

## 第一章 分子动理论

### 1 物体是由大量分子组成的

#### 问题式预习

知识点

1. (1) 热运动 (2)  $10^{-10}$  2.  $6.02 \times 10^{23}$

3. (1) 减小 (2) 压缩 4. 小球

[做一做]

D

#### 任务型课堂

任务一

#### 【探究活动】

提示: (1) 标准状况下, 气体的摩尔体积为 22.4 L。

(2) 成年人做一次深呼吸吸入空气的物质的量  $n = \frac{V}{V_{\text{mol}}}$

$\frac{4.5}{22.4} \text{ mol} \approx 0.2 \text{ mol}$ , 大约含有的分子数  $N = nN_A = 0.2 \text{ mol} \times$

$6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \approx 1.2 \times 10^{23}$  (个)。

#### 【评价活动】

1.C 解析: 1 g 水的分子个数  $N = \frac{1}{18} \times N_A$ , 则完成任务所

需时间  $t = \frac{\frac{1}{18} \times 6 \times 10^{23}}{60 \times 10^8 \times 5 \times 10^3 \times 365 \times 24} \text{ 年} \approx 1.3 \times 10^5 \text{ 年}$ 。

2.D 解析: 1 kg 该物质的物质的量为  $\frac{1}{M}$ , 所含分子数为

$N_A \times \frac{1}{M} = \frac{N_A}{M}$ , 故 A、B 错误; 每个分子的质量  $m_0 =$

$\frac{M}{N_A}$  (kg), 故 C 错误; 每个分子所占体积为  $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} =$

$\frac{M}{\rho N_A}$  ( $\text{m}^3$ ), 故 D 正确。

3.BC 解析: 质量为 10 g 的单层石墨烯, 物质的量为  $n =$

$\frac{m}{M} = \frac{10}{12} \text{ mol} = \frac{5}{6} \text{ mol}$ , 则含有碳原子的个数为  $N =$

$nN_A = 5.0 \times 10^{23}$  个, 故 A 错误, B 正确; 因为石墨烯最小的

六边形上有 6 个碳原子, 每个碳原子被 3 个六边形占

用, 所以 10 g 的单层石墨烯占有的空间体积约为  $V =$

$\frac{1}{2} NSd \approx 4.3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ , 故 C 正确, D 错误。

4. 解析: (1) 一个铜原子的质量

$$m = \frac{M}{N_A} = \frac{6.4 \times 10^{-2}}{6.0 \times 10^{23}} \text{ kg} \approx 1.1 \times 10^{-25} \text{ kg}。$$

(2) 该铜导体的物质的量

$$n = \frac{\rho V}{M} = \frac{8.9 \times 10^3 \times 3.0 \times 10^{-5}}{6.4 \times 10^{-2}} \text{ mol} \approx 4.17 \text{ mol}$$

铜导体中含有的自由电子数

$$N = 2nN_A \approx 5.0 \times 10^{24} \text{ 个}。$$

答案: (1)  $1.1 \times 10^{-25} \text{ kg}$  (2)  $5.0 \times 10^{24}$  个

#### 任务二

1.BC 解析: 已知氢气分子的体积和氢气分子的质量, 可以得到氢气分子的密度, 但气体分子间隙大, 故氢气分子密度不等于氢气密度, 故 A 错误; 氢气的摩尔质量除以摩尔体积等于氢气的密度, 故 B 正确; 氢气的摩尔体积除以阿伏伽德罗常量等于氢气分子占据的体积, 氢气分子的质量除以氢气分子占据的体积等于氢气的密度, 故 C 正确; 由氢气分子的质量和氢气的摩尔质量不能求解氢气的密度, 故 D 错误。

2.A 解析: 在标准状况下, 1 mol 氢气的体积为 22.4 L, 则每个氢气分子占据的体积  $V_0 = \frac{V}{N_A} = \frac{22.4 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}} \text{ m}^3 = 3.72 \times 10^{-26} \text{ m}^3$ 。按氢气分子占据空间为立方体进行估算, 立方体的边长  $l = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{3.72 \times 10^{-26}} \text{ m} \approx 3.3 \times 10^{-9} \text{ m}$ , 故 A 正确。

3. 解析: 该物体的物质的量为  $\frac{m}{M}$ , 则分子数为  $n = \frac{m}{M} N_A$ ;

$$\text{单个分子的体积 } V_1 = \frac{V_0}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{M}{\frac{m}{V} N_A} = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{1}{2} d \right)^3,$$

$$\text{解得 } d = \sqrt[3]{\frac{6MV}{\pi m N_A}}。$$

$$\text{答案: } \frac{m}{M} N_A \quad \sqrt[3]{\frac{6MV}{\pi m N_A}}$$

4. 解析: (1) 一个氦气分子的质量为

$$m_0 = \frac{M}{N_A} = \frac{0.028}{6.02 \times 10^{23}} \text{ kg} \approx 4.7 \times 10^{-26} \text{ kg}。$$

(2) 设气囊中氦气的物质的量为  $n$ , 则有  $n = \frac{\rho V}{M}$

$$\text{气囊中氦气分子的总个数为 } N = \frac{\rho V}{M} N_A$$

代入数据得  $N \approx 3.0 \times 10^{24}$  个。

(3) 气体分子间距较大, 每个氮气分子占有的空间可以看成是一个立方体, 则分子间的平均距离等于立方体的棱长,

一个氮气分子所占的空间体积为  $V_0 = \frac{V}{N}$

设气囊中氮气分子间的平均距离为  $a$ , 则有  $a^3 = V_0$ .

解得氮气分子间的平均距离为  $a = 2.9 \times 10^{-9} \text{ m}$ .

答案: (1)  $4.7 \times 10^{-26} \text{ kg}$  (2)  $3.0 \times 10^{24}$  个

(3)  $2.9 \times 10^{-9} \text{ m}$

## 2 实验: 用油膜法估测油酸分子的大小

### 问题式预习

#### 【实验思路】

提示: (1) 油酸酒精溶液在水面上散开后(其中的酒精溶于水并很快挥发), 在水面上形成一层纯油酸薄膜, 其中烷基( $-C_{17}H_{33}$ )部分冒出水面, 而羧基( $-COOH$ )部分留在水中, 油酸分子一个个地直立在水面上, 形成一个单分子层油膜。

(2) 如果往水面上直接滴纯油酸, 一是体积太大, 形成的油膜面积太大, 不便于在实验室中测量; 二是纯油酸在水面上散开时不易形成单分子油膜, 可能会出现大量油酸分子堆积, 而油酸酒精溶液更有利于油酸在水面上形成单分子油膜, 同时酒精易挥发, 不影响测量结果。

(3) 撒痱子粉(或滑石粉)的目的是方便观察、描绘所形成的油膜轮廓。

#### 【原理启示】

1. (1) 球形 (2) 单分子

#### 【实验器材】

提示: 油酸、酒精、注射器或滴管、量筒、浅盘、玻璃板、坐标纸、细彩笔、水、痱子粉或滑石粉。

### 任务型课堂

#### 【原型实验】

1. 解析: (1) 不是。实际分子的结构很复杂, 分子间有间隙, 把油酸分子认为是球形且一个紧挨一个排列, 是一种理想化模型, 是对问题的简化处理。

(2) 利用  $d = \frac{V}{S}$  计算油酸分子直径的前提: ① 油酸在水面上形成一层单分子油膜; ② 把油酸分子简化成球形; ③ 不考虑油酸分子间的间隙。

(3) 用酒精对油酸进行稀释有利于获取更小体积的纯油酸, 这样更有利于油酸在水面上形成一层单分子油膜, 同时酒精易挥发, 不影响测量结果。

(4) 撒痱子粉后, 便于观察所形成的油膜的轮廓。

(5) 根据油膜轮廓, 运用数格子法测油膜面积。多于半个的算一个, 少于半个的舍去, 并且这种方法所取方格的单位越小, 计算的面积误差越小。

答案: (1) 不是 (2) ① 一层单分子油膜 ② 球形 ③ 分子间的间隙 (3)(4)(5) 见解析

#### 思考

提示: 不能。要等油膜完全散开, 形状稳定后。

2. 解析: 在将溶液滴入水面之前, 应在水面上均匀撒上一层痱子粉, 这样可以清楚地看出油膜的轮廓, 在实验过程中, 还必须测出一滴油酸酒精溶液的体积。

答案: (1) ① C 步骤中, 缺少在水面上撒痱子粉的操作

② 遗漏的步骤: F. 用注射器吸取一定体积的油酸酒精溶液, 再把它一滴一滴地滴入玻璃杯中, 记下液滴的总滴数, 即可算出一滴油酸酒精溶液的体积  $V_0$ 。

(2) FCBAED

3. 解析: (1) 由于每个小方格的边长为  $2 \text{ cm}$ , 则每一个小方格的面积就是  $4 \text{ cm}^2$ , 估算油膜面积时超过半格的按一格计算, 小于半格的舍去, 由题图所示, 可估算出油膜占  $75$  格, 则油膜的面积  $S = 75 \times 4 \text{ cm}^2 = 300 \text{ cm}^2 = 3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

(2) 一滴油酸酒精溶液中所含纯油酸的体积

$$V = \frac{1}{50} \times 0.1\% \text{ mL} = 2 \times 10^{-5} \text{ mL} = 2 \times 10^{-11} \text{ m}^3$$

则油酸分子的直径

$$d = \frac{V}{S} = \frac{2 \times 10^{-11}}{3 \times 10^{-2}} \text{ m} \approx 7 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

答案: (1)  $3 \times 10^{-2}$  (2)  $7 \times 10^{-10}$

#### 【创新实验】

4. 解析: (1) 计算分子直径是利用体积与面积之比, 所以需将油膜看成单分子层油膜, 不考虑各油酸分子间的间隙, 将油酸分子看成球形, 故选 A、B、D。

(2) 实验中使用的是油酸酒精溶液, 其中酒精的作用是对油酸起到稀释作用, 用酒精稀释油酸是为了进一步减小油酸的面密度, 使油酸分子尽可能少在竖直方向上重叠, 更能保证其形成单层分子的油膜, 也就是为了减小系统误差。

(3) 设油酸酒精溶液浓度为  $x$ , 根据题意可得  $\frac{x}{50} \times 10^{-6} = \frac{1}{1 \times 10^{-10}}$   $0.22$ , 解得  $x = 0.0011$ , 所以体积比为  $0.11\%$ 。

答案: (1) ABD (2) B (3)  $0.11$

## 3 分子的热运动

### 问题式预习

#### 知识点一

1. 进入 2. 固态 液态 气态

### 3.无规则运动 4.温度 5.无规则运动

#### [判一判]

1.× 2.√ 3.√

#### 知识点二

1.颗粒 无规则 2.不平衡性 3.无规则

4.越小 越高 5.液体(气体)分子

#### [做一做]

B 解析:根据布朗运动的特点可知,炭粒越小,温度越高,布朗运动越明显,A、D 错误;小炭粒在不停地做无规则运动,这种运动就是布朗运动,B 正确;水分子很小,在光学显微镜下看不到水分子,C 错误。

#### 知识点三

1.无规则 2.扩散

3.(2)无规则 (3)越剧烈 4.平均动能

#### [判一判]

1.× 2.× 3.×

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)炒菜时温度高,分子无规则运动得快,扩散现象明显。

(2)①永不停息;②运动无规则;③温度越高,分子热运动越剧烈。

#### 【评价活动】

1.C 解析:扩散现象是不同种物体相互接触时彼此进入的现象,可以发生在固体、液体、气体任何两种物质之间,直接反映了分子的无规则热运动,C 正确;气体没有固定的形状和体积是因为气体分子间距离很大,分子间作用力很小,气体分子可以自由地向各个方向运动,A 错误;扩散现象不能说明分子相互排斥,B 错误;转化是一种化学反应或原子核反应,D 错误。

2.ACD 解析:扩散现象是指相互接触的物质彼此进入对方的现象,且温度越高,扩散进行得越快;扩散现象说明了分子在做无规则运动,且分子之间是有间隙的,故 A、C、D 正确;扩散现象能在气体、液体、固体中进行,故 B 错误。

3.解析:(1)不是,是由分子的无规则运动引起的。

(2)可以。例如放在墙角的煤经一段时间后,墙皮以内会留下黑色的痕迹。

(3)不一样。温度越高,扩散越快,说明温度越高,分子的无规则运动越剧烈。

答案:见解析

#### 任务二

1.C 解析:微粒由大量分子组成,是一个小物体,它的运动

不是分子的运动,A 错误;微粒的无规则运动是由液体(或气体)分子的无规则撞击引起的,它反映的是液体(或气体)分子的运动特点,B 错误,C 正确;布朗运动的对象是固体微粒,热运动的对象是分子,二者不可能等同,D 错误。

2.D 解析:布朗运动是悬浮在液体中的固体微粒的运动,微粒由许多分子组成,所以布朗运动不是分子的运动,也不是悬浮微粒内固体分子的运动,故 A、B 错误;布朗运动虽然是由液体分子与悬浮微粒间的相互作用引起的,但其重要意义是反映了液体分子的无规则运动,不是反映分子间的相互作用,故 C 错误;观察布朗运动会看到当悬浮微粒越小、温度越高,布朗运动越明显,故 D 正确。

3.D 解析:悬浮在水中的花粉颗粒的运动是布朗运动,是由于受到水分子的不平衡撞击而发生的,故反映了水分子的永不停息的无规运动,但不能反映单个水分子的运动速率,A、B 错误。人可以闻到花香是分子做无规则运动的结果,不是化学反应的结果,C 错误。悬浮在水中的颗粒越小,碰撞作用的不平衡性越大,布朗运动越明显;温度越高,水分子无规则运动越剧烈,布朗运动越明显,D 正确。

