 60 \text{ cmHg}$

末状态的温度 $T_2 = 270 \text{ K}$, 压强 $p_2 = (76 - x) \text{ cmHg}$

过程为等容变化, 由查理定律可知 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$, 即 $\frac{60 \text{ cmHg}}{300 \text{ K}} =$

$$\frac{(76-x) \text{ cmHg}}{270 \text{ K}}$$

$$\text{解得 } x = 22 \text{ cm}$$

(2) 由查理定律可知 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{\Delta p}{\Delta T}$, 则 $\Delta T = \frac{T_1}{p_1} \Delta p$

设管内水银面移动的距离为 Δx , 则 $\Delta T = \frac{T_1}{p_1} \rho g \Delta x$,

27 °C 时环境真实压强比标准大气压小, $\frac{T_1}{p_1}$ 的值就偏大,

在管内水银面移动的距离 Δx 相同的情况下, 实际温度的改变量 ΔT 就大; 也就是说, 管内水银面移动到刻度为 “-3 °C” 的位置时, 实际温度要低于 -3 °C, 即显示温度比实际温度高。

2. 答案 锁扣扳下后, 吸盘中的空气的体积增加, 压强减小, 则吸盘中空气的压强小于外界的大气压, 吸盘内外存在压强差, 所以盘盖对吸盘会产生很大的压力。

3. 答案 77.7 cm³

解析 已知容器 C 和管 A 的总体积 $V = 1\,000 \text{ cm}^3$, 设容器 B 的体积为 V_B

在操作步骤 a 和 b 的过程中, 容器中气体的初状态的压强为 p_0 , 体积 $V_0 = V + V_B$

末状态两管水银面高度差 $h_1 = 19.0 \text{ cm}$, 末状态的压强

$p_1 = p_0 + p_{h_1}$, 体积 $V_1 = V$

由玻意耳定律有 $p_0 V_0 = p_1 V_1$, 即 $p_0 (1\,000 \text{ cm}^3 + V_B) = (p_0 + 19.0 \text{ cmHg}) \cdot 1\,000 \text{ cm}^3$ ①

在操作步骤 c 和 d 的过程中, 设被测固体的体积为 ΔV

容器中气体的初状态的压强 $p_2 = p_0$, 体积 $V_2 = V - \Delta V + V_B$

末状态两管水银面高度差 $h_2 = 20.6 \text{ cm}$, 末状态的压强

$p_3 = p_0 + p_{h_2}$, 体积 $V_3 = V - \Delta V$,

由玻意耳定律有 $p_2 V_2 = p_3 V_3$, 即 $p_0 (1\,000 \text{ cm}^3 - \Delta V + V_B) = (p_0 + 20.6 \text{ cmHg}) (1\,000 \text{ cm}^3 - \Delta V)$ ②

$$\text{联立①②两式解得 } \Delta V = \frac{1.6}{20.6} \times 1\,000 \text{ cm}^3 \approx 77.7 \text{ cm}^3$$

4. 答案 $2.032 \times 10^5 \text{ Pa} \leq p \leq 2.777 \times 10^5 \text{ Pa}$

解析 100 °C 温度下的最高胎压不超过 $3.535 \times 10^5 \text{ Pa}$, 则 20 °C 时胎压不能过大,

初始状态的温度 $T_1 = (273 + 20) \text{ K} = 293 \text{ K}$, 设压强为 p_1 ;

末状态的温度 $T_2 = (273 + 100) \text{ K} = 373 \text{ K}$, 压强 $p_2 = 3.535 \times 10^5 \text{ Pa}$

$$\text{由查理定律可知 } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ 即 } \frac{p_1}{293 \text{ K}} = \frac{3.535 \times 10^5 \text{ Pa}}{373 \text{ K}}$$

$$\text{解得 } p_1 = 2.777 \times 10^5 \text{ Pa}$$

-40 °C 温度下的最低胎压不低于 $1.616 \times 10^5 \text{ Pa}$, 则 20 °C 时胎压不能过小,

初始状态的温度 $T_3 = (273 + 20) \text{ K} = 293 \text{ K}$, 设压强为 p_3 ;

末状态的温度 $T_4 = (273 - 40) \text{ K} = 233 \text{ K}$, 压强 $p_4 = 1.616 \times 10^5 \text{ Pa}$

由查理定律可知 $\frac{p_3}{T_3} = \frac{p_4}{T_4}$, 即 $\frac{p_3}{293 \text{ K}} = \frac{1.616 \times 10^5 \text{ Pa}}{233 \text{ K}}$

解得 $p_3 = 2.032 \times 10^5 \text{ Pa}$

所以充气后比较合适的胎压范围为 $2.032 \times 10^5 \text{ Pa} \leq p \leq 2.777 \times 10^5 \text{ Pa}$

5. 答案 见解析图

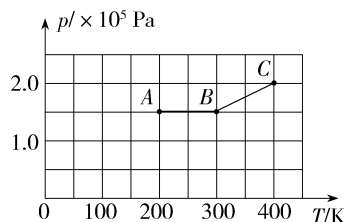
解析 从 $V-T$ 图像中可以直观地看出, 气体在 A 、 B 、 C 各状态下温度和体积分别为 $T_B = 300 \text{ K}$, $T_C = 400 \text{ K}$, $V_A = 0.4 \text{ m}^3$, $V_B = V_C = 0.6 \text{ m}^3$; 气体在 A 、 B 状态下的压强为 $p_A = p_B = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$

根据理想气体状态方程 $\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} = \frac{p_C V_C}{T_C}$, 即

$$\frac{1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 0.4 \text{ m}^3}{T_A} = \frac{1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \times 0.6 \text{ m}^3}{300 \text{ K}} = \frac{p_C \times 0.6 \text{ m}^3}{400 \text{ K}}$$

可得 $T_A = 200 \text{ K}$, $p_C = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$

作出气体由状态 A 经过状态 B 变为状态 C 的 $p-T$ 图像如下图所示



6. 答案 27.5 cm

解析 设大气压强为 p_0 , 玻璃管的横截面积为 S , 当玻璃管开口向下竖直放置时, 封闭空气的压强 $p_1 = p_0 - 6.8 \text{ cmHg}$, 体积 $V_1 = l_1 S$;

玻璃管开口水平放置时, 封闭空气的压强 $p_2 = p_0$, 则体积 $V_2 = l_2 S$;

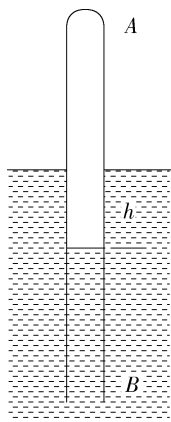
玻璃管开口向上竖直放置时, 封闭空气的压强 $p_3 = p_0 + 6.8 \text{ cmHg}$, 设空气柱的长度为 l_3 , 则体积 $V_3 = l_3 S$;

由玻意耳定律有 $p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_3 V_3$, 即

$$(p_0 - 6.8 \text{ cmHg}) \times 33 \text{ cm} = p_0 \times 30 \text{ cm} = (p_0 + 6.8 \text{ cmHg}) \times l_3$$

解得 $l_3 = 27.5 \text{ cm}$

7. 答案 玻璃管竖直地浮在水中时, 水对玻璃管的浮力等于玻璃管的重力, 设此时玻璃管内空气的长度为 L , 管内外液面的高度差为 h , 如图所示。



将玻璃管往下压一点, 假设管内外液面的高度差 h 不变, 那么玻璃管内空气的长度 L 就减小了, 根据玻意耳定律可知管内空气的压强将增加, 那么, 管内外液面的高度差 h 将不是

假设的情景, 而是 h 变大; 因此, 水对玻璃管的浮力增加了, 大于玻璃管的重力, 则放手后玻璃管会返回原来的平衡位置。

第三章 热力学定律

1 功、热和内能的改变

◆练习与应用

1. 答案 在图 3.1-1 实验中是机械能转化为系统的内能。在图 3.1-2 实验中是机械能先转化为电能, 电能再转化为系统的内能。

2. 答案 (1) 从外界吸收热量, 内能增加。

(2) 向外界放出热量, 内能减小。

3. 答案 气体在绝热膨胀时温度降低, 因为气体对外做功, 内能减小。气体在绝热压缩时温度升高, 因为外界对气体做功, 内能增加。

4. 答案 123°C

解析 铅弹打入木块后停在木块中, 克服摩擦阻力做功, 其动能全部转化为系统的内能, 则系统内能增加

$$\Delta U = W = -\Delta E_k = -\left(0 - \frac{1}{2}mv^2\right) = \frac{1}{2}mv^2 \quad ①$$

$$\text{依题意, 铅增加内能 } \Delta U' = 80\% \Delta U \quad ②$$

$$\text{且 } \Delta U' = Q_{\text{吸}} = cm\Delta t \quad ③$$

联立①②③式并代入已知得: $\Delta t = 123^\circ\text{C}$

2 热力学第一定律

◆练习与应用

1. 答案 内能增加 690 J

解析 由热力学第一定律知: $\Delta U = Q + W = -210 \text{ J} + 900 \text{ J} = 690 \text{ J}$ 。

2. 答案 (1) Q_2 大些 (2) 见解析

解析 (1) 把活塞和汽缸固定, 使空气升温, 属于等容升温过程, $W = 0$, 空气内能的变化等于吸收的热量 Q_1 , 即 $\Delta U = Q_1$ 。如果让活塞可以自由滑动, 汽缸内空气做等压升温变化, 气体体积增加, 气体对外界做功, $W < 0$, 由热力学第一定律知 $\Delta U = Q_2 + W$, 由于空气升高相同的温度, 两种情况中内能增量相同, 则 $Q_2 = \Delta U - W > Q_1$ ($W < 0$)。

(2) 气体在等压升温过程中体积膨胀, 对外界做功, 而在等容升温过程中不需对外界做功, 由 $Q_2 > Q_1$ 及 $Q = cm\Delta t$ 可判定升高相同的温度, 吸收热量多的比热容大。

注意: ①在公式 $\Delta U = Q + W$ 中, 系统对外界做功 $W < 0$, 外界对系统做功 $W > 0$ 。

②比热容不同, 是由升高相同温度情况下吸收的热量不同造成的。

3. 答案 0.143°C

解析 按一层楼 3 m 计算, 20 层的高度: $h = 20 \times 3 \text{ m} = 60 \text{ m}$ 。

设单位时间内落下的水的质量为 m , 并将所有机械能转化为内能被水全部吸收, 则有 $\Delta E = Q$, 即 $cm\Delta t = mgh$, 得 $\Delta t =$

$$\frac{gh}{c} = \frac{10 \times 60}{4.2 \times 10^3}^\circ\text{C} = 0.143^\circ\text{C}。$$

4. 答案 $1.41 \times 10^8 \text{ J}$

解析 $Q = cm\Delta t \cdot t = 4.2 \times 10^3 \times 400 \times (37.0 - 33.5) \times 24 \text{ J} = 1.41 \times 10^8 \text{ J}$ 。

3 能量守恒定律

◆练习与应用

1. 答案 (1) 不符合能量守恒定律。因为永久磁铁间的作用力无法提供源源不断的能量,无法造一台永远转动的机械。

(2) 不符合能量守恒定律。因为没有动力系统,无法提供给船用来克服水的阻力的能量。

(3) 符合能量守恒定律。因为太阳照射飞机可以给飞机提供能量,使飞机不带燃料也能飞行。

2. 答案 462 层

解析 这瓶饮料的能量 $E = 180 \times 5 \text{ kJ} = 900 \text{ kJ}$

成年人的质量约为 $m = 65 \text{ kg}$

每层楼的高度约为 $h = 3.0 \text{ m}$

设成年人爬楼层数为 n , 则 $E = nmgh$

解得 $n = 461.5 \text{ 层} = 462 \text{ 层}$

3. 答案 $4.2 \times 10^4 \text{ J}$

解析 设阳光直射时地面上每平方米每分钟接受的太阳能量为 P , 则 $PSt = cm\Delta t$ 。则 $P = \frac{cm\Delta t}{St} = \frac{4.2 \times 10^3 \times 0.6 \times 1}{0.03 \times 2} \text{ J}/(\text{min} \cdot \text{m}^2) = 4.2 \times 10^4 \text{ J}/(\text{min} \cdot \text{m}^2)$ 。

4 热力学第二定律

◆练习与应用

1. 答案 化学能变成了汽缸内气体的内能,一部分内能转化为汽车的动能,另一部分散失到周围环境中成为环境的内能,汽车的动能由于摩擦转化为环境的内能。汽缸内气体的内能还有一部分通过汽车发电机转化为蓄电池内的化学能,使用蓄电池时,这部分化学能转化为电能又通过车灯转化为光能,光照射到地面、空气,转化为环境的内能。

2. 答案 (3)(4) 能够发生,不违背热力学第二定律,(1)(2) 不能够发生。

解析 (3) 桶中混浊的泥水在静置一段时间后,泥沙下沉,上面的水变清,泥水自动分离是因为泥沙的重力大于水,故能够发生。

(4) 电冰箱内部的温度比外部低,但是制冷系统还能不断地把箱内的热量传给外界的空气,这是因为电冰箱消耗的电能对制冷系统做了功。这个过程不是自发进行的,它引起了其他变化,即消耗了电能,因此它不违背热力学第二定律。