4.BD 解析:PM<sub>2.5</sub>是指直径小于或等于 2.5 μm 的颗粒物,PM<sub>2.5</sub>的直径的数量级远大于空气中氧分子的直径的数量级,故选项 A 错误;PM<sub>2.5</sub>在空气中的运动是固体颗粒的运动,属于布朗运动,故选项 B 正确;PM<sub>2.5</sub>受到大量空气分子的无规则碰撞,温度越高,空气分子对颗粒的撞击越剧烈,则 PM<sub>2.5</sub>的运动越剧烈,故选项 C 错误;导致 PM<sub>2.5</sub>增多的主要原因是环境污染,故应该提倡低碳生活,减少煤和石油等燃料的使用,从而有效减小 PM<sub>2.5</sub>在空气中的浓度,故选项 D 正确。

5.解析:布朗运动是小颗粒受到不同方向的液体或气体分子无规则运动产生的撞击力不平衡引起的,颗粒越小,温度越高,布朗运动越剧烈。布朗运动不是液体分子的运动,也不是固体小颗粒内分子的运动,而是固体小颗粒的运动。比较两图可知:若水温相同,甲中炭粒的颗粒较大;若炭粒大小相同,乙中水分子的热运动较剧烈;水中小炭粒的运动不是水分子的运动。

答案:甲 乙 不是

#### 任务三

#### 【探究活动】

提示:虽然气体分子运动的速率比较大,但由于分子运动不是匀速直线运动,分子的运动是无规则的,并且与空气分子不断碰撞,运动方向不断变化,而且要闻到足够多的香水分子才能产生明显的嗅觉,因此必须经过一段时间才能闻到香味。

## 【评价活动】

1.C 解析:分子的热运动是分子永不停息地做无规则运动,而布朗运动是悬浮在液体中的固体微粒的无规则运动,不是分子的运动,故 A 错误;分子无规则运动的剧烈程度只与物体的温度有关,物体的温度越高,分子的热运动就越剧烈,这种运动是物体内部分子的运动,属于微观的范畴,与物体的宏观运动没有关系,也与物体的物态没有关系,故 B、D 错误。

2.B 解析:温度是分子平均动能的标志,温度相同,分子平均动能相同,氧气和二氧化碳的分子质量不同,所以分子运动的平均速率不相同,故 A 错误,B 正确;温度相同,分子平均动能相同,但氧气的分子质量比二氧化碳小,在质量相同时,氧气分子个数较多,因此氧气分子总动能比二氧化碳大,故 C、D 错误。

## 4 分子间的相互作用力

### 问题式预习

#### 知识点一

1.引力 间隙 斥力

2.(1)斥力 大 (2)引力  $10r_0$  (3)在  $r_0$  附近  $10r_0$

#### [科学思维]

提示:不是。压缩气体时需要的力是用来克服大量气体分子频繁撞击容器壁(活塞)时对容器壁(活塞)的压力。

#### [判一判]

1.× 2.× 3.×

#### 知识点二

1.(1)分子系统 (2)热运动的动能 分子势能 (3)无规则的热运动 (4)①物质的量 ②温度 ③体积 物质的量 温度 体积

2.大量分子 永不停息 引力 斥力

#### [科学思维]

提示:不为零。因为分子在永不停息地做无规则运动,所以物体中分子的平均动能不为零。

#### [做一做]

B 解析:内能是物体中所有分子热运动的动能与分子势能的总和,A 错误,B 正确;机械能与内能是两种不同形式的能,物体的机械能发生变化,内能不一定变化,C 错误;温度高的物体比温度低的物体的分子平均动能大,但内能不一定大,D 错误。

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)分子间存在引力。

(2)当分子间距离  $r > r_0$  时分子间的作用力表现为引力,当分子间距离  $r < r_0$  时,分子间的作用力表现为斥力。

#### 【评价活动】

1.C 解析:分子间作用力发生作用的距离很小,打碎的碎片间的距离远大于分子间作用力的作用距离,在这个距离处,分子的作用力基本趋于零,所以碎玻璃不能拼合在一起,故 A 错误;用打气筒给自行车车胎打气需用力向下压活塞,需要克服打气筒内外气体的压力差,不能说明气体分子间的作用力表现为斥力,故 B 错误;固体很难被压缩,说明分子间的作用力表现为斥力,故 C 正确;水和酒精混合后的总体积小于原来二者的体积之和,说明分子间存在间隙,故 D 错误。

2.ABC 解析:分子间距离  $r = r_0$  时,分子间作用力的合力为零;当  $r < r_0$  时,分子间作用力表现为斥力;当  $r > r_0$  时,分子间作用力表现为引力;当分子间的距离达到  $10r_0$ ,即  $r = 10^{-9}$  m 时,分子间的作用力非常微弱,可忽略不计,故选 A、B、C。

3.AC 解析:乙分子从  $r_3$  运动到  $r_1$  的过程中,分子间作用力表现为引力,且分子间的作用力先增大后减小,故乙分子一直做加速运动,A、C 正确,B 错误;乙分子从  $r_3$  运动到距离甲分子最近位置的过程中,两分子间的作用力先增大后减小再增大,D 错误。

#### 任务二

#### 【探究活动】

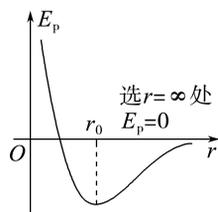
提示:(1)当  $r > r_0$  时,分子间作用力表现为引力。若  $r$  继续增大,分子力做负功,分子势能增大。

(2)当  $r < r_0$  时,分子间作用力表现为斥力。若  $r$  继续减小,分子力做负功,分子势能增大。

(3)分子势能最小。

#### 【评价活动】

1.AB 解析:分子势能与间距  $r$  的关系如图所示。由图可知,当两分子的间距为  $r_0$  时,分子势能最小,且小于零,故 A 正确,C、D 错误;当两分子的间距为  $r_0$  时,分子间的作用力为零,故 B 正确。



2.D 解析:乙分子由  $a$  到  $c$  的过程,分子间作用力表现为引力,做正功,乙分子做加速运动,故 A 错误;乙分子由  $a$  到  $d$  的过程中,分子间作用力先增大后减小再增大,根据牛顿第二定律可知,加速度先增大后减小再增大,故 B 错

误;乙分子由  $a$  到  $c$  的过程中,分子间作用力表现为引力,做正功,分子势能减小,由  $c$  到  $d$  的过程中,分子间作用力表现为斥力,做负功,分子势能增大,故运动到  $c$  点时,分子势能最小,即  $x_2=c, x_1<c$ ,故 C 错误,D 正确。

3.D 解析:分子间作用力做功与分子势能变化的关系和弹簧相似,即分子间作用力做正功时分子势能减小,分子间作用力做负功时分子势能增加。当乙分子由无穷远处向  $r_0$  移动时,分子间作用力做正功,分子势能减小;当乙分子由  $r_0$  向甲分子继续靠近时,要克服分子斥力做功,分子势能增大。所以在移动的整个过程中,分子势能先减小后增大,当分子间距离为  $r_0$  时,分子势能最小,D 正确。

4.B 解析:当  $r<r_0$  时,分子间作用力表现为斥力,分子间距离  $r$  增大时,分子间作用力做正功,分子势能  $E_p$  减小;当  $r>r_0$  时,分子间作用力表现为引力,分子间距离  $r$  增大时,分子间作用力做负功,分子势能  $E_p$  增大;当  $r=r_0$  时,分子间作用力为零,此时分子势能最小,故选项 B 正确。

### 任务三

1.B 解析:温度是分子平均动能的标志,所以物体温度升高,其分子的平均动能增大,故 B 正确,A 错误;而物体的内能是物体中所有分子的分子动能和分子势能的总和,所以只根据温度变化情况无法确定其内能的变化情况,故 C、D 错误。

2.A 解析:温度是分子平均动能的标志,A 正确;氢气和氧气的分子数相同,且都不考虑分子间作用力,即不考虑分子势能,故内能是相同的,B 错误;因为氢气和氧气的分子质量不同,所以两种气体分子的平均速率不同,D 错误;两种气体分子的平均动能相等,分子数目相同,分子热运动的总动能相同,C 错误。

3.BD 解析:物体被举高,机械能增大,若温度降低,内能可能减小,故 A 错误。物体在水平面上克服摩擦力做减速运动,机械能减小,而摩擦生热,物体温度升高,内能会增大,故 B 正确。物体静止,温度降低,内能减小,而物体的机械能不变,故 C 错误。物体内分子在永不停息地运动,内能不可能为零,而物体的机械能在一定条件下可以为零,故 D 正确。

4.BD 解析:某种物体的温度是  $0\text{ }^\circ\text{C}$ ,分子仍然在做无规则运动,物体中分子的平均动能并不为零,故 A 错误。温度是分子平均动能的标志,温度升高,分子的平均动能一定增大,但内能还包括分子势能,可知内能不一定增

大,故 B 正确。当分子间的距离增大时,分子间的引力和斥力都减小,其中斥力减小得更快,只有分子间距离大于平衡距离时,分子间的作用力才表现为引力,故 C 错误。温度是分子平均动能的标志,所以  $10\text{ g }100\text{ }^\circ\text{C}$  的水的分子平均动能等于  $10\text{ g }100\text{ }^\circ\text{C}$  的水蒸气的分子平均动能;同样温度的水变为同样温度的水蒸气要吸收热量,所以  $10\text{ g }100\text{ }^\circ\text{C}$  的水的内能小于  $10\text{ g }100\text{ }^\circ\text{C}$  的水蒸气的内能,故 D 正确。

5.CD 解析:氧气温度不变,体积不变,则内能不变,A、B 错误;汽车轮胎与地面摩擦,机械能减小,转化为内能,C、D 正确。

## 5 分子热运动的统计规律

### 问题式预习

#### 知识点一

1.统计 2.偶然 必然

[判一判]

1.√ 2.√ 3.√

#### 知识点二

2.正态 左右对称 3.(2)平均动能

[科学思维]

提示:不是。只是温度升高时,速率大的分子比例变多,仍然存在速率比较小的分子。

[判一判]

1.× 2.× 3.×

### 任务型课堂

#### 任务一

1.ABC 解析:气体分子除碰撞外可以认为是在空间内自由移动的,因气体分子沿各方向运动的概率相等,碰撞使之做无规则运动,但气体分子速率按正态分布,即按“中间多、两头少”的规律分布,所以 A、B、C 正确,D 错误。

2.C 解析:让大量小球从上方漏斗形入口落下,显示出规律性,按正态分布,落在槽内小球的分布形状如 C 所示,故 C 正确。

3.AD 解析:统计规律是对大量偶然事件而言的整体规律,对于少量的、个别的偶然事件是没有意义的。少量的、个别的气体分子的运动规律是不可预知的,但对于大量的气体分子的运动呈现出“中间多、两头少”的统计规律,所以选项 A、D 正确。

## 任务二

1. BCD 解析: 分子的速率大小与温度有关, 温度越高, 分子运动的平均速率越大, 并非所有分子的速率都越大, 选项 A 错误; 分子的速率大小与温度有关, 同一种气体温度越高, 分子的平均速率越大, 选项 B 正确; 气体分子的速率分布总体呈现出“中间多、两头少”的正态分布特征, 选项 C 正确; 气体分子的速率分布遵循统计规律, 适用于大量分子, 选项 D 正确。

2. BD 解析: 分子热运动是无规则的、杂乱无章的, 所以每个分子的速率不可能相等, 也不可能所有分子都朝同一方向运动, A、C 错误; 分子速率分布规律就是“中间多、两头少”, B 正确; 分子平均速率是大量分子的统计规律, 少数分子的速率具有偶然性, 温度升高, 少数分子的速率可能减小, D 正确。

3. BD 解析: 根据分子运动的特点, 不论温度有多高, 速率很大和很小的分子总是少数分子, 故 A 错误; 从图像可看出, 温度升高时, 速率大的分子数增多, 故 B 正确; 温度升高时, 分子的平均速率会增大, 但不能保证所有分子的速率都增大, 故 C 错误; 温度变化时, “中间多、两头少”的分子速率分布规律不会发生改变, 故 D 正确。

4. ACD 解析: 温度变化时, 表现出的“中间多、两头少”的分子分布规律是不会改变的, 选项 B 错误; 依据表格内容可知, 选项 A、C、D 正确。

5. C 解析: 由题图可知,  $T_2$  时, 气体中不是每个分子的速率都比  $T_1$  时的大, 故 A 错误; 由题图可知, 两种温度下气体分子速率都呈现“中间多、两头少”的分布规律, 由于  $T_1$  时速率较低的气体分子所占比例较大, 则说明  $T_1$  温度下气体分子的平均速率小于  $T_2$  温度下气体分子的平均速率, 故 B 错误; 由题图可知, 在  $T_1$ 、 $T_2$  两种不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分率与分子速率间的关系图线与横轴所围面积都应该等于 1, 即相等, 故 C 正确; 由题图可知, 与  $T_1$  时相比,  $T_2$  时气体分子速率在  $0 \sim 400$  m/s 的分子数占总分子数的百分率较小, 故 D 错误。

## 单元活动 1

### 【任务引导】

#### 任务一

活动 1 提示: 1 mol 食盐中有  $N_A$  个氯离子和  $N_A$  个钠离

子, 离子总数是  $2N_A$ , 摩尔体积  $V$ 、摩尔质量  $M$  与物质密

$$\text{度 } \rho \text{ 的关系为 } V = \frac{M}{\rho}$$

一个离子所占的体积为

$$V_0 = \frac{V}{2N_A} = \frac{M}{2N_A \rho}$$

由题图可知  $V_0$  就是图中每 8 个离子所夹的正立方体的体积, 此正方体的边长

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

由几何知识可知相距最近的两个钠离子中心间的距离

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

代入数据可得  $r \approx 3.97 \times 10^{-10}$  m。

活动 2 提示: (1) 地球的表面积为  $S = 4\pi R^2$

地球表面大气的重力与大气压力大小相等, 即有

$$mg = p_0 S$$

$$\text{所以大气的总质量 } m = \frac{4\pi R^2 p_0}{g}.$$

(2) 地球表面大气层的分子数为

$$n = \frac{m}{M} N_A = \frac{4\pi R^2 p_0 N_A}{Mg}.$$

## 任务二

提示: (1) 在无穷远处时, 分子间作用力为零,  $x = x_2$  时, 分子间作用力也为零, 而中间过程中分子间作用力表现为引力且先增大后减小, 故加速度先增大后减小, 速度一直增大; 分子  $b$  由  $x = x_2$  处继续沿  $x$  轴的负方向运动的过程中, 分子间作用力表现为斥力且逐渐增大, 故加速度逐渐增大, 速度逐渐减小。

(2) 分子  $b$  由无穷远处到  $x = x_2$  处, 分子引力做正功, 分子势能减小, 动能增大, 由  $x = x_2$  处继续沿  $x$  轴的负方向运动的过程中, 分子斥力做负功, 分子势能增大, 动能减小。

(3) 当分子  $b$  运动到  $x = x_1$  处时, 如果没有外力继续做功, 分子势能为零, 动能也减为零, 速度减为零, 故不可能运动到  $x = x_1$  左侧。

## 任务三

提示: (1) 物体是由大量分子组成的, 分子在做永不停息的无规则运动, 分子之间存在着相互作用力。

(2) 物体的内能包括物体中所有分子的热运动的动能和分子势能。从微观角度看, 物体的内能由组成物体的分子总数、分子热运动的平均动能和分子势能三个因素决定。

## 【活动达标】

1.C 解析:分子势能与分子间距离有关,即宏观上与物体体积有关,但不能简单地讲,分子间距离增大或物体体积增大,分子势能一定增大,所以 A、B、D 错误,C 正确。

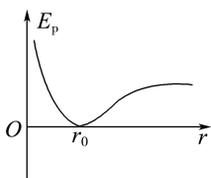
2.AD 解析:因为温度相同,所以氢气分子和氧气分子的平均动能相等;因为氢气的摩尔质量小,相同质量的氢气和氧气相比,氢气的分子数多,所以氢气的内能较大。

3.A 解析:1 mol 氧气分子的质量是氧气的摩尔质量,1 mol 氧气含有的分子个数等于阿伏伽德罗常量的值,已知氧气分子的质量和阿伏伽德罗常量,可以求出氧气的摩尔质量,A 正确;已知氧气分子的体积和阿伏伽德罗常量无法求出氧气的摩尔质量,B 错误;已知氧气的密度和阿伏伽德罗常量,可以求出单位体积内氧气的质量,但求不出氧气的摩尔质量,C 错误;已知氧气分子的体积和氧气分子的质量,求不出氧气的摩尔质量,D 错误。

4.BC 解析:冰水混合物的温度为  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,冰、水温度相同,故二者分子平均动能相同,A 错误;冰融化成水,需要吸收热量,故相同质量的水的内能大于冰的内能,C 正确,D 错误;相同质量的冰和水分子数相等,则总动能相等,而水的内能大于冰的内能,故水的分子势能大于冰的分子势能,B 正确。

5.B 解析:若  $y$  表示分子之间的作用力,则  $c$  点表示分子间作用力为零,对应受力平衡的位置,A 正确;力是矢量,若  $y$  表示分子之间的作用力,则分子之间的距离由  $r_d$  增大到  $r_b$  的过程中,分子间作用力先减小后增大,B 错误;分子势能是标量,若  $y$  表示分子势能(以无穷远处为零势能点),则分子之间的距离由  $r_d$  增大到  $r_b$  的过程中,分子势能一直减小,C 正确;若  $y$  表示分子之间的作用力,在  $a$ 、 $c$  间分子间作用力表现为引力,若  $y$  表示分子势能,在  $a$ 、 $b$  间分子间作用力表现为引力,故一个分子固定在坐标原点,另一个分子由  $a$  点释放,则这个分子由  $a$  到  $b$  的过程中,分子间作用力一定做正功,动能一直增加,D 正确。

6.正值 正值 如图所示:



7.解析:(1)每个氦-3 分子的质量  $m_0 = \frac{M}{N_A}$ 。

(2)每千克月球土壤中含有质量为  $m$  的氦-3,则

1.935 3 kg 月球土壤中含有氦-3 的质量为 1.935 3m,故嫦娥六号返回器带回的 1.935 3 kg 月球土壤中含有氦-3 的分子总个数为

$$N = \frac{1.935\ 3\ m}{M} N_A = 1.935\ 3 \frac{m N_A}{M}。$$

答案:(1)  $\frac{M}{N_A}$  (2)  $1.935\ 3 \frac{m N_A}{M}$

## 第二章 固体、液体和气体

### 1 固体和固体材料

#### 问题式预习

##### 知识点一

1.晶体 非晶体 2.各向异性 各向同性

3.规则几何 异性 4.晶粒

5.晶体内部 周期性 6.排列 7.晶体结构

##### [科学思维]

提示:食盐颗粒呈现立方体外形,松香颗粒没有规则的几何形状。把食盐颗粒研磨成粉末,其仍保持规则的外形。

##### [判一判]

1.× 2.√ 3.×

##### 知识点二

1.(1)流动性 各向异性 (2)显示元件

2.金属 绝缘体 物理效应

3.纳米 长度  $10^{-9}$

##### [科学思维]

提示:液晶是介于液体与晶体之间的一种中间态的物质,在特定方向上分子排列整齐,其物理性质表现为各向异性,另一方向上分子排列是杂乱的,具有液体的特征,所以液晶还具有流动性,但液晶并不是液体与晶体的混合物。

##### [判一判]

1.√ 2.× 3.√

#### 任务型课堂

##### 任务一

1.ACD 解析:常见的金属如金、银、铜、铁等都是多晶体,选项 A 正确;非晶体和多晶体的物理性质都表现为各向同性,选项 B 错误,D 正确;有天然规则几何形状的物体一定是单晶体,选项 C 正确。

2.BCD 解析:单晶体沿不同方向的导热或导电性能不相同,沿不同方向的光学性质也可能不相同,故 A 错误;根据晶体的特征可知单晶体有确定的熔点,非晶体没有确

定的熔点,故B正确;因为组成晶体的微粒能够按照不同的排列规则在空间分布,所以有的物质在不同条件下能够生成不同晶体,故C正确;多晶体是由许多单晶体杂乱无章地组合而成的,因此多晶体没有确定的几何形状,故D正确。

3.A 解析:天然的水晶具有规则的几何外形,所以是单晶体,故A正确;晶体具有固定的熔点,故B错误;天然的水晶微观粒子的空间排列规则,故C错误;单晶体在光学性质上表现为各向异性,故D错误。

4.C 解析:由于单晶体具有各向异性,在单晶体表面上熔化的石蜡应该呈椭圆形,而非晶体和多晶体具有各向同性,则在多晶体和非晶体表面上熔化的石蜡呈圆形,因此c是单晶体,根据温度随加热时间变化的关系图像可知,a是多晶体,b是非晶体,金属属于晶体,故b不可能是金属薄片,选项A、B错误;在一定条件下,晶体和非晶体可以相互转化,选项C正确;c是单晶体,其内部的微粒排列是规则的,选项D错误。

## 任务二

### 【探究活动】

提示:利用了液晶具有各向异性的性质。液晶可用作显示元件,是因为液晶受外加电压的影响,会由透明状态变成混浊状态而不再透明,去掉电压,又恢复透明。当输入电信号,加上适当电压时,透明的液晶变得混浊,从而显示出设定的文字或图像。

### 【评价活动】

1.CD 解析:液晶的微观结构介于晶体和液体之间,虽然液晶分子在特定方向排列比较整齐,具有各向异性,但分子的排列是不稳定的,选项A、B错误;外界条件的很多微小变化都会引起液晶分子排列的变化,从而改变液晶的某些性质,温度、压力、外加电压等因素变化时,都会改变液晶的光学性质,选项C、D正确。

2.AD 解析:并不是所有的物质都具有液晶态,A正确;液晶内部的分子排列不稳定,当外界物理条件发生微小变化时,液晶分子的排列将会发生变化,B错误;液晶是某些化合物在特定条件下表现出的一种状态,C错误;液晶的物理性质不稳定,利用液晶随温度变化时颜色改变的性质可探测温度,D正确。

3.B 解析:液晶是一种既具有晶体的某些性质,又具有液体的某些性质的特殊物质,但不是液体和晶体的混合物,A错误;液晶分子在特定方向排列比较整齐,但不稳定,外界物理条件的微小变动将会引起液晶分子排列的变

化,B正确;液晶的光学性质具有各向异性,C错误;有些物质在特定的温度范围内或在特定的溶剂中溶解可成为液晶态,但并不是所有物质都能形成液晶态,D错误。

## 任务三

### 【探究活动】

提示:纳米是长度单位, $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ 。以碳纳米管为例,该纳米材料韧性好、导电性极强,并兼具金属和半导体的特性。

### 【评价活动】

1.A 解析:某些半导体的电阻随温度的升高而减小,故A错误;利用半导体的导电特点可以制成有特殊用途的光敏、热敏电阻,故B正确;半导体材料可以制成晶体二极管和晶体三极管,故C正确;半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间,故D正确。本题选错误的,故选A。

2.D 解析:纳米材料是指长度为纳米级的材料,不是所有材料达到纳米尺度时就一定是纳米材料,只有材料到了纳米尺度时性能发生突变,才能称为纳米材料,故A、B错误;纳米材料只是近年来才开始被人们利用,存在天然的纳米材料,也存在制成的纳米材料,故C错误;“纳米”是一种长度单位, $1\text{ nm}=10^{-9}\text{ m}$ ,所以纳米材料的基本单元很小,故D正确。

3.AB 解析:纳米材料具有许多良好的性能,在力学性能方面,纳米材料具有强度高、硬度大和塑性好等优点,A正确。在热学性能方面,纳米超细微粒的熔点比常规粉体低得多,B正确。在电学性能方面,纳米材料在低温时会呈现电绝缘性;而在化学性能方面,纳米材料具有相当高的化学活性,C、D错误。

## 2 液体

### 问题式预习

#### 知识点

1.(1)收缩 表面张力 (2)趋向最小 (3)间距较长引力

2.(1)会润湿 附着 浸润 不会润湿 不浸润

(2)上升 下降 毛细现象

#### 【科学思维】

提示:不是。液体表面张力的作用是使液体表面形成一层薄膜,液面对水黾的作用其实是这层薄膜对它的作用。

#### 【判一判】

1.√ 2.√ 3.× 4.√

## 任务型课堂

### 任务一

#### 【探究活动】

提示:早晨草叶上露珠呈球形和水黾在水面上能够静止不动,都是由于液体的表面张力的作用。露珠的形状呈扁平状,是自身重力造成的。

#### 【评价活动】

1.D 解析:与气体接触的液体表面层分子间的距离大于液体内部分子间的距离,液体表面层的分子间同时存在相互作用的引力与斥力,但因为分子间的距离大于分子的平衡距离 $r_0$ ,分子间引力大于分子间斥力,分子间作用力表现为引力,即存在表面张力,表面张力使液体表面有收缩的趋势,故A、B、C错误,D正确。

2.D 解析:液体内部的分子引力和斥力大小相等,液体表面层的分子分布比液体内部稀疏,分子间的距离大于液体内部分子间的距离,分子间作用力表现为引力,有使其表面积收缩到最小的趋势,选项D正确,A、B、C错误。

3.AD 解析:小昆虫在水面上自由活动时,其腿部位置比周围水面稍下陷,但仍在水面上而未陷入水中,就像踩在柔韧性非常好的膜上一样,因此这是液体表面张力在起作用;浮在水面上的缝衣针与小昆虫情况一样,故A正确,C错误。小木块浮于水面上时,木块下部实际上已经陷入水中,受到水的浮力作用,是浮力与重力平衡的结果,而非表面张力在起作用,故B错误。喷泉喷到空中的水分散时,每一小部分水的表面都有表面张力在起作用,且水珠又处于失重状态,因而形成了球形水珠,故D正确。

4.D 解析:在“水桥”内部,分子间的距离在 $r_0$ 左右,分子力约为零,而在“水桥”表面层,分子比较稀疏,分子间的距离大于 $r_0$ ,因此分子间的作用力表现为吸引力,从而使“水桥”表面绷紧,所以能总体反映表面层的水分子之间相互作用的是C位置,故A、C错误;分子间距离从大于 $r_0$ 减小到 $r_0$ 左右的过程中,分子力表现为引力,做正功,则分子势能减小,所以“水桥”表面层中两水分子间的分子势能与其内部水相比偏大,故B错误;王亚平放开双手,“水桥”在表面张力作用下收缩,而“水桥”与板接触面的水分子对板有吸引力作用,在两板靠近过程中分子力做正功,故D正确。

### 任务二

1.AB 解析:水可以附着在玻璃表面上,也就是说水可以浸润玻璃,但不会附着在蜂蜡上,也就是说水不浸润蜂蜡,所以同一液体对不同的固体,有的发生浸润现象,有的发生不浸润现象,这与液体和固体的分子作用力有关,