3. 答案 不可行。对于密闭的房间,可以认为与外界无热交换,把冰箱接通电源,冰箱消耗的电能最终转化为房间内物质的内能,房间的温度将升高。

◆复习与提高

A 组

1. 答案 外界对木材做了功,内能增加,温度升高。当温度达到木材的燃点时,发生自燃。

2. 答案 搓一搓手能让手暖和起来,这是利用做功将机械能转化为内能的原理。将手放到棉衣口袋里能让手暖和起来,棉衣能大大减小手上热量的散失,达到保暖的效果。捧一杯热水让手暖和起来,这利用了传热增加手的内能。

3. 答案 气体在绝热容器中不会与外界发生热交换,由于 B 内为真空, A 内气体进入 B 的过程中,没有做功,所以气体内能没有变化。

4. 答案 在上浮过程中,气泡内空气的压强变小,体积变大,则气体对外做功;又由于恒温水槽中气泡的内能保持不变,则气泡吸热。

5. 答案 活塞向左移动过程中,因体积增大,容器中气体分子的数密度变小,在单位时间内,与单位面积器壁碰撞的分子数就变少;又因封闭气体做等压变化,气体压强不变,则气体分子的平均速率是增大的,气体分子的平均动能是增加的,不考虑封闭气体的分子势能,所以气体内能会增加。

6. 答案 见解析

解析 为了求出燃气灶烧水的效率,需要知道烧水时间、水的比热容、水的密度、单位体积的燃气完全燃烧放出的热量 q 。求出烧水过程消耗的燃气完全燃烧时放出的热量 $Q = q\Delta V = q(V_2 - V_1)$, 2.5 L 水烧开所需吸收的热量为 $Q_{\text{吸}} = cm\Delta t = c\rho_{\text{水}}V_{\text{水}}\Delta t$, 所以效率为 $\eta = \frac{Q_{\text{吸}}}{Q} = \frac{c\rho_{\text{水}}V_{\text{水}}\Delta t}{q(V_2 - V_1)}$, 式中各量都用国际单位制中的单位。

B 组

1. 答案 (1) 正确。空调在制冷过程中产生的新热量也要向室外放出,所以向室外放出的热量大于从室内吸收的热量。

(2) 不正确。人工降低海水温度需要消耗能量,这种方法不能解决能源短缺的问题。

(3) 正确。热机的工质吸收的热量不会全部变成功,例如,汽车排出气体的温度一定会比空气的温度高,它会向空气散热。

(4) 不正确。自然界的能量并不会减少,形成“能源危机”原因是可利用能源的品质降低。

2. 答案 不会。因为一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的。

3. 答案 (1) $(1 + \frac{d}{h_0})T_0$ (2) $Q - p_0Sd - mgd$

解析 (1) 密封气体初状态的温度为 T_0 , 体积为 $V_0 = h_0S$

末状态的温度等于外界空气的温度,设为 T_1 , 体积为 $V_1 = (h_0 + d)S$

由盖-吕萨克定律有 $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$

解得: $T_1 = (1 + \frac{d}{h_0})T_0$

(2) 密封气体的压强 $p = p_0 + \frac{mg}{S}$

气体对外界做的功为 $W = -pSd = -(p_0 + \frac{mg}{S})Sd = -(p_0Sd + mgd)$

由热力学第一定律有 $\Delta U = Q + W$

得出 $\Delta U = Q - p_0Sd - mgd$

4. 答案 增加了 240 J

解析 气体对外界做的功为 $W = -pSd = -p\Delta V = -0.4 \times 10^5 \times 2.0 \times 10^{-3} \text{ J} = -80 \text{ J}$

由热力学第一定律有 $\Delta U = Q + W$

得出 $\Delta U = 300 \text{ J} - 80 \text{ J} = 240 \text{ J}$

5. 答案 (1) 增加 160 J (2) 10 J 后一个问题的过程不符合实际情况

解析 (1) 气体从状态 A 变为状态 B , 由热力学第一定律有

$$\Delta U = Q + W$$

$$\text{得出 } \Delta U = 280 \text{ J} - 120 \text{ J} = 160 \text{ J}$$

所以气体的内能增加 160 J

(2) 气体从状态 B 变回状态 A, 气体内能的变化量

$$\Delta U' = -160 \text{ J}$$

由热力学第一定律有 $\Delta U' = Q' + W'$

$$\text{得出 } W' = \Delta U' - Q' = -10 \text{ J}$$

气体对外做的功是 10 J

从状态 B 变回状态 A, 气体的体积减小, 一定是外界对气体做功, 所以后一个问题的过程不符合实际情况。

第四章 原子结构和波粒二象性

1 普朗克黑体辐射理论

◆练习与应用

1. 答案 由 $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ 得

波长为 400 nm 的电磁波辐射的能量量子

$$\varepsilon = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} \text{ J} = 4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$$

波长为 760 nm 的电磁波辐射的能量量子

$$\varepsilon = h \frac{c}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{7.6 \times 10^{-7}} \text{ J} = 2.62 \times 10^{-19} \text{ J}$$

2. 答案 开水向外辐射的每一份能量子的能量很小(微量), 而水降低 1 °C 释放的能量很大(宏观量), 由于温度计的精度不够, 所以观察到的温度计温度不是一段一段地降低的。

2 光电效应

◆练习与应用

1. 答案 入射光的波长确定而强度增加, 单位时间内发射的光电子数增多, 饱和电流增大。如果入射光的频率增加, 光电子的最大初动能增加, 遏止电压也会增加。

2. 答案 紫光的频率比绿光大, 金属 A 在一束绿光照射下恰能发生光电效应, 用紫光照射时能发生光电效应; 红光的频率比绿光小, 用红光照射时不能发生光电效应。不同种类的金属, 其逸出功的大小不相同; 紫光照射 A、B 两种金属都能发生光电效应时, 由爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知逸出金属表面的光电子的最大初动能不同, 因此光电子的最大速度大小不同。

3. 答案 (1) 由爱因斯坦光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可得

$$E_k = h \frac{c}{\lambda} - W_0 = \left(\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2 \times 10^{-7}} - 4.2 \times 1.6 \times 10^{-19} \right) \text{ J} =$$

$$3.23 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.02 \text{ eV}$$

(2) 由 $eU_c = E_k$ 得遏止电压

$$U_c = \frac{E_k}{e} = 2.02 \text{ V}$$

(3) 由 $W_0 = h\nu_0$ 得截止频率

$$\nu_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{4.2 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} = 1.01 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