A正确;浸润液体和不浸润液体都能发生毛细现象,B正确,C错误;在细管中沿管壁上升的是浸润液体,在细管中沿管壁下降的是不浸润液体,D错误。

2.AD 解析:浸润液体在细管中上升或不浸润液体在细管中下降的现象为毛细现象,管越细,现象越明显,A、D正确,B、C错误。

3.A 解析:由于水的表面张力作用使得水滴呈现球形,由于重力作用使水滴呈现椭球形,即水滴呈椭球形是水的表面张力与重力共同作用的结果,选项A正确;水滴呈椭球形是水和防水膜发生了不浸润现象,选项B错误;水与未贴膜的玻璃表面接触时发生浸润,与未贴膜的玻璃表面接触的那层水分子比水滴内部密集,接触面的水分子间的作用力表现为斥力,使水有面积扩大的趋势,选项C、D错误。

4.AC 解析:当某液体对某种固体是浸润的,则该液体附着层分子间作用力表现为斥力,附着层分子间距小于液体内部分子间距,附着层分子密度大于液体内部分子的密度,液面是凹形的,液面跟固体接触的面积有扩大的趋势,故A、C正确,B、D错误。

5.B 解析:根据题意,水对合格的医用防护口罩内侧所用材料都是不浸润的,如题图所示,水没有浸润口罩内侧,所以不能判定题图中的口罩为不合格产品,选项A错误;如题图所示,小水滴为球形是液体表面张力造成的,附着层内水分子比内部稀疏,表面张力具有使液体表面绷紧,即减小表面积的作用,选项B正确,C错误;浸润与不浸润现象是相对的,所以并非所有的液体对该材料都是不浸润的,选项D错误。

## 3 温度和温标

### 问题式预习

#### 知识点一

- 1.体积 压强
- 2.热运动 热运动
- 3.分子 宏观 外界
- 4.热接触 温度
- 5.热平衡

#### 【判一判】

- 1.√ 2.√ 3.√ 4.√

#### 知识点二

- 1.温度
- 2.(1)0 °C 100 °C 100 (2)热力学 开尔文 K
- 3.(1)273.15 (2)1 K

#### 【做一做】

A 解析:热力学温标和摄氏温标的起点是不同的,但是热力学温标中的每1 K与摄氏温标中每1 °C大小相等,且两者满足 $T/K = t/°C + 273.15$ 。

## 任务型课堂

### 任务一

1.B 解析:开空调(制热)2 min内教室内的气体温度要变化,故系统没有达到平衡态,A错误;两物体温度不同,接触后高温物体会向低温物体传热,处于非平衡态,B正确; $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰水混合物放入 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境中,周围环境会向冰水混合物传热,系统没有达到平衡态,C错误;压缩密闭容器中的空气,要对空气做功,机械能转化为内能,系统没有达到平衡态,D错误。

2.A 解析:如果一个系统达到了平衡态,系统内各部分的状态参量,如温度、压强和体积等不再随时间发生变化。温度达到稳定值,但其分子仍然是运动的,不可能达到所谓的“凝固”状态。故A正确。

3.BD 解析:由于描述系统的各种性质需要不同的物理量,只要其中某个量发生变化,系统的状态就会发生变化,但不一定各个状态参量都发生变化,选项A错误;系统处于平衡态或非平衡态,只是状态参量有无变化,但都有状态参量,选项C错误;当系统不受外界影响时,系统总要趋于平衡,其内部各部分的状态参量趋于稳定,选项B正确;两个物体间发生热传递时,两个物体组成的系统内部仍存在温差,故系统处于非平衡态,选项D正确。

### 任务二

#### 【探究活动】

提示:不对。由于铁棒和木头都与周围的环境达到热平衡,故它们的温度是一样的。之所以感觉到铁棒特别凉,是因为铁的导热性更好,这位工人在单位时间内传递给铁棒的热量比较多。

#### 【评价活动】

1.C 解析:处于热平衡状态的系统,如果受到外界的影响,状态参量会随之变化,温度也会变化,某时刻的热平衡状态并不代表永远的热平衡状态,故A错误;热平衡定律对多个系统也适用,故B错误;由热平衡的意义,知C正确;温度相同是热平衡的标志,必须相同,故D错误。

2.BCD 解析:处于热平衡的系统都具有相同的状态参量——温度,故选项A错误,C正确;由热平衡定律可知,若物体与系统A达到热平衡,它同时也与系统B达到热平衡,则系统A的温度等于系统B的温度,这也是温度计用来测量温度的基本原理,故选项B、D正确。

3.B 解析:一般来说,描述系统的状态参量不止一个,根据平衡态的定义知所有性质都不随时间变化,系统才处于平衡态,A错误;根据热平衡的定义知,处于热平衡的两个系统温度相同,B正确,D错误;平衡态是针对某一系统而言的,热平衡是两个系统相互影响的最终结果,C错误。

4.B 解析:标准大气压下,冰水混合物的温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,与 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水达到了热平衡,选项A错误;根据热平衡定律,A、B两系统分别与C系统达到热平衡,则A、B两系统达到热平衡,故B正确;甲、乙、丙物体温度不相等,先使甲、乙接触,最终达到热平衡,再使丙与乙接触最终也达到热平衡,此时乙、丙与甲的温度不一定相等,所以甲、丙不一定是处于热平衡的状态,故C错误;根据热平衡的特点可知,两个系统达到热平衡的标志是它们温度相同,但压强、体积不一定相同,故D错误。

### 任务三

#### 【探究活动】

提示:(1)水银体温计的测温物质是水银,是根据水银的热膨胀来制造的;电子体温计的测温物质是电阻,是根据热敏电阻的电阻率随温度变化的特性来制造的;热电偶温度计的测温物质是两条金属丝,是根据不同导体因温差产生电动势的大小不同来制造的。

(2)摄氏温标和热力学温标的关系为 $T/\text{K}=t/\text{ }^{\circ}\text{C}+273.15$ 。

#### 【评价活动】

1.AD 解析:不同温标下,同一物体的温度在数值上可能不同,A正确;相同的冷热程度,用不同的温标表示,数值可能是不同的,但温度相同,B错误;热力学温标是从理论上作出规定的,C错误,D正确。

2.B 解析:热力学温度与摄氏温度的关系是 $T/\text{K}=t/\text{ }^{\circ}\text{C}+273.15$ ,两者表示的温度可以比较,所以A、D错误;由 $T/\text{K}=t/\text{ }^{\circ}\text{C}+273.15$ ,可得 $\Delta T=T_2-T_1=t_2-t_1=\Delta t$ ,即用摄氏温度表示的温差等于用热力学温度表示的温差,所以B正确,C错误。

3.D 解析:温标是温度数值的表示方法,所以温度与温标是不同的概念,用热力学温标表示的温度称为热力学温度,A错误;摄氏温度可以取负值,但是热力学温度不能取负值,因为热力学温度的零点是低温的极限,故B错误;摄氏温度升高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 也就是热力学温度升高了 $3\text{ K}$ ,故C错误;摄氏温度的每一摄氏度与热力学温度的每一开尔文的大小相等,D正确。

4.ABC 解析:双金属温度计是利用热膨胀系数不同的铜、铁两种金属制成的双金属片,其弯曲程度随温度变化而变化,A、B正确;如题图甲所示,加热时,双金属片的弯曲程度增大,即进一步向上弯曲,说明双金属片的下层金属热膨胀系数较大,即铜的热膨胀系数较大,C正确,D错误。

5.解析:(1)摄氏温标中冰的熔点温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,水的沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且用 $t$ 表示,而热力学温标把 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为 $0\text{ K}$ ,用 $T$ 表示,故它们之间的关系为 $T/\text{K}=t/\text{ }^{\circ}\text{C}+273.15$ 。

(2)若取 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为绝对零度,则 $T/\text{K}=t/\text{ }^{\circ}\text{C}+273.15$ ,显然在标准大气压下,冰的熔点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,即 $273\text{ K}$ ;水的沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,即 $373\text{ K}$ 。

(3) 因为  $T/K = t/^\circ\text{C} + 273.15$ , 所以当  $t$  由  $1^\circ\text{C}$  升高到  $2^\circ\text{C}$  时,  $T$  就由  $(1+273.15)$  K 升高到  $(2+273.15)$  K, 升高了 1 K。

答案: (1)  $T/K = t/^\circ\text{C} + 273.15$  (2) 0 273 100 373

(3) 1

## 4 实验:探究气体等温变化的规律

### 问题式预习

#### 知识点一

1. 一定质量 温度不变

2. 温度 质量 3. 传感器

#### [科学思维]

提示: 控制变量法。保证温度不变、质量不变, 研究气体压强随体积变化的规律。

#### [判一判]

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\sqrt$

#### 知识点二

1. (1) 密封 (4)  $p - \frac{1}{V}$  2. 反比  $pV$

#### [科学思维]

提示: 双曲线。  $p - \frac{1}{V}$  图像是过原点的倾斜直线, 能直观分析  $p$  和  $\frac{1}{V}$  成正比, 即  $p$  和  $V$  成反比。

#### [判一判]

1.  $\sqrt$  2.  $\times$  3.  $\sqrt$  4.  $\times$

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示: 不能, 压强  $p$  也可能与体积  $V$  的二次方(三次方)或与  $\sqrt{V}$  成反比, 只有作出的  $p - \frac{1}{V}$  图线是直线, 才能判定  $p$  与  $V$  成反比。

#### 【评价活动】

1. AC 解析: 缓慢地推动活塞, 可以使封闭气体的温度与外界的温度保持一致, 从而可以保持封闭气体的温度不变, 故 A 正确; 在活塞上涂上润滑油, 保持良好的密封性, 这样是为了保持封闭气体的质量不发生变化, 并不能保持封闭气体的温度不变, 故 B 错误; 当用手直接握住注射器有封闭气体的部分时, 手的温度可能改变封闭气体的温度, 所以不要用手直接握住注射器有封闭气体的部分, 故 C 正确; 只要封闭气体的质量不变, 气体的多少不会改变实验的结果, 与气体的温度是否变化无关, 故 D 错误。

2. AD 解析: 本实验采用的方法是控制变量法, 所以要保持被封闭气体的质量和温度不变, A 正确; 由于注射器的横截面积不变, 因此只需测出空气柱的长度即可, B 错误; 涂润滑油的主要目的是防止漏气, 使被封闭气体的质量不发生变化, C 错误;  $p$  与  $V$  成反比,  $p - \frac{1}{V}$  图像是一条过原点的直线, 而  $p - V$  图像是双曲线的一支, 所以  $p - \frac{1}{V}$  图像更直观, D 正确。

3. 解析: (1) 为了保证气密性, 应用管塞密封注射器的下端, A 必要; 由于注射器的直径均匀恒定, 根据  $V = LS$  可知体积和空气柱长度成正比, 所以只需读取刻度尺上显示的空气柱长度, 不需要测量活塞的直径, B 不必要, D 必要; 为了得知气压的变化情况, 需要读取压力表上显示的气压值, C 必要。

(2) 手温会影响气体的温度, 且实验过程中气体压缩太快, 温度升高后热量不能快速释放, 气体温度会升高, 所以这样做的目的是保证气体状态变化过程中温度尽可能保持不变。

(3) 当气体做等温变化时,  $p$  与  $V$  成反比, 即  $p \propto \frac{1}{V}$ , 故  $p - \frac{1}{V}$  图像为直线, 所以为了能直观反映  $p$  与  $V$  成反比的关系, 应作  $p - \frac{1}{V}$  图像, C 正确。

答案: (1) B (2) 保证气体状态变化过程中温度尽可能保持不变 (3) C

4. 解析: (1) 题图甲中①为压强传感器; 研究一定质量的气体压强与体积的关系时, 应保持气体的质量和温度不变。(2) 压强与体积成反比的图像应为双曲线的一支, 因不能确定题图乙的  $p - V$  图像是双曲线的一支, 所以不能确定压强与体积成反比。

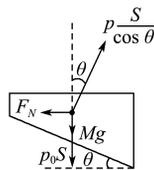
(3) 实验时注射器内的空气向外发生了泄漏, 导致气体的  $p \cdot V$  乘积随气体体积的减小而减小。

答案: (1) 压强 质量 温度 (2) 不能

(3) 实验时注射器内的空气向外发生了泄漏

#### 任务二

1. D 解析: 圆板的下表面是倾斜的, 气体对其的压力应与该面垂直。为求气体的压强, 应以封闭气体的金属圆板为研究对象, 其受力分析如图所示, 由物体的平衡条件得  $p \frac{S}{\cos \theta} \cdot \cos \theta = Mg + p_0 S$ , 解得  $p = p_0 + \frac{Mg}{S}$ , 故 D 正确。



2.解析:设气柱长度为  $h$ ,对玻璃管由受力平衡得

$$mg = \rho ghS$$

$$\text{解得 } h = 1 \text{ m}$$

此时管内气体的压强

$$p = p_0 + \rho g(h + H) = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

答案:  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$

3.解析:  $C$ 、 $D$  两处液面等高,压强相同,  $p_A = p_C = p_D$

设管的横截面积为  $S$ ,对高为  $h$  的液柱受力分析:



$$\text{可得 } p_D S = p_0 S + mg$$

$$\text{联立解得 } p_A = p_0 + \frac{mg}{S} = p_0 + \rho_{\text{水银}} gh$$

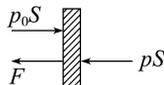
代入数据解得

$$p_A = p_0 + p_h = 1.136 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

答案:  $1.136 \times 10^5 \text{ Pa}$

4.解析:以气缸整体为研究对象,有  $F = (m_1 + m_2)a$

以活塞为研究对象,如图所示,有  $F - p_0 S + pS = m_2 a$



$$\text{联立解得 } p = p_0 - \frac{m_1 F}{(m_1 + m_2)S}$$

$$\text{答案: } p_0 - \frac{m_1 F}{(m_1 + m_2)S}$$

### 任务三

#### 【探究活动】

提示:(1)因为在恒温池中,所以气泡内气体的温度保持不变。

(2)变小。

(3)由等温变化规律  $pV = C$  可知,压强变小,气体的体积变大。

#### 【评价活动】

1.解析:以管内封闭的气体为研究对象。玻璃管开口向上时,管内的压强  $p_1 = p_0 + p_h$ ,气体的体积  $V_1 = L_1 S$  ( $S$  为玻璃管的横截面积,  $p_h = \rho_{\text{水银}} gh$ )

当玻璃管开口向下时,管内的压强  $p_2 = p_0 - p_h$ ,这时气体的体积  $V_2 = L_2 S$

由等温变化规律得

$$(p_0 + p_h)L_1 S = (p_0 - p_h)L_2 S$$

$$\text{解得 } L_2 = \frac{p_0 + p_h}{p_0 - p_h} L_1 \approx 0.39 \text{ m.}$$

答案:  $0.39 \text{ m}$

2.解析:(1)以  $V_{\text{总}}$ 、 $V$  分别表示  $A$  的总容积和打气前药液上方的气体体积,  $p_0$  表示打气前  $A$  容器内、外的气体压强,  $V_0$  表示每次打入压强为  $p_0$  的空气体积,  $p_1$  表示打  $n$  次打气筒后容器  $A$  内的气体压强,以  $A$  中原有空气和  $n$  次打入  $A$  中的全部气体作为研究对象,由等温变化规律可得

$$p_0(V + nV_0) = p_1 V$$

$$\text{所以 } n = \frac{(p_1 - p_0)V}{p_0 V_0} = \frac{(4 \times 10^5 - 1 \times 10^5) \times 1.5}{1 \times 10^5 \times 250 \times 10^{-3}} = 18 \text{ 次.}$$

(2)打开阀门  $K$ ,直到药液不能喷射,忽略喷管中药液产生的压强,则容器  $A$  内的气体压强应等于外界大气压强,以容器  $A$  内的气体作为研究对象,由等温变化规律,可得

$$p_1 V = p_0 V'$$

所以药液不能喷射时容器  $A$  内的气体体积

$$V' = \frac{p_1 V}{p_0} = \frac{4 \times 10^5}{1 \times 10^5} \times 1.5 \text{ L} = 6 \text{ L}$$

容器  $A$  内剩余药液的体积

$$V_{\text{剩}} = V_{\text{总}} - V' = 7.5 \text{ L} - 6 \text{ L} = 1.5 \text{ L.}$$

答案:(1)18次 (2)1.5 L

3.解析:(1)由等温变化规律有  $pV = p_0 V_0$

$$\text{解得 } V_0 = \frac{pV}{p_0}$$

(2)气球内空气体积为  $V_0$  时,密度为  $\rho_0$ ,故气球内部空气

$$\text{质量 } m_{\text{内}} = \rho_0 V_0 = \frac{\rho_0 pV}{p_0}$$

对气球和气球内部气体组成的系统受力分析,由力的平衡条件有

$$(m_0 + m_{\text{内}})g = F_{\text{浮}} + mg$$

$$\text{又 } F_{\text{浮}} = \rho_0 gV$$

$$\text{结合 } (p - p_0)(V - V_{B0}) = C$$

$$\text{联立解得 } V = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

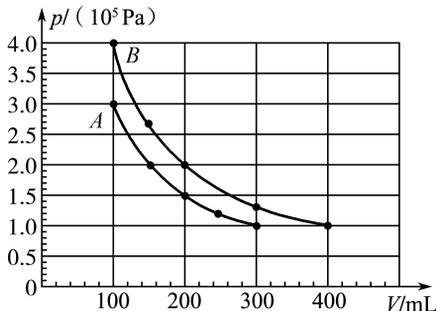
$$\text{答案: (1) } \frac{pV}{p_0} \quad (2) 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

### 任务四

#### 【探究活动】

提示:(1)①1.2 ②1.5 ③1.3 ④2 ⑤2.7 ⑥4

(2) $A$ 、 $B$  的  $p$ - $V$  图像如图所示。封闭气体的质量不变,做等温变化。质量越大,  $p$ 、 $V$  的乘积越大,所以  $p$ - $V$  图像不同。



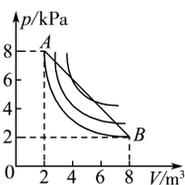
(3)等温图像反映了一定质量的气体在温度不变的情况下,压强随体积变化的规律。

### 【评价活动】

1.ABD 解析:根据等温线的物理意义可知 A、B 正确; $p$ - $V$  图像中气体的温度越高,等温线离原点就越远,所以 C 错误,D 正确。

2.BD 解析:由  $pV=C$  知,压强与体积成反比,故 A 错误; $p \propto \frac{1}{V}$ ,所以  $p$ - $\frac{1}{V}$  图线的延长线经过坐标原点,故 B 正确; $p$ - $\frac{1}{V}$  图线的斜率越大,对应的温度越高,所以  $T_1 < T_2$ ,故 C 错误,D 正确。

3.C 解析:作几条等温线,如图所示。由图可知, $p_A V_A = p_B V_B$ ,所以 A、B 两状态的温度相等。由于离原点越远的等温线温度越高,因此从状态 A 到状态 B 的过程中温度先升高后降低,分子平均速率先增大后减小,故 C 正确。



## 5 气体的等容变化和等压变化

### 问题式预习

#### 知识点一

1.(1)质量 体积 压强  $p$  热力学温度  $T$

2.(1)质量 压强 体积  $V$  热力学温度  $T$

#### [判一判]

1.√ 2.√ 3.×

#### 知识点二

1.一定 密集程度越大 越大

2.分子数 平均动能 撞击力 压强

3.平均动能 密集程度

4.(1)温度 压强 气体实验定律 不太低 不太大

$$(2) \frac{pV}{T} = C \quad \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

#### [做一做]

D 解析:理想气体是物理学上为了简化问题而引入的一个理想化模型,在现实生活中不存在;严格遵从气体实验定律的气体是理想气体,实际中只要气体的压强不太大、温度不太低,都可以近似看成理想气体,A、B 说法正确。温度是分子平均动能的标志,一定质量的理想气体忽略了

分子势能,所以内能增大,其分子平均动能增大,则温度一定升高,C 说法正确。只有当压强不太大、温度不太低时,才可以将氦气当作理想气体,D 说法错误。

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)压强与摄氏温度呈线性关系,但不成正比例关系;图线与纵轴的截距表示  $0^\circ\text{C}$  时气体的压强。

(2)交点表示热力学温度的  $0\text{K}$ ;压强与热力学温度成正比。

#### 【评价活动】

1.C 解析:一定质量的气体做等容变化,气体的压强跟热力学温度成正比,跟摄氏温度不成正比关系,A 错误;根

据公式  $p_t = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ ,其中  $p_0$  是  $0^\circ\text{C}$  时的压强,所

以  $\Delta p = \frac{t}{273} p_0$ ,B 错误;由公式  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{\Delta p}{\Delta T}$  得,C 正确;

D 项中,由  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{273+t_1}{273+t_2}$  得, $p_2 = p_1 \left(1 + \frac{t_2-t_1}{273+t_1}\right)$ ,D 错误。

2.解析:设再注入的水银柱长为  $x$  cm,以封闭在管中的气体为研究对象,气体做等容变化。

初状态  $p_1 = p_0 + \rho_{\text{水银}} g h$ ,  $T_1 = (273+27)\text{K} = 300\text{K}$

末状态  $p_2 = p_0 + \rho_{\text{水银}} g (h+x)$ ,  $T_2 = (273+30)\text{K} = 303\text{K}$

由等容变化规律有  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$$\text{即 } \frac{p_0 + \rho_{\text{水银}} g h}{300\text{K}} = \frac{p_0 + \rho_{\text{水银}} g (h+x)}{303\text{K}}$$

解得  $x \approx 0.9$

则需要注入水银柱的长度约为  $0.9\text{cm}$ 。

答案:  $0.9\text{cm}$

3.解析:(1)以表内的气体为研究对象,初状态的压强为

$p_1 = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$ ,温度为  $T_1 = (27+273)\text{K} = 300\text{K}$

末状态的压强为  $p_2$ ,温度为  $T_2 = (-21+273)\text{K} = 252\text{K}$

根据等容变化规律有  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

解得  $p_2 = 8.4 \times 10^4\text{Pa}$

如果手表的表盘玻璃是向内爆裂的,则外界的大气压强至少为  $p_0 = 8.4 \times 10^4\text{Pa} + 6.0 \times 10^4\text{Pa} = 1.44 \times 10^5\text{Pa}$

大于山脚常温下的大气压强,这显然是不可能的,所以可判断手表的表盘玻璃是向外爆裂的。

(2)当时外界的大气压强不会超过

$$p = p_2 - 6.0 \times 10^4\text{Pa} = 2.4 \times 10^4\text{Pa}.$$

答案:(1)见解析 (2)  $2.4 \times 10^4\text{Pa}$

## 任务二

### 【探究活动】

提示:(1)在压强不变的情况下,气体的体积  $V$  与热力学温度  $T$  成正比。

(2)气体的质量和压强不变。

(3)从图像中可以看出,无论是  $V-T$  图像还是  $V-t$  图像,都是在同一图像中,等压线的斜率越大,压强越小。因此  $p_1 > p_2$ 。

### 【评价活动】

1.B 解析:以气缸整体为研究对象,由受力平衡知弹簧弹力的大小等于气缸和活塞的总重力,故  $l$ 、 $h$  不变;设气缸的重力为  $G_1$ ,则封闭气体的压强  $p = p_0 - \frac{G_1}{S}$  保持不变;当温度升高时,由等压变化规律知气体体积增大, $H$  将减小,故只有 B 项正确。

2.解析:气体体积不变,根据气体等容变化规律得  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ ,初状态,  $p_1 = 2.9p_0$ ,  $T_1 = 290$  K,末状态,  $T_2 = 300$  K,代入可得  $p_2 = 3.0p_0$ ;一定质量的理想气体内能仅由温度决定,温度升高,分子的平均动能增大,内能增大,故内能大于  $17^\circ\text{C}$  时气体的内能。

答案:3.0 大于

3.解析:初状态有  $T_1 = (273 + 20)$  K = 293 K,  $V_1 = h_1 S$

末状态有  $T_2 = (273 + 100)$  K = 373 K,  $V_2 = h_2 S$

其中  $S$  为活塞的横截面积

根据等压变化规律有  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

得  $V_2 = \frac{V_1}{T_1} T_2$

即  $h_2 = \frac{h_1}{T_1} T_2 = \frac{h_1}{293 \text{ K}} \times 373 \text{ K} \approx 1.27h_1$ 。

答案:1.27 $h_1$

4.解析:此题从容器中逸出空气来看是一个变质量问题,如果把逸出的空气看成气体的膨胀,因小孔跟外界大气相通,所以压强不变,就可以转化为等压变化问题。

以容器中原来的气体为研究对象,则

初状态  $V_1 = V$ ,  $T_1 = (27 + 273)$  K = 300 K

末状态  $V_2 = V + \Delta V$ ,  $T_2 = (127 + 273)$  K = 400 K

由等压变化规律有  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

得  $\frac{V}{T_1} = \frac{V + \Delta V}{T_2}$

代入数据得  $\Delta V = \frac{V}{3}$

又因为  $m = \rho V$

$$\text{故 } \frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{V + \Delta V} = \frac{\frac{V}{3}}{\frac{4}{3}V} = \frac{1}{4}。$$

答案:  $\frac{1}{4}$

## 任务三

### 【探究活动】

提示:(1)因体积不变,则气体分子的数密度不变。

(2)由  $\frac{p}{T} = C$  知,温度升高,压强增大。

(3)因温度升高,气体分子的平均动能增大。

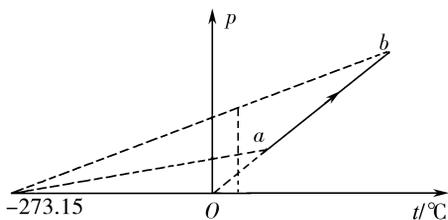
(4)增多。

### 【评价活动】

1.C 解析:分子热运动的平均动能只与温度有关,A 错误;若  $p$  不变, $V$  增大,则  $T$  升高,B 错误;若  $p$  不变, $T$  增大,则  $V$  增大,C 正确;若  $V$  不变,单位体积内的分子数不变,D 错误。

2.AD 解析:一定质量的气体,分子总数不变,体积增大,单位体积内的分子数减少;体积减小,单位体积内的分子数增加。根据气体的压强与单位体积内的分子数和分子的平均动能这两个因素的关系,可判知 A、D 选项正确, B、C 选项错误。

3.B 解析:在  $p-t$  图像中作出过  $a$ 、 $b$  两点的等容线,延长交于同一点,该点横坐标为  $-273.15^\circ\text{C}$ ,如图所示,在图像上画一条竖直线,表示温度相同,则压强大的体积小,所以气体从  $a$  到  $b$  体积减小,B 正确。



4.B 解析:由一定质量理想气体状态方程得  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ ,得  $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1 V_2}{V_1 T_2}$ ,由于  $V_1 < V_2$ ,  $T_1 = 291$  K  $>$   $T_2 = 283$  K,故  $p_1 > p_2$ ,选项 A、C 错误;题图甲中包装袋内气体体积小,则分子数密度大,又由其温度较高知,分子碰撞频率大,选项 B 正确;包装袋鼓起得更厉害,说明包装袋内气体体积更大,根据理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$ ,可知其原因可能是压强减小或者温度升高,不一定是海拔升高,选项 D 错误。