4. 答案 将教科书图 4.2-1 中电源正负极对调, 当入射光频率分别为 ν_1 、 ν_2 时, 测出遏止电压 U_1 、 U_2 , 由爱因斯坦光电效应方程可得

$$eU_1 = h\nu_1 - W_0$$

$$eU_2 = h\nu_2 - W_0$$

联立以上两式, 解得 $h = \frac{U_1 - U_2}{\nu_1 - \nu_2} e$ 。其中 e 为电子的电荷量, 测出 U_1 与 U_2 就可测出普朗克常量。

实验步骤:

(1) 将电源正负极对调, 滑动变阻器滑动触头滑至最左边, 用频率为 ν_1 的光照射, 此时电流表中有电流; 将滑动变阻器滑动触头缓慢右滑, 同时观察电流表, 当电流表示数为零时, 停止滑动, 记下电压表的示数 U_1 ;

(2) 用频率为 ν_2 的光照射, 重复(1)的操作, 记下电压表的示数 U_2 ;

(3) 应用 $h = \frac{U_1 - U_2}{\nu_1 - \nu_2} e$ 计算 h ;

(4) 多次测量取平均值。

5. 答案 数量级为 10^{19}

解析 白炽灯每秒产生可见光的能量为 $E = 60 \text{ W} \times 1 \text{ s} \times 15\% = 9 \text{ J}$

取可见光中频率为 $6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 的绿光进行估算, 设光子数为 n , 有 $E = nh\nu$

$$\text{得出 } n = \frac{E}{h\nu} = \frac{9}{6.63 \times 10^{-34} \times 6.0 \times 10^{14}} = 2.26 \times 10^{19} \text{ (个)}$$

所以可见光光子数的数量级为 10^{19} 。

3 原子的核式结构模型

◆练习与应用

1. 答案 由 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 可得

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = 3.77 \times 10^7 \text{ m/s}$$

2. 答案 油滴的质量 $m = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$

油滴受到的重力 $G = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g$, 受到的电场力 $F = Eq$

由平衡条件, 可知 $\frac{4}{3}\pi R^3 \rho g = Eq$

电荷量与电子个数的关系为 $q = Ne$

因此, 电子的个数为 $N = \frac{4\pi R^3 \rho g}{3Ee} = 4.75 \times 10^5$

3. 答案 以 M 点为坐标原点, 水平向右方向为 x 轴正方向, 竖直向下方向为 y 轴正方向, 建立平面直角坐标系。

(1) 同时加电场、磁场时, $qE = Bqv_x$, 因此 $v_x = \frac{E}{B} = \frac{U}{Bd}$ 。

(2) 只加电场, 电子到达极板右边缘时, 在竖直方向飞行的距离为

$$y_1 = \frac{1}{2}a_y t^2 = \frac{1}{2} \times \frac{F_y}{m} \left(\frac{l}{v_x} \right)^2 = \frac{1}{2} \times \frac{qUl^2}{mdv_x^2}$$

电子在竖直方向的速度为

$$v_y = a_y t = \frac{F_y}{m} \times \frac{l}{v_x} = \frac{qUl}{mdv_x}$$

电子飞出极板到达 P 点时, 在竖直方向经过的距离为

$$y_2 = v_y t' = \frac{qUl}{mdv_x} \cdot \frac{\left(L - \frac{l}{2} \right)}{v_x} = \frac{qUl \left(L - \frac{l}{2} \right)}{mdv_x^2}$$

因此 $y = y_1 + y_2$

解得 $\frac{q}{m} = 1.61 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ 。

4. 答案 卢瑟福的原子核式结构模型是:在原子的中间有一个很小的核,叫原子核,原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中于原子核,带负电的电子在核外空间里绕核旋转。

卢瑟福提出原子核式结构模型的依据是 α 粒子散射实验。 α 粒子穿过原子时,电子对它的运动影响很小,影响 α 粒子运动的主体是原子核。 α 粒子进入原子区域后,由于原子核很小,大部分 α 粒子离核较远,受到的库仑力很小,运动方向几乎不变。极少数 α 粒子距核近,因此受到很强的库仑力,发生大角度散射。

5. 答案 整个原子的直径约为 200 m。对于一般的原子核,实验确定的核半径的数量级为 10^{-15} m ,而整个原子半径的数量级是 10^{-10} m ,整个原子的半径是核半径的 10^5 倍。绿豆半径的数量级为 10^{-3} m ,则 $10^{-3} \text{ m} \times 10^5 = 10^2 \text{ m}$ 。所以,假如原子核有绿豆那么大,那么整个原子的直径约为 200 m。

6. 答案 金原子的质量比 α 粒子质量大得多,且几乎全部集中在金原子核内。当 α 粒子穿过金原子区域,靠近金原子核时,两者之间的库仑斥力对 α 粒子运动方向影响很大,而对金原子影响很小,所以 α 粒子散射实验选用比 α 粒子质量大得多的重金属箔。

4 氢原子光谱和玻尔的原子模型

◆ 练习与应用

1. 答案 有些光谱是一条条的亮线,这样的光谱叫线状谱。

有的光谱看起来不是一条条分立的谱线,而是连在一起的光带,这样的光谱叫连续谱。

原子的发射光谱是线状谱。

不同原子的发射光谱不相同。

2. 答案 巴耳末公式 $n=5$ 时计算出的氢原子光谱的谱线是氢原子由量子数为 5 的能级跃迁到量子数为 2 的能级形成的。

3. 答案 由巴耳末公式 $\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$, $n=3, 4, 5, \dots$ 可知,氢原子光谱在可见光范围内波长最长的两条谱线所对应的 n 应为 3、4。

当 $n=3$ 时,得 $\lambda_1 = 6.55 \times 10^{-7} \text{ m}$;

当 $n=4$ 时,得 $\lambda_2 = 4.85 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

氢原子光谱是分立的线状谱。它在可见光区的谱线满足巴耳末公式,在红外和紫外光区的其他谱线也都满足与巴耳末公式类似的关系式。

4. 答案 大量氢原子处在 $n=3$ 的能级时,能辐射出 3 种频率的光子。波长最短的光是从 $n=3$ 的能级跃迁到 $n=1$ 的能级时发出的。

5. 答案 根据玻尔理论,原子处于一系列不连续的能量状态中。原子从较高能级 E_2 跃迁到较低能级 E_1 时辐射的光子能量满足 $h\nu = E_2 - E_1$ 。由于原子能级是分立的,能级差也是分立的,辐射的光子的能量也是分立的,并有确定的频率,所以原子的发射光谱都是一些分立的亮线。