#### 任务四

#### 【探究活动】

提示:以热气球及其中所含空气整体为研究对象,受重力及周围空气的浮力作用,当燃烧器喷出火焰时,将气球内空气加热,温度升高,但气体压强始终等于外界大气压强,可认为是不变的。由状态方程  $\frac{pV}{T}=C$  知,  $p$  一定,  $T$  增大,则  $V$  增大,于是热气球内热空气体积膨胀,从下面漏出,使热气球内所含空气的质量减小,热气球整体的重力减小,当浮力大于重力时,热气球便会上升。

#### 【评价活动】

1. AD 解析:理想气体是一种理想模型, A 正确;实际气体在温度不太低、压强不太大时可视为理想气体, B 错误;一定质量的某种理想气体的内能与温度有关,与体积无关, C 错误;气体实验定律的适用条件是指一定质量的理想气体, D 正确。

2. AC 解析:由题可知,初始时左右两侧气体的压强相同,且  $T_1 < T_2$ , 假设在升温的过程中  $P$  板不发生移动,则由等容变化  $\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T} \Rightarrow \Delta p = \frac{p}{T} \Delta T$ , 因  $\Delta T$  相同,可得左侧气体压强增加得更多,则  $P$  板向右移动, A 正确, B 错误;

保持温度不变,  $M$ 、 $N$  向中间移动相同的距离时,有  $\frac{pV}{T} =$

$C$ ,  $p = \frac{CT}{V}$ , 因初始时  $p_1 = p_2$ , 所以有  $\frac{C_1 T_1}{V_1} = \frac{C_2 T_2}{V_2}$ , 则

$\frac{V_1}{C_1 T_1} = \frac{V_2}{C_2 T_2}$ , 因为  $T_1 < T_2$ ,  $V_1 < V_2$ , 若  $P$  不移动, 则

$\frac{V_1 - \Delta V}{C_1 T_1} < \frac{V_2 - \Delta V}{C_2 T_2}$ , 故  $\frac{C_1 T_1}{V_1 - \Delta V} > \frac{C_2 T_2}{V_2 - \Delta V}$ , 则  $p_1 > p_2$ ,

故  $P$  将向右移动, C 正确, D 错误。

3. 解析:(1)由理想气体状态方程有  $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$

所以此时气体的体积为

$$V_1 = \frac{p_0 V_0 T_1}{T_0 p_1} = \frac{1.0 \times 10^5 \times 3.0 \times 10^{-3} \times 320}{300 \times 1.6 \times 10^5} \text{ m}^3 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

(2)由等温变化规律  $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\text{解得 } V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{1.6 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{8.0 \times 10^4} \text{ m}^3 = 4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

答案:(1)  $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  (2)  $4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

4. 解析:以水银气压计内的空气柱为研究对象, 则

初状态  $p_1 = (758 - 738) \text{ mmHg} = 20 \text{ mmHg}$ ,  $V_1 = Sh_1$

( $S$  是管的横截面积,  $h_1 = 80 \text{ mm}$ ),  $T_1 = (273 + 27) \text{ K} =$

$300 \text{ K}$

末状态  $p_2 = p - 743 \text{ mmHg}$ ,  $V_2 = Sh_2$  ( $h_2 = 738 \text{ mm} +$

$80 \text{ mm} - 743 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ ),  $T_2 = (273 - 3) \text{ K} = 270 \text{ K}$

根据理想气体状态方程有  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

联立解得  $p = 762.2 \text{ mmHg} \approx 1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

答案:  $1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$

5. 解析:(1)活塞从卡销  $a$  运动到卡销  $b$ , 对密封气体由气体等温变化规律有  $p_0 V_0 = p_1 V_1$

其中  $V_1 = \frac{10}{11} V_0$

外力增加到  $200 \text{ N}$  时, 对活塞由力的平衡条件有

$$p_0 S + F = p_1 S + F_N$$

联立并代入数据解得卡销  $b$  对活塞支持力的大小为

$$F_N = 100 \text{ N}.$$

(2)当活塞刚好能离开卡销  $b$  时, 对活塞有

$$p_0 S + F = p_2 S$$

从开始升温至活塞刚好能离开卡销  $b$ , 对密封气体, 由气

体等容变化规律有  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

联立并代入数据解得活塞刚好能离开卡销  $b$  时密封气体的温度为  $T_2 \approx 327.3 \text{ K}$ 。

答案:(1)  $100 \text{ N}$  (2)  $327.3 \text{ K}$

## 单元活动 2

### 【任务引导】

#### 任务一

提示:(1)压强为  $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2)活塞缓慢向下推入管中的过程中, 两部分气体的温度不变, 体积减小, 压强增大。

(3)当活塞移动的距离为  $x$  时, 左侧气体长度为

$$\left( l + \frac{h}{2} - x \right), \text{ 右侧气体长度为 } \left( l - \frac{h}{2} \right).$$

取右侧气体为研究对象, 由等温变化规律得

$$p_0 l S = p_2 \left( l - \frac{h}{2} \right) S \quad (S \text{ 为管的横截面积})$$

$$\text{解得 } p_2 = \frac{p_0 l}{l - \frac{h}{2}} = \frac{10}{7} p_0$$

左侧气柱的压强为  $p_1 = p_2 + p_h = \frac{10}{7} p_0 + \rho g h$

取左侧气柱为研究对象, 由等温变化规律得

$$p_0 l S = p_1 \left( l + \frac{h}{2} - x \right) S$$

解得  $x \approx 6.4 \text{ cm}$ 。

#### 任务二

提示:(1)  $A \rightarrow B$  为等容变化, 压强随温度升高而增大;

$B \rightarrow C$  为等压变化, 体积随温度升高而增大;

$C \rightarrow D$  为等温变化, 体积随压强减小而增大;

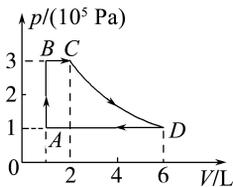
$D \rightarrow A$  为等压变化, 体积随温度降低而减小。

(2) 由题意知  $V_B = V_A = 1 \text{ L}$ ; 因为  $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$ , 所以  $V_C =$

$\frac{T_C}{T_B} V_B = \frac{900}{450} \times 1 \text{ L} = 2 \text{ L}$ ; 由  $p_C V_C = p_D V_D$ , 得  $V_D = \frac{p_C}{p_D} V_C =$

$\frac{3}{1} \times 2 \text{ L} = 6 \text{ L}$ 。

(3) 根据(2)中的数据, 题中四个过程的  $p$ - $V$  图像如图所示。



### 任务三

提示: (1) 根据理想气体状态方程有  $\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p \cdot \frac{10}{9} V_0}{T_1}$

解得  $p = 1.14 p_0$ 。

(2) 根据等温变化规律有

$$p \cdot \frac{10}{9} V_0 = p_0 \cdot \left( \frac{10}{9} V_0 + \Delta V \right)$$

解得  $\Delta V = \frac{7}{45} V_0$ 。

因为同种气体在相同压强和相同温度下密度相等, 即放出

气体与饭盒内所留气体的质量之比  $\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta V}{\frac{10}{9} V_0} = \frac{7}{50}$ 。

### 【活动达标】

1. 解析: (1) 实验过程中气体压强不变, 根据  $\frac{pV}{T} = \frac{pV}{t+273 \text{ K}}$

$= C$ , 可得  $V = \frac{C}{p} T = \frac{C}{p} (t + 273 \text{ K})$ , 可知在压强不变的情况下, 气体体积与热力学温度成正比, 与摄氏温度成一次函数关系 (不过原点), 故 A 正确。

(2) 环境温度不影响实验数据, 实验前测量并记录环境温度并不能减小实验误差, 故 A 错误; 本实验压强不变, 实验前测量并记录大气压强不能减小实验误差, 故 B 错误; 水温会缓慢下降, 则温度的读数会一直缓慢变化, 只有水温和室温相同时, 才会完全稳定, 故 C 错误; 测量过程中保持水面高于活塞下端, 则活塞中的气体的温度和水的温度基本一致, 温度测量更准确, 可以减少误差, 故 D 正确。

答案: (1) A (2) D

2. 解析: 设小车的加速度大小为  $a$ , 稳定时气缸内气体的压强为  $p_1$ , 活塞受到气缸内、外气体的压力分别为  $F_1 = p_1 S$ ,  $F_0 = p_0 S$

由牛顿第二定律得  $F_1 - F_0 = ma$

小车静止时, 在平衡情况下, 气缸内气体的压强应为  $p_0$ , 由等温变化规律得

$$p_1 V_1 = p_0 V$$

式中  $V = SL$ ,  $V_1 = S(L-d)$

联立各式得  $a = \frac{p_0 S d}{m(L-d)}$ 。

答案:  $\frac{p_0 S d}{m(L-d)}$

3. 解析: (1) 气体从状态 D 到状态 A 的过程发生等容变化,

根据气体等容变化规律有  $\frac{p_D}{T_2} = \frac{p_A}{T_1}$

代入数据解得  $p_D = 2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2) 气体从状态 C 到状态 D 的过程发生等温变化, 根据气体等温变化规律有

$$p_C V_2 = p_D V_1$$

代入数据解得  $V_2 = 2.0 \text{ m}^3$

又由于气体从状态 B 到状态 C 发生等容变化, 因此气体在 B 状态的体积也为  $V_2 = 2.0 \text{ m}^3$ 。

答案: (1)  $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  (2)  $2.0 \text{ m}^3$

4. 解析: 设气缸总容积为  $V$

初状态  $\frac{p_A}{p_B} = \frac{2}{3}$

最终平衡时  $p'_B = p'_A + \frac{mg}{S}$

根据等温变化规律可得

对上方气体有  $p_A \cdot \frac{V}{2} = p'_A \cdot \frac{2V}{3}$

对下方气体  $p_B \cdot \frac{V}{2} = p'_B \cdot \frac{V}{3}$

联立解得  $p'_B = \frac{3mg}{2S}$ 。

答案:  $\frac{3mg}{2S}$

5. 解析: (1) 在缓慢将汲液器竖直提出液面的过程中, 封闭气体发生等温变化, 根据气体等温变化规律有

$$p_1 (H-x) S_1 = p_2 H S_1$$

根据题意可知  $p_1 = p_0 + \rho g h = p_0$

联立解得  $x = 2 \text{ cm}$ 。

(2) 对新进入的气体和原有的气体整体分析, 由气体等温变化规律有  $p_0 V + p_2 H S_1 = p_3 (H S_1 + \frac{h}{2} S_2)$

又  $p_3 + \rho g \cdot \frac{h}{2} = p_0$

联立解得  $V = 8.92 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ 。

答案: (1)  $2 \text{ cm}$  (2)  $8.92 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

6. 解析: 打气时, 活塞每推动一次, 把体积为  $V_0$ 、压强为  $p_0$

的气体推入容器内,若活塞工作  $n$  次,就是把压强为  $p_0$ 、体积为  $nV_0$  的气体推入容器内,容器内原来有压强为  $p_0$ 、体积为  $V$  的气体,根据等温变化规律得

$$p_0(V+nV_0)=p'V$$

$$\text{解得 } p'=\frac{V+nV_0}{V}p_0=\left(1+n\frac{V_0}{V}\right)p_0$$

抽气时,活塞每拉动一次,把容器中的气体的体积从  $V$  膨胀为  $V+V_0$ ,而容器中的气体压强就要减小,拉动活塞时,将抽气筒中体积为  $V_0$  的气体排出,而再次拉动活塞时,容器中剩余的气体又从  $V$  膨胀到  $V+V_0$ ,容器内的压强继续减小,根据等温变化规律得

第一次抽气过程有  $p_0V=p_1(V+V_0)$ ,则

$$p_1=\frac{V}{V+V_0}p_0$$

第二次抽气过程有  $p_1V=p_2(V+V_0)$

$$\text{则 } p_2=\frac{V}{V+V_0}p_1=\left(\frac{V}{V+V_0}\right)^2p_0$$

$$\text{则第 } n \text{ 次抽气后有 } p_n=\left(\frac{V}{V+V_0}\right)^n p_0$$

$$\text{答案: } \left(1+\frac{nV_0}{V}\right)p_0 \quad \left(\frac{V}{V+V_0}\right)^n p_0$$