6. 答案 需要吸收 3.40 eV 的能量。

7. 答案 包含各种波长的复合光通过物质时,物质的原子吸收了跟它的原子谱线波长相同的那些光子,使连续的复合光谱

背景上出现了暗线。由于原子只能吸收能量大小满足两个能级之差 $h\nu = E_m - E_n$ 的光子,从低能态 E_n 激发到高能态 E_m ,在吸收光谱中形成一条暗线,这条暗线刚好与从 E_m 跃迁到 E_n 发出的光子的明线相对应。因此,各种原子吸收光谱中的每一条暗线都跟该原子的发射光谱中的一条亮线相对应。

5 粒子的波动性和量子力学的建立

◆ 练习与应用

1. 答案 光的干涉和衍射说明光具有波动性,光电效应和康普顿效应说明光具有粒子性,因此我们说光具有波粒二象性。

2. 答案 电子的德布罗意波长 λ 。因为由 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 可知,动能相

同时质量小,动量就小;又由 $\lambda = \frac{h}{p}$ 知,动量小,德布罗意波长

就大。因此当电子和质子具有同样的动能时,电子比质子的德布罗意波长长。

3. 答案 不会。因为宏观的子弹质量、速度大,动量大,德布罗意波长非常小。

◆ 复习与提高

A 组

1. 答案 (1)乙光的频率大。从图 4-1 可以看出,乙光的遏止电压大,则说明乙光照射下产生的光电子的最大初动能大,根据爱因斯坦光电效应方程可知,乙光的频率大。

(2)丙光的波长长。从图 4-1 可以看出,丙光的遏止电压小,则说明丙光照射下产生的光电子的最大初动能小,根据爱因斯坦光电效应方程可知,丙光的频率小,则丙光的波长长。

(3)截止频率相同。截止频率与金属自身的性质有关,同一光电管的截止频率不随入射光频率改变而改变。

(4)两种光产生的光电子的最大初动能相同。从图 4-1 可以看出,两种光的遏止电压相同,则说明两种光照射下产生的光电子的最大初动能相同。

2. 答案 基态氢原子的电离能为 13.6 eV,则电子的动能是 13.6 eV。

3. 答案 物质吸收红外线后再发出的光,其光子的能量不可能大于该红外线光子的能量,红外线光子的能量小于可见光光子的能量,所以任何物质都不会在红外线照射下发出可见光。

4. 答案 运动员质量大约为 65 kg,跑步时的速度大约是 8 m/s,

运动员的动量 $p = mv = 520 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$,则德布罗意波长 $\lambda = \frac{h}{p} =$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34}}{520} \text{ m} = 1.28 \times 10^{-36} \text{ m}$$

因为运动员跑步时的德布罗意波长太小,我们观察不到运动员的波动性。

5. 答案 $3.373 \times 10^{-19} \text{ J}$ $3.377 \times 10^{-19} \text{ J}$

解析 光子的能量 $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$

波长为 589.6 nm 光子的能量

$$E_1 = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3.0 \times 10^8}{589.6 \times 10^{-9}} \text{ J} \approx 3.373 \times 10^{-19} \text{ J}$$

则钠原子辐射这种波长的光时核外电子跃迁前后的能级差为 $\Delta E_1 = 3.373 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

波长为 589.0 nm 光子的能量

$$E_2 = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3.0 \times 10^8}{589.0 \times 10^{-9}} \text{ J} \approx 3.377 \times 10^{-19} \text{ J}$$

则钠原子辐射这种波长的光时核外电子跃迁前后的能级差为 $\Delta E_2 = 3.377 \times 10^{-19} \text{ J}$ 。

6. 答案 0.556

解析 从量子数为 ∞ 的能级向量子数为 2 的能级跃迁时, 辐射的光子的波长最小, 该光子的能量为

$$E = E_{\infty} - E_2 = 0 - (-3.40 \text{ eV}) = 3.40 \text{ eV}$$

从量子数为 3 的能级向量子数为 2 的能级跃迁时, 辐射的光子的波长最大, 该光子的能量为

$$E' = E_3 - E_2 = -1.51 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$$

所以氢原子光谱中巴耳末系最小波长与最大波长之比为

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{E'}{E} = \frac{1.89 \text{ eV}}{3.40 \text{ eV}} \approx 0.556$$

7. 答案 $\frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}$

解析 由爱因斯坦光电效应方程可知, $E_{k1} = h\nu_1 - W_0$, $E_{k2} = h\nu_2 - W_0$
由动能定理可知, $E_{k1} = eU_1$, $E_{k2} = eU_2$

$$\text{联立以上各式解得 } h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}$$

B 组

1. 答案 (1) 光子的能量一定相同。

(2) 光电子的逸出功一定不同。

(3) 光电子的动能可能相同。

(4) 光电子的最大动能一定不同。

2. 答案 6 种 97.5 nm

解析 一群处于量子数为 4 的激发态的氢原子, 可能辐射出的光谱线条数为 $N = C_4^2 = 6$ 。

处于 $n=4$ 能级的氢原子向 $n=1$ 能级跃迁, 辐射的光子的能量为 $h\nu = E = E_4 - E_1 = -0.85 \text{ eV} - (-13.60 \text{ eV}) = 12.75 \text{ eV}$,

$$\text{最短的波长是 } \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{12.75 \times 1.6 \times 10^{-19}} \text{ m} = 9.75 \times$$

$$10^{-8} \text{ m} = 97.5 \text{ nm}。$$

3. 答案 见解析图

解析 波长为 589 nm 的光子的能量 $E_1 = h\nu_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}} \text{ J} = 2.11 \text{ eV}$, 则 $B \rightarrow A$ 的能级差为 2.11 eV;

波长为 330 nm 的光子的能量 $E_2 = h\nu_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{330 \times 10^{-9}} \text{ J} = 3.77 \text{ eV}$, 则 $C \rightarrow A$ 的能级差为 3.77 eV;

波长为 285 nm 的光子的能量 $E_3 = h\nu_3 = \frac{hc}{\lambda_3} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{285 \times 10^{-9}} \text{ J} = 4.36 \text{ eV}$, 则 $D \rightarrow A$ 的能级差为 4.36 eV;

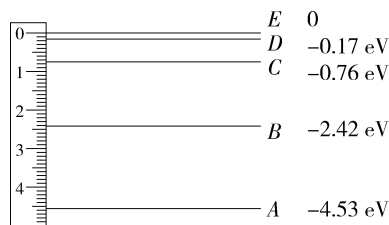
波长为 514 nm 的光子的能量 $E_4 = h\nu_4 = \frac{hc}{\lambda_4} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8}{514 \times 10^{-9}} \text{ J} = 2.42 \text{ eV}$, 则 $E \rightarrow B$ 的能级差为 2.42 eV;

所以 $E \rightarrow A$ 的能级差为 2.42 eV + 2.11 eV = 4.53 eV;

设最高能级 E 的能级值为 0, 则能级 A 的能级值为 -4.53 eV, 能级 B 的能级值为 -2.42 eV, 能级 C 的能级值为

-4.53 eV + 3.77 eV = -0.76 eV, 能级 D 的能级值为 -4.53 eV + 4.36 eV = -0.17 eV。

作出钠原子在这几个能量范围的能级图如下:



4. 答案 18 360 eV

解析 实物粒子的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

可以得到实物粒子的动量 p 跟它的动能之间的关系式为

$$p = \sqrt{2mE_k}$$

实物粒子的动量 p 跟它所对应的德布罗意波长 λ 和普朗克

克常量 h 之间的关系式为 $p = \frac{h}{\lambda}$

一个电子的德布罗意波长和这个质子的德布罗意波长相等, 则电子、质子的动量是相等的,

$$\text{即 } \sqrt{2m_e E_{ke}} = \sqrt{2m_p E_{kp}}$$

质子质量是电子质量的 1 836 倍, 得出电子的动能为 $E_{ke} =$

$$\frac{m_p}{m_e} E_{kp} = 18\,360 \text{ eV}$$

5. 答案 2 : 1 $E_A - 2E_B$

解析 光子的动量 p 与光的波长 λ 和普朗克常量 h 的关系式

$$\text{为 } p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$$

$$A、B \text{ 两种光子的动量之比为 } p_A : p_B = \frac{h\nu_A}{c} : \frac{h\nu_B}{c} = 2 : 1$$

由爱因斯坦光电效应方程可知, $h\nu_A = E_A + W_0$, $h\nu_B = E_B + W_0$

$$\text{解得 } W_0 = E_A - 2E_B$$

6. 答案 $2.11 \times 10^5 \text{ m}$

解析 光源每秒发射绿光光子的能量为 $E = 0.1 \text{ W} \times 1 \text{ s} = 0.1 \text{ J}$

设每秒发射绿光光子数为 n , 有 $E = nh\nu = n \frac{hc}{\lambda}$

$$\text{得出 } n = \frac{E\lambda}{hc} = \frac{0.1 \times 530 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8} = 2.66 \times 10^{17} (\text{个})$$

瞳孔在暗处的直径为 $d = 4 \text{ mm}$, 设眼睛到光源的距离为

$$R, \text{ 则 } \frac{6}{n} = \frac{\pi \frac{d^2}{4}}{4\pi R^2}$$

$$\text{解得 } R = 2.11 \times 10^5 \text{ m}$$

第五章 原子核

1 原子核的组成

◆练习与应用

1. 答案 实验发现, 如果一种元素具有放射性, 那么无论它是单质存在, 还是以化合物形式存在, 都具有放射性, 而且放射性的强度也不受温度、外界压强的影响。由于元素的化学性质决定于原子核外的电子, 这说明射线与核外电子无关。也就是说, 射线来自原子核内部。

天然放射现象的发现,使人们认识到原子核内部有复杂的结构,而且原子核可以发生变化,成为另一种原子核。实际上,人们研究原子核的结构就是从天然放射现象开始的。

2.答案 γ 射线更像 X 射线,因为它们都是能量很高的电磁波,波长短,穿透能力强。

3.答案 验电器金属箔的张角将变小。因为 α 射线具有一定的电离作用,它能使所经过的路径上的空气分子电离,使空气变成导体,从而使验电器金属箔的张角变小。

4.答案 如果原子核中只有质子,那么任何一种原子核的质量与电荷量之比,都应该等于质子的质量与电荷量之比。实际并不是这样,绝大多数原子核的质量与电荷量之比都大于质子的相应比值。所以卢瑟福猜想,原子核内可能存在着另一种粒子。

5.答案 (1) α 粒子用符号 ${}^4_2\text{He}$ 表示,质子数为 2、中子数为 2。

(2) 质量数为 14 的碳原子核用符号 ${}^{14}_6\text{C}$ 表示,质子数为 6、中子数为 8。

(3) 电荷数为 8、质量数为 17 的氧原子核用符号 ${}^{17}_8\text{O}$ 表示,质子数为 8、中子数为 9。

(4) 质量数为 40 的钾原子核用符号 ${}^{40}_{19}\text{K}$ 表示,质子数为 19、中子数为 21。

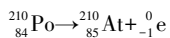
(5) 电荷数为 86、核子数为 222 的氡原子核用符号 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 表示,质子数为 86、中子数为 136。

6.答案 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 、 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 三种同位素具有相同的质子数,为 92;不同之处是 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 有 142 个中子, ${}^{235}_{92}\text{U}$ 有 143 个中子, ${}^{238}_{92}\text{U}$ 有 146 个中子。

2 放射性元素的衰变

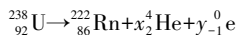
◆ 练习与应用

1.答案 β 衰变的实质是原子核内的中子转化成了一个质子和一个电子。其转化方程为 ${}^1_0\text{n} \rightarrow {}^1_1\text{H} + {}^0_{-1}\text{e}$ 。



2.答案 ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{230}_{88}\text{Ra} + {}^4_2\text{He}$ 4 次 α 衰变,2 次 β 衰变。

解析 设 α 衰变为 x 次, β 衰变为 y 次。核反应方程为



根据质量数和电荷数守恒,有

$$4x = 16$$

$$2x - y = 6$$

$$\text{解得 } x = 4, y = 2。$$

3.答案 $\frac{1}{32}$ g 20 天

解析 根据半衰期的定义,剩下的钍为

$$m = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} = 1 \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{120}{24}} \text{ g} = \frac{1}{32} \text{ g}$$

由半衰期定义可知,经过时间 t 后,剩余的钍为 $m =$

$$m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}。代入数据得 1.25 \text{ g} = 20 \text{ g} \times \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{24}}, \text{解得 } t = 20 \text{ d}。$$

因此,经过 20 天后,20 g 钍还剩 1.25 g。

4.答案 原子核的人工转变是在其他粒子的轰击下产生新原子核的过程,而放射性元素的衰变是原子核没有受到其他粒子的轰击而自发放出射线的过程。

5.答案 在核反应过程中根据质量数和电荷数守恒,可以求出

生成原子核的质量数和电荷数。

反应后新原子核的质量数与电荷数分别为

$$(1) A = 23 + 4 - 1 = 26, Z = 11 + 2 - 1 = 12;$$

$$(2) A = 27 + 4 - 1 = 30, Z = 13 + 2 - 0 = 15;$$

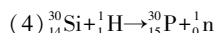
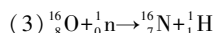
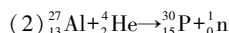
$$(3) A = 16 + 1 - 1 = 16, Z = 8 + 0 - 1 = 7;$$

$$(4) A = 30 + 1 - 1 = 30, Z = 14 + 1 - 0 = 15。$$

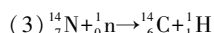
所以反应后的新原子核分别为 $(1) {}^{26}_{12}\text{Mg}$; $(2) {}^{30}_{15}\text{P}$; $(3) {}^{16}_7\text{N}$;