7.解析:(1)将活塞与金属丝视为一个整体,由受力平衡得

$$p_0S=p_1S+(m_1+m_2)g$$

代入数据解得  $p_1=1\times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2)当活塞在  $B$  位置时,气缸内的压强为  $p_2$ ,则有

$$p_1V_0=p_2(V_0+Sh)$$

代入数据解得  $p_2=9.9\times 10^4 \text{ Pa}$

将活塞与金属丝视为一个整体,由受力平衡得

$$p_0S=p_2S+(m_1+m_2)g+F$$

联立解得  $F=1 \text{ N}$ 。

答案:(1) $1\times 10^5 \text{ Pa}$  (2) $1 \text{ N}$

8.解析:(1)旋转前后,上部分气体发生等温变化,根据等温

$$\text{变化规律有 } p_0\cdot SL_0=p_1\cdot \frac{1}{2}SL_0$$

解得旋转后上部分气体压强为  $p_1=2p_0$

旋转前后,下部分气体发生等温变化,下部分气体体积增

$$\text{大为 } \frac{1}{2}SL_0+SL_0=\frac{3}{2}SL_0, \text{ 则}$$

$$p_0\cdot SL_0=p_2\cdot \frac{3}{2}SL_0$$

解得旋转后下部分气体压强为  $p_2=\frac{2}{3}p_0$ 。

(2)对“H”形连杆活塞整体受力分析,活塞的重力  $mg$  竖直向下,上部分气体对活塞的作用力竖直向上,下部分气体对活塞的作用力竖直向下,大气压力上下部分抵消,根据平衡条件可知

$$p_1S=mg+p_2S$$

$$\text{解得活塞的质量为 } m=\frac{4p_0S}{3g}$$

$$\text{答案: (1)} 2p_0 \quad \frac{2}{3}p_0 \quad \text{(2)} \frac{4p_0S}{3g}$$

9.解析:(1)设细管的横截面积为  $S$ ,竖直放置时管内气体的压强为  $p_1=p_0+\rho gh$

水平放置时管内气体的压强  $p_2=p_0$

由等温过程可得  $p_1L_1S=p_2L_2S$

$$\text{解得 } g=\frac{p_0(L_2-L_1)}{L_1\rho h}$$

$$\text{(2)由等容过程可得 } \frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$$

代入数据可得  $g=9.5 \text{ m/s}^2$ 。

$$\text{答案: (1)} \frac{p_0(L_2-L_1)}{L_1\rho h}$$

(2) $9.5 \text{ m/s}^2$

## 第三章 热力学定律

### 1 热力学第一定律

### 2 能量守恒定律

#### 问题式预习

知识点一

1.热量 外界做功 2.减少

3.Q 负值 减少 4.(1)热量  $Q$  所做的功 (2) $Q+W$

5.(1)对外做功 (2)热力学第一定律 是不可能制成的

[判一判]

1.√ 2.√ 3.× 4.×

知识点二

1.迈尔 焦耳

2.凭空消失 形式 形式 物体 物体 保持不变

[科学思维]

提示:热力学第一定律揭示了功和热量与内能的变化之间的定量关系,同时也体现了功、热量和物体内能的变化满足一种守恒关系。因此热力学第一定律也是能量守恒定律的一种具体情况。

[判一判]

1.× 2.× 3.√ 4.×

#### 任务型课堂

任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)根据  $\frac{pV}{T}=C$  可知,温度降低,体积减小,外界对氦气做功。

(2)在此高空,  $\Delta U < 0, W > 0$ , 根据热力学第一定律  $\Delta U = W + Q$  可知,  $Q < 0$ , 即氦气对外放热。

### 【评价活动】

1.A 解析: 气袋被压缩且绝热(无热交换), 袋内气体视为理想气体。绝热压缩时外界对气体做正功, 内能增加, 温度升高, 分子平均动能由温度决定, 所以分子热运动的平均动能增加, 故 A 正确, B 错误; 根据理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$ , 袋内气体体积减小, 温度升高, 可知压强增大, 故 C 错误; 气体体积减小, 外界对气体做正功, 气体对外界做负功, 故 D 错误。

2.C 解析: 由热力学第一定律得  $\Delta U = W + Q = -100 \text{ J} - 40 \text{ J} = -140 \text{ J}$ , C 项正确。

3.AD 解析:  $1 \rightarrow 2$  为绝热过程,  $Q = 0$ , 气体体积减小, 外界对气体做功,  $W > 0$ , 由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知  $\Delta U > 0$ , 气体内能增加, A 正确;  $2 \rightarrow 3$  为等压膨胀过程,  $W < 0$ , 由等压变化规律可知气体温度升高, 内能增加, 即  $\Delta U > 0$ , 由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知  $Q > 0$ , 气体从外界吸热, B 错误;  $3 \rightarrow 4$  过程为绝热过程,  $Q = 0$ , 气体体积增大,  $W < 0$ , 由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知  $\Delta U < 0$ , 气体内能减少, C 错误;  $4 \rightarrow 1$  过程中, 气体做等容变化,  $W = 0$ , 又压强减小, 则由等容变化规律可知气体温度降低, 内能减少, 即  $\Delta U < 0$ , 由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知  $Q < 0$ , 气体对外放热, D 正确。

4.BC 解析: 气缸内的气体做等压变化, 对活塞所做的功为  $W = p_0(h_2 - h_1)S = 1 \times 10^5 \times (0.8 - 0.5) \times 5 \times 10^{-3} \text{ J} = 150 \text{ J}$ , 选项 A 错误, B 正确; 根据热力学第一定律可知, 增加的内能为  $\Delta U = -W + Q = -150 \text{ J} + 450 \text{ J} = 300 \text{ J}$ , 选项 C 正确, D 错误。

5.解析: (1) 设容器内气体初、末状态体积分别为  $V_0$ 、 $V$ , 末状态温度为  $T$ , 由气体等压变化规律得

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T}$$

$$\text{其中 } V_0 = Sh, V = S\left(h + \frac{h}{5}\right)$$

$$\text{联立解得 } T = \frac{6}{5}T_0.$$

(2) 设此过程中容器内气体吸收的热量为  $Q$ , 外界对气体做的功为  $W$ , 由热力学第一定律得  $\Delta U = Q + W$

$$\text{其中 } \Delta U = C(T - T_0)$$

$$W = -(mg + p_0S)\frac{1}{5}h$$

$$\text{联立解得 } Q = \frac{1}{5}(CT_0 + mgh + p_0Sh).$$

$$\text{答案: (1) } \frac{6}{5}T_0 \quad (2) \frac{1}{5}(CT_0 + mgh + p_0Sh)$$

### 任务二

#### 【探究活动】

提示: 这个装置不能“永动”, 因为高处水池中水的重力势能只有部分转化为叶轮的动能, 而叶轮的动能有一部分用来打磨物体及克服转动部分的摩擦做功, 不会全部转化为水泵叶轮的动能用来提升水, 故流下来的水不能全部被抽送到上面的水池中。即流下来的水要比抽上去的水多, 随着时间的推移, 上面水池中的水越来越少, 一定时间后便不再有水从上面流下来, 所以这个装置不能“永动”。

#### 【评价活动】

1.D 解析: 打开阀门 K, 由于水的重力作用, A 中的水逐渐流向 B 中, 运动一段时间后达到平衡状态, A 和 B 中的水面静止在同一高度上。A 中水面下降  $h_A$ , B 中水面上升  $h_B$ 。相当于 A 管中  $S_A h_A$  体积的水移到 B 管, 且  $S_A h_A = S_B h_B$ , 这部分水的重心降低, 重力对水做正功, 重力势能减少; 大气压对 A 管中的水做正功, 对 B 管中的水做负功, 所以, 大气压力对水做的总功为  $p_0 S_A h_A - p_0 S_B h_B$ , 因为  $S_A h_A = S_B h_B$ , 所以大气压对水做的总功为 0, 又由于系统绝热, 与外界没有热交换, 只有水的重力做功, 由能量守恒知重力势能转化为内能, 故选项 D 正确。

2.AD 解析: 第一类永动机是不消耗任何能量却能源源不断地对外做功的机器, 这是人们的美好愿望, 但它违背了能量守恒定律, 这也是它不能制成的原因, 故 A、D 正确, B、C 错误。

3.AD 解析: 小球在竖直平面内摆动, 经过一段时间后, 小球停止摆动, 说明机械能通过克服阻力做功不断地转化为内能, 即机械能不守恒, 故 A 正确; 小球的机械能转化为内能, 能量的种类变了, 但能量没有消失, 故 B 错误; 小球长时间摆动的过程中, 重力势能和动能相互转化的同时由于空气阻力的作用, 机械能不断地转化为内能, 故摆动的幅度越来越小, 但总能量守恒, 故 C 错误, D 正确。

4.解析: 子弹和沙箱相互作用的过程中, 损失动能, 转化为系统内能, 由能量守恒定律得

$$\Delta U = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}(M+m)v^2$$

由于子弹和沙箱相互作用的时间极短, 它们一起从最低点以  $v$  做圆周运动, 此过程满足机械能守恒, 即

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2 = (M+m)gh$$

$$\text{联立解得 } \Delta U = \frac{1}{2}mv_0^2 - (M+m)gh.$$

$$\text{答案: } \frac{1}{2}mv_0^2 - (M+m)gh$$

### 3 热力学第二定律

#### 问题式预习

##### 知识点一

1.高温 低温 自发 4.热现象 自发

##### [科学思维]

提示:因为电冰箱消耗了电能,对制冷系统做了功,一旦切断电源,电冰箱就不能把其内部的热量传递给外界的空气了,相反,外界的热量会自发地传递给电冰箱,使其温度逐渐升高。

##### [判一判]

1.√ 2.√ 3.×

##### 知识点二

1.低温物体 高温物体 2.单一热源

##### [判一判]

1.√ 2.√ 3.√ 4.×

#### 任务型课堂

##### 任务一

1.BD 解析:根据热力学第二定律知,热量能够自发地从高温物体传到低温物体,不能自发地从低温物体传到高温物体,但在外界的影响下热量也能从低温物体传到高温物体,故 A 错误,B 正确;根据热力学第二定律可知,机械能可以全部转化为内能,在没有外界影响时,内能不能全部用来做功以转化成机械能,但是在外界的作用下,内能也能全部转化为机械能,故 C 错误,D 正确。

2.BC 解析:热量不能自发地从低温物体传到高温物体,要想使热量从低温物体传到高温物体必须借助其他系统做功,A 错误,B 正确;电冰箱的工作原理不违背热力学第二定律,C 正确,D 错误。

3.C 解析:由于气缸壁导热,外界温度不变,活塞杆与外界连接并缓慢地向右移动过程中,有足够长的时间进行热交换,因此气缸内的气体温度不变,其内能不变,该过程气体是从单一热源,即外部环境吸收热量,并全部用来对外做功,但此过程不违反热力学第二定律。此过程由外力对活塞做功来维持,如果没有外力对活塞做功,此过程不可能自发地发生,故选 C。

4.A 解析:根据热力学第一定律知  $\Delta U=W+Q=-100\text{ J}+120\text{ J}=20\text{ J}$ ,说明内能增加了 20 J,故 A 正确,D 错误;根据热力学第一定律  $\Delta U=W+Q$ ,可知  $\Delta U>0$ ,内能增加, $\Delta U<0$ ,内能减少, $\Delta U$  的大小由  $W$ 、 $Q$  共同决定,物体从外界吸收热量,其内能不一定增加,物体对外界做功,其内能不一定减少,故 B 错误;通过做功的方式可以使热量从低温物体传递给高温物体,如电冰箱制冷时,热量从低温物体传递给高温物体,故 C 错误。

5.ABC 解析:一定质量的理想气体经历一缓慢的绝热膨胀过程,则  $Q=0$ , $W<0$ ,根据  $\Delta U=W+Q$  可知,气体的内能减少,故 A 正确;热力学第二定律表明:自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性,是不可逆的,因此气体向真空的自由膨胀是不可逆的,故 B 正确;热力学第一定律也可表述为“第一类永动机不可能制成”,故 C 正确;热力学第二定律可描述为“不可能使热量由低温物体传递到高温物体,而不引起其他变化”,故 D 错误。

6.AD 解析:系统的热力学过程就是大量分子无序运动状态的变化过程,从微观角度看,热力学第二定律是一个统计规律,A 正确;热力学第二定律的微观意义是一切自然过程总是沿着分子热运动无序性增大的方向进行,B、C 错误;D 项是在引入熵之后对热力学第二定律微观意义的描述,D 正确。

7.ABE 解析:依题意,中心部位为热运动速率较低的气体,与挡板相互作用后反弹,从 A 端流出,而边缘部位热运动速率较高的气体从 B 端流出;同种气体分子平均热运动速率较大,其对应的温度也就较高,所以 A 端为冷端、B 端为热端,故 A 正确。A 端流出的气体分子热运动的速率较小,B 端流出的气体分子热运动的速率较大,所以从 A 端流出的气体分子的热运动平均速率小于从 B 端流出的,故 B 正确。A 端流出的气体分子热运动速率较小,B 端流出的气体分子热运动速率较大,则从 A 端流出的气体分子平均动能小于从 B 端流出的气体分子平均动能,内能的多少还与分子数有关,不能得出从 A 端流出的气体内能一定大于从 B 端流出的气体内能,故 C 错误。该装置将冷热不均的气体进行分离,喷嘴处有高压,即通过外界做功而实现的,并非自发进行的,没有违背热力学第二定律;温度较低的气体从 A 端出、温度较高的气体从 B 端出,也符合能量守恒定律,故 D 错误,E 正确。

##### 任务二

##### 【探究活动】

提示:(1)热机从高温热源吸收热量,推动活塞做功,然后向低温热源放出热量。

(2)热机工作时低温热源就是气缸外界空间中的大气。

(3)热力学第二定律揭示了大量分子参与的宏观过程的方向性,如机械能可以全部转化为内能,内能却不可能全部转化为机械能而不引起其他变化,进一步揭示了任何宏观自然过程都具有方向性,因此第二类永动机不可能制成。

##### 【评价活动】

1.D 解析:热力学第二定律的开尔文表述没有排除热量可以完全转化为功,但必然要产生其他影响,A 错误;开尔文表述指出,热机不可能只有单一热源,但未必就是两

个热源,可以具有两个以上热源,B错误;由  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

可知,当  $Q_2 \neq 0$  时,  $\eta \neq 1$ ,如果  $Q_2 = 0$ ,则低温热源不存在,违背了开尔文表述,故 C 错误,D 正确。

**2.B 解析:** 第二类永动机不可能制造成功的原因是违背热力学第二定律,但不违背能量守恒定律,选项 A 错误;热力学第二定律可表述为所有自发的热现象的宏观过程都具有方向性,选项 B 正确;能量虽然守恒,但有些能量耗散以后就不能再利用,故要节约能源,选项 C 错误;静摩擦力做功,没有机械能转化为内能,选项 D 错误。