$(4) {}^{30}_{15}\text{P}$ 。

则核反应方程分别为



6.答案 $(1) {}^{19}_9\text{F} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne}$



7.答案 在医院的放射室看见过这个标志。一般情况要远离这些地方,特殊情况要在医生指导下进出这些场所。

3 核力与结合能

◆ 练习与应用

1.答案 (1) 核反应涉及四种基本相互作用中的强相互作用,化学反应涉及四种基本相互作用中的电磁相互作用。(2) 核反应改变了原子核,化学反应可以改变核外电子的排列,从而改变分子结构。

2.答案 结合能是将原子核拆成单个核子所需要的能量,这个能量越大说明原子核越稳定,这个能量除以核子数就是比结合能,所以原子核的比结合能越大,原子核越稳定。

3.答案 根据质能关系可知 $\Delta E = \Delta mc^2$ 。由于光速很大,我们通常看到的物体能量的变化量对应的质量的变化量很小,因此我们觉察不到质量发生变化。

4.证明 将题中所给的数据代入公式 $E = mc^2$,得

$$E = 1 \text{ u} \times c^2 = 1.660 \ 6 \times 10^{-27} \times (2.997 \ 9 \times 10^8)^2 \text{ J} = 1.492 \ 4 \times 10^{-10} \text{ J} = 931.5 \text{ MeV}$$

5.答案 $1.02 \times 10^3 \text{ m}$

解析 $1 \text{ } \mu\text{g}$ 的质量对应的能量为

$$E = mc^2 = 1 \times 10^{-9} \times (3 \times 10^8)^2 \text{ J} = 9 \times 10^7 \text{ J}。$$

$$\text{载有学生的直升机升高的高度为 } h = \frac{E}{(m_1 + m_2)g} =$$

$$\frac{9 \times 10^7}{(3 \ 000 + 6 \ 000) \times 9.8} \text{ m} = 1.02 \times 10^3 \text{ m}。$$

6.答案 $8.352 \times 10^{-13} \text{ J}$

解析 衰变过程中质量亏损 $\Delta m = 3.853 \ 13 \times 10^{-25} \text{ kg} - 3.786 \ 57 \times 10^{-25} \text{ kg} - 6.646 \ 72 \times 10^{-27} \text{ kg} = 9.28 \times 10^{-30} \text{ kg}$

$$\text{释放的能量 } \Delta E = \Delta mc^2 = 9.28 \times 10^{-30} \times (3.0 \times 10^8)^2 \text{ J} = 8.352 \times 10^{-13} \text{ J}$$

4 核裂变与核聚变

◆ 练习与应用

1.答案 重核分裂成中等质量原子核的核反应叫作重核的裂变。

由重核裂变产生的中子使核裂变反应一代接一代继续下去的过程,叫作核裂变的链式反应。

2.答案 通过调节中子的数目来控制反应速度。用镉制成控制棒,用来吸收减速后的中子,控制反应速度。当反应过于激烈时,将镉棒插入深一些,多吸收些中子,链式反应的速度就会慢一些。

3.答案 两个轻核结合成质量较大的核,这样的核反应叫作核聚变。聚变发生时需要提供巨大的能量,但反应中放出的能量比提供的能量要大得多。

4.答案 与核裂变相比,核聚变具有产能效率高,燃料储量丰富,安全、清洁等优点,因此实现受控热核反应是必要的。裂变反应速度可以比较容易地进行控制,因此,现在国际上的核电站都是利用裂变放出能量,而实现聚变反应的可控性比较困难,世界上许多国家都在积极研究受控热核反应的理论和技术。

5.答案 因为中子与碳核的每次碰撞都是弹性正碰,所以碰撞过程中动量守恒、能量守恒,中子失去的动能即碳核增加的动能。

(1) 设中子的质量为 m , 碳核的质量为 M , 则有 $M = 12m$ 。

设中子碰前的速度为 v_0 , 碰后的速度为 v_{n1} , 碳核碰后的速度为 v_c , 由动量守恒定律得 $mv_0 = mv_{n1} + Mv_c$

$$\text{由能量守恒定律得 } \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_{n1}^2 + \frac{1}{2}Mv_c^2$$

由以上三式解得 $v_c = \frac{2}{13}v_0$, $v_{n1} = -\frac{11}{13}v_0$, 负号表示速度反向

则经过一次碰撞, 中子损失的动能为

$$\Delta E = \frac{1}{2}Mv_c^2 = \frac{1}{2} \times 12m \times \left(\frac{2}{13}v_0\right)^2 = \frac{48}{169}E_0 \approx 0.284E_0$$

(2) 同理, 中子第 2 次与碳核碰撞后的速度为

$$v_{n2} = -\frac{11}{13}v_{n1} = \left(-\frac{11}{13}\right)^2 v_0$$

中子第 3 次与碳核碰撞后的速度为

$$v_{n3} = -\frac{11}{13}v_{n2} = \left(-\frac{11}{13}\right)^3 v_0$$

.....

中子第 k 次与碳核碰撞后的速度为 $v_{nk} = \left(-\frac{11}{13}\right)^k v_0$

则经 k 次碰撞后中子的动能为

$$E = \frac{1}{2}mv_{nk}^2 = \frac{1}{2}m \left[\left(-\frac{11}{13}\right)^k v_0\right]^2 = \left(\frac{11}{13}\right)^{2k} \times \frac{1}{2}mv_0^2 = \left(\frac{11}{13}\right)^{2k} E_0$$

中子的动能小于 $10^{-6}E_0$ 时, 有 $\left(\frac{11}{13}\right)^{2k} < 10^{-6}$

解得 $k > 41.35$

所以至少经过 42 次碰撞, 中子的动能才小于 $10^{-6}E_0$

6.答案 每年发电 $3 \times 10^8 \times 365 \times 24 \times 3\,600 \text{ J} = 9.460\,8 \times 10^{15} \text{ J}$, 每年耗铀量 $\frac{9.460\,8 \times 10^{15}}{8.2 \times 10^{10}} \text{ g} = 115.38 \text{ kg}$ 。

7.答案 太阳每秒释放的能量为 $\Delta E = 3.8 \times 10^{26} \text{ J}$, 由 $\Delta E = \Delta mc^2$ 知太阳每秒失去的质量为 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} = 4.22 \times 10^9 \text{ kg}$ 。

5 “基本”粒子

◆练习与应用

1.答案 粒子分类参考表格:

强子	质子、中子	有反粒子
轻子	电子、电子中微子、 μ 子、 μ 子中微子、 τ 子、 τ 子中微子	
规范玻色子	光子、中间玻色子、胶子	
希格斯玻色子		

2.答案 可以通过网络查找在粒子物理领域有成果的华人科学家有: 赵忠尧、谢玉铭、王淦昌、杨振宁、李政道、吴健雄、何泽慧等。可根据这些科学家的成果和事迹写一篇文章。

◆复习与提高

A 组

1.答案 铀 238 发生 α 衰变, 放出 α 粒子即氦原子核, 衰变方程为 ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ 。

2.答案 ${}^{24}_{11}\text{Na} \rightarrow {}^{24}_{12}\text{Mg} + {}^0_{-1}\text{e}$ (衰变)

${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2{}^1_0\text{n}$ (核裂变)

${}^{19}_9\text{F} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{22}_{10}\text{Ne} + {}^1_1\text{H}$ (人工核转变)

${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ (核聚变)

3.答案 核反应的方程式: ${}^{16}_8\text{O} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{20}_{10}\text{Ne}$, 右边的原子核具有较多的结合能。

4.答案 (1) 核反应方程: ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$ 。

(2) 有 12.5% 的原子核未发生衰变, 则经过了三个半衰期, 时间为 $t = 87.7 \text{ 年} \times 3 = 263.1 \text{ 年}$ 。

5.答案 4.937 0 MeV

解析 衰变过程中质量亏损 $\Delta m = 226.025\,4 \text{ u} - 222.017\,5 \text{ u} - 4.002\,6 \text{ u} = 0.005\,3 \text{ u}$

释放的能量 $\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV} = 0.005\,3 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 4.937\,0 \text{ MeV}$

B 组

1.答案 铅 208 82

2.答案 2 d $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3$

解析 因为只剩下 $\frac{1}{8}$ 没有衰变, 说明该放射性元素经过了三个半衰期, 所以它的半衰期是 2 d。

8 d 的时间是 4 个半衰期, 所以 8 d 后瓶内溶液每分钟衰变的次数 $N = \frac{1}{16} \times 8 \times 10^7 \text{ 次} = 0.5 \times 10^7 \text{ 次}$ 。

设水库中水的体积为 V , 则每立方米水每分钟衰变的次数

$$n = \frac{N}{V}$$

代入数据解得 $V = 2.5 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。

3.答案 $3.576\,96 \times 10^{27} \text{ MeV}$

解析 两个氦核结合成一个氦核过程中质量亏损

$$\Delta m = 2 \times 2.014\,1 \text{ u} - 4.002\,6 \text{ u} = 0.025\,6 \text{ u}$$

此反应释放的能量

$$\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV} = 0.025\,6 \times 931.5 \text{ MeV} = 23.846\,4 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ kg 氦含有的原子数为 } N = \frac{m}{M_{\text{mol}}} N_A = \frac{1\,000}{2} \times 6.0 \times 10^{23} =$$

$$3.0 \times 10^{26}$$

所以 1 kg 氦完全结合成氦时可以释放出的能量为

$$E = \frac{N}{2} \times \Delta E = 3.576\ 96 \times 10^{27} \text{ MeV}$$

4. 答案 (1) ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He} + \gamma$ (2) 5.033 7 MeV

解析 (1) 核反应方程: ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He} + \gamma$ 。

(2) 衰变过程中质量亏损

$$\Delta m = 239.052\ 1\ \text{u} - 235.043\ 9\ \text{u} - 4.002\ 6\ \text{u} = 0.005\ 6\ \text{u}$$

此反应释放的能量

$$\Delta E = \Delta m \times 931.5\ \text{MeV} = 0.005\ 6 \times 931.5\ \text{MeV} = 5.216\ 4\ \text{MeV}$$

${}_{92}^{235}\text{U}$ 和 ${}_2^4\text{He}$ 获得动能的总量为

$$E = \Delta E - 0.097\ \text{MeV} = 5.119\ 4\ \text{MeV}$$

衰变后 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 和 ${}_2^4\text{He}$ 获得的动量等大, 由 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 和 $p =$

$$mv, \text{ 可得 } E_k = \frac{p^2}{2m}$$

可知 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 和 ${}_2^4\text{He}$ 的动能之比等于他们质量的反比,

所以 α 粒子的动能

$$E_{k\alpha} = \frac{m_{\text{U}}}{m_{\alpha} + m_{\text{U}}} E = \frac{235.043\ 9\ \text{u}}{235.043\ 9\ \text{u} + 4.002\ 6\ \text{u}} \times 5.119\ 4\ \text{MeV} \approx$$

5.033 7 MeV

5. 答案 (1) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + {}_{54}^{135}\text{Xe} + 10{}_0^1\text{n}$ (2) 27.29 吨

解析 (1) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{38}^{90}\text{Sr} + {}_{54}^{135}\text{Xe} + 10{}_0^1\text{n}$

(2) 核反应过程中质量亏损 $\Delta m = 235.043\ 9\ \text{u} - 89.907\ 7\ \text{u} -$

$$135.907\ 2\ \text{u} - 9 \times 1.008\ 7\ \text{u} = 0.150\ 7\ \text{u}$$

$$\text{即 } \Delta m = 0.150\ 7 \times 1.66 \times 10^{-27}\ \text{kg} = 0.250\ 162 \times 10^{-27}\ \text{kg}$$

$$\text{此反应释放的能量 } \Delta E = \Delta m \times c^2 = 2.251\ 458 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

$$100\ \text{万千瓦的核电站每年消耗的能量 } E = Pt = 3.15 \times 10^{16}\ \text{J}$$

核电站每年消耗的原子核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 的个数为

$$N = \frac{E}{\Delta E} = 1.399\ 093 \times 10^{27} (\text{个})$$

一个原子核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 的质量为 $m_0 = 235.043\ 9\ \text{u} = 235.043\ 9 \times$

$$1.66 \times 10^{-27}\ \text{kg} = 390.172\ 874 \times 10^{-27}\ \text{kg}$$

核电站每年需要 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 的质量为 $m = Nm_0 = 545.89\ \text{kg}$

$$\text{核电站每年需要浓缩铀的质量为 } M = \frac{545.89\ \text{kg}}{2\%} \approx$$

27.29 吨