**3.B 解析:** 能量在使用过程中虽然总量保持不变,但品质越来越差,即利用率越来越低,所以必须节约能源,故 A 错误;不断开发新能源,发展新技术,是缓解能源危机、加强环境保护的重要手段,选项 B 正确;电子烟花技术将电能转化为光能和内能的同时,也会有声音及热损耗,存在能量耗散,选项 C 错误;相比于传统烟花,使用电子烟花污染较少,但也不是完全无污染,选项 D 错误。

**4.D 解析:** 第一类永动机违背了热力学第一定律,第二类永动机违背热力学第二定律,选项 A、B 错误;由热力学第一定律可知  $W \neq 0, Q \neq 0$ ,但  $\Delta U = W + Q$  可以等于 0,选项 C 错误;由热力学第二定律可知 D 中现象是可能的,但必然引起其他变化,选项 D 正确。

## 单元活动 3

### 【任务引导】

#### 任务一

**提示:** (1) 以喷雾器内封闭的气体和被充入的气体为研究对象,气体初态压强  $p_1 = 1 \times 10^5$  Pa,体积  $V_1 = 5$  L,设末态压强为  $p_2$ ,体积  $V_2 = 2$  L,由等温变化规律得  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ,代入数据得  $p_2 = 2.5 \times 10^5$  Pa。

(2) 影响气体压强的微观因素有两个,一是分子平均动能;二是分子的数密度。温度不变,分子平均动能不变,体积减小,单位体积内的分子数增加,撞击器壁更加剧烈,所以压强增大。

(3) 吸热。气体对外做功而内能不变,根据热力学第一定律  $\Delta U = W + Q$  可知气体吸热。

#### 任务二

**提示:** (1) 由图像及题意知,  $p_A = 3 \times 10^5$  Pa,  $V_A = 1 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>,  $T_A = (27 + 273)$  K = 300 K,  $p_B = 1 \times 10^5$  Pa,  $V_B = 1 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>,  $p_C = 1 \times 10^5$  Pa,  $V_C = 3 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>, A→B 过程为等容变化,由  $\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$  得  $T_B = 100$  K,所以  $t_B = -173$  °C,

B→C 过程为等压变化,由  $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$  得  $T_C = 300$  K,所以  $t_C = 27$  °C。

(2) 由  $T_A = T_C$  知状态 A 和状态 C 气体的内能相等,则从状态 A 到状态 C 气体内能的变化量  $\Delta U = 0$ 。

(3) 从状态 A 到状态 C 内能的变化量  $\Delta U = 0$ ,气体体积变大,对外做功,故该气体一定吸热。A→B 过程为等容变化,气体不做功,故 A→C 过程吸收的热量  $Q = |W| = p_B \cdot (V_C - V_B) = 1 \times 10^5 \times (3 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3})$  J = 200 J。

### 【活动达标】

**1.C 解析:** a→b 过程是等压变化且体积增大,则  $W_{ab} < 0$ ,由气体等压变化规律可知  $T_b > T_a$ ,即  $\Delta U_{ab} > 0$ ,根据热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知 a→b 过程,气体从外界吸收的热量一部分用于对外做功,另一部分用于增加内能,A 错误;b→c 过程中气体与外界无热量交换,即  $Q_{bc} = 0$ ,又由气体体积增大可知  $W_{bc} < 0$ ,由热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  可知气体内能减少,B 错误;c→a 过程为等温过程,可知  $T_c = T_a, \Delta U_{ac} = 0$ ,根据热力学第一定律可知 a→b→c 过程,气体从外界吸收的热量全部用于对外做功,C 正确;由 A 项分析可知  $Q_{ab} = \Delta U_{ab} - W_{ab}$ ,由 B 项分析可知  $W_{bc} = \Delta U_{bc}$ ,由 C 项分析可知  $0 = W_{ca} + Q_{ca}$ ,又  $\Delta U_{ab} + \Delta U_{bc} = 0$ ,联立解得  $Q_{ab} - (-Q_{ca}) = -W_{ca} - W_{bc} - W_{ab}$ ,根据 p-V 图像与坐标轴所围图形的面积表示外界对气体做的功,结合题图可知  $Q_{ab} - (-Q_{ca}) \neq 0$ ,所以 a→b 过程气体从外界吸收的热量  $Q_{ab}$  不等于 c→a 过程放出的热量  $-Q_{ca}$ ,D 错误。

**2.解析:** 开始时活塞位于 a 处,加热后,气缸中的气体先经历等容过程,直至活塞开始运动,设此时气缸中气体的温度为  $T_1$ ,压强为  $p_1$ ,根据等容变化规律有  $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1}$  ①

根据力的平衡条件有  $p_1 S = p_0 S + mg$  ②

联立①②式可得  $T_1 = \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0$  ③

此后,气缸中的气体经历等压过程,直至活塞刚好到达 b 处,设此时气缸中气体的温度为  $T_2$ ,活塞位于 a 处和 b 处时气体的体积分别为  $V_1$  和  $V_2$ 。根据等压变化规律有

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad ④$$

$$\text{上式中 } V_1 = SH \quad ⑤$$

$$V_2 = S(H+h) \quad ⑥$$

联立③④⑤⑥式解得  $T_2 = \left(1 + \frac{h}{H}\right) \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0$

从开始加热到活塞到达 b 处的过程中,气缸中的气体对外做的功为  $W = (p_0 S + mg)h$ 。

**答案:**  $\left(1 + \frac{h}{H}\right) \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0$   $(p_0 S + mg)h$

**3.解析:** (1) 由 V-T 图像中图线 AB 的反向延长线通过坐标原点,可知理想气体从 A 到 B 发生等压变化,得

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$$

$$\text{解得 } V_B = \frac{T_B}{T_A} V_A = 8.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

(2) 从 A 到 B 气体对外界做功, 则

$$W = -p(V_B - V_A) = -1.0 \times 10^5 \times (8.0 \times 10^{-3} - 6.0 \times 10^{-3}) \text{ J} = -2.0 \times 10^2 \text{ J}$$

根据热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$

$$\text{解得 } \Delta U = 400 \text{ J}.$$

答案: (1)  $8.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  (2) 400 J

4. 解析: (1) 由题意知从状态 A 到状态 C 的过程, 气体发生等容变化, 该气体对外界做的功  $W_1 = 0$

根据热力学第一定律有  $\Delta U_1 = W_1 + Q_1$

内能的增量  $\Delta U_1 = Q_1 = 9 \text{ J}$ .

(2) 从状态 A 到状态 B 的过程, 外界对该气体做功, 气体体积减小, 温度升高, 状态 B 与状态 C 的温度一样, 内能相等。该气体内能的增量  $\Delta U_2 = \Delta U_1 = 9 \text{ J}$

根据热力学第一定律有  $\Delta U_2 = W_2 + Q_2$

则气体从外界吸收的热量  $Q_2 = \Delta U_2 - W_2 = 3 \text{ J}$ 。

答案: (1) 0 9 J (2) 9 J 3 J

5. 解析: (1) 从状态 2 到状态 3, 温度保持不变, 气体分子的内能保持不变, 则气体分子平均速率不变, 由于气体对外做功, 管内和瓶内水面等高, 则气体压强减小, 故单位时间撞击单位面积瓶壁分子数减少。

(2) 气体从状态 1 到状态 2 的过程, 由盖-吕萨克定律(等压变化)有

其中

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

其中

$$V_1 = 1 \times 10^3 \text{ cm}^3, T_1 = 300 \text{ K}, T_2 = 303 \text{ K}$$

解得

$$V_2 = 1.01 \times 10^3 \text{ cm}^3$$

此时气体压强为

$$p_2 = p_1 = p_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

气体从状态 2 到状态 3 的过程, 由玻意耳定律(等温变化)有

$$p_2 V_2 = p_3 V_3$$

其中

$$p_3 = p_0$$

代入数据解得气体在状态 3 的体积为

$$V_3 = 1.020 1 \times 10^3 \text{ cm}^3.$$

(3) 气体从状态 1 到状态 2 的过程中, 气体对外做功为

$$W_1 = p_1(V_2 - V_1) = 1.01 \text{ J}$$

由热力学第一定律

$$\Delta U = Q - (W_1 + W_2)$$

其中  $Q = 4.56 \text{ J}, W_2 = 1.02 \text{ J}$

代入数据可得, 从状态 1 到状态 3 气体内能的改变量为  $\Delta U = 2.53 \text{ J}$ 。

答案: (1) 不变 减少 (2)  $1.020 1 \times 10^3 \text{ cm}^3$

(3) 2.53 J

## 第四章 原子结构

### 1 电子的发现

### 2 原子的核式结构模型

#### 问题式预习

知识点一

1. 稀薄气体 负电荷 2. 电荷量 质量

3. 氢离子 1 000 4. 最小  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$

[科学思维]

1. 提示: 在真空放电管的两极加高电压, 使得在两极间产生强电场, 阴极中的电子受到足够大的电场力作用而脱离阴极, 成为高速运动的电子流, 即阴极射线。

2. 提示: 不是。玻璃管壁上的荧光是由玻璃受到阴极射线的撞击而引起的。

[判一判]

1.  $\checkmark$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$

知识点二

1. 正电荷 电子

2. (1) 金箔 荧光屏 (2) ①原来 ②大角度 ③大于  $90^\circ$   
(3) 核式结构

3. 很小 正 绕核

4. 电子数 质子和中子 质子  $10^{-10} \text{ m}$   $10^{-15} \text{ m}$

5. 电磁波

[科学思维]

提示:  $\alpha$  粒子带正电,  $\alpha$  粒子受原子中带正电的部分的排斥力发生了大角度散射。碰撞前后, 质量大的  $\alpha$  粒子遇到电子, 就像飞行的子弹遇到空气中的尘埃, 因此不可能是与电子碰撞造成的。

[判一判]

1.  $\times$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$

#### 任务型课堂

任务一

【探究活动】

提示: (1) 调节两金属极板间的电势差, 使油滴匀速运动, 此时油滴所受电场力与重力平衡, 根据金属极板的带电情况, 判断油滴的带电情况。

(2) 由平衡条件知  $m_1 g = \frac{U_0}{d} q$ , 得  $q = \frac{m_1 g d}{U_0}$ 。

## 【评价活动】

1. BCD 解析:发现电子时,人们对原子的结构仍然不清楚,但人们意识到电子应该是原子的组成部分,故选项 A 错误,B 正确;在电子被人类发现前,人们认为原子是构成物质的最小微粒,故选项 C 正确;原子对外显电中性,而电子带负电,使人们意识到原子中应该还有带正电的部分,故选项 D 正确。

2. C 解析:射线在电流形成的磁场中发生偏转,即可确定该射线是由带电粒子构成的粒子流。根据安培定则可知,玻璃管中的磁场方向垂直于纸面向里,粒子向下偏转,洛伦兹力方向向下,由左手定则可知粒子带负电,选项 C 正确。

3. 解析:离子在打到 P 处之前,经电场加速、磁场偏转两个过程,由离子的轨迹可知,离子带正电,设它进入磁场时的速度为  $v$ ,在电场中加速时,有  $qU = \frac{1}{2}mv^2$

在磁场中发生偏转时,有  $qvB = \frac{mv^2}{r}$

同时又有  $r = \frac{a}{2}$

联立解得  $\frac{q}{m} = \frac{8U}{B^2 a^2}$ 。

答案:  $\frac{8U}{B^2 a^2}$

4. 解析:(1)由于阴极射线在电场中向上偏转,因此所受电场力方向向上,又因为匀强电场方向向下,则所受电场力的方向与电场方向相反,所以阴极射线带负电。

(2)由于所加磁场使阴极射线受到向下的洛伦兹力,则由左手定则得磁场的方向垂直于纸面向里。

(3)设此射线的电荷量为  $q$ ,质量为  $m$ ,当射线在 D、G 间做匀速直线运动时,有  $qE = qvB$

如图所示,当射线在 D、G 间的磁

场中偏转时,有  $qvB = \frac{mv^2}{r}$

同时又有  $l = r \sin \theta$

联立解得  $\frac{q}{m} = \frac{E \sin \theta}{B^2 l}$ 。

答案:(1)负电 (2)垂直纸面向里 (3)  $\frac{E \sin \theta}{B^2 l}$

## 任务二

### 【探究活动】

提示:(1)金的延展性好,可以做得很薄,而且金的质子数大,产生的库仑力大,偏转明显。

(2)在 A 处时相同时间内观察到荧光屏上的闪光次数最多。

## 【评价活动】

1. AB 解析:因为原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核内,而原子核又很小,所以原子内绝大部分区域是“空”的,A 正确,C 错误;电子绕原子核的圆周运动是由原子核与电子间的库仑引力提供向心力的,B 正确;原子核直径的数量级是  $10^{-15}$  m,原子直径的数量级是  $10^{-10}$  m,D 错误。

2. D 解析:正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内,电子“镶嵌”其中是汤姆孙的观点,卢瑟福设计的  $\alpha$  粒子散射实验证明了带正电的那部分物质占原子质量的绝大部分,且集中在很小的空间范围内,从而证明汤姆孙的“西瓜模型”是错误的,故 A、C 错误,D 正确;当  $\alpha$  粒子穿过原子时,电子对  $\alpha$  粒子的影响很小,影响粒子运动的主要原因是原子核对  $\alpha$  粒子有库仑力作用,离核远的  $\alpha$  粒子受到的库仑斥力很小,运动方向改变小,只有当  $\alpha$  粒子与原子核十分接近时,才会受到很大的库仑斥力,而原子核很小, $\alpha$  粒子接近它的概率就很小,所以只有极少数  $\alpha$  粒子发生大角度的偏转,而绝大多数  $\alpha$  粒子基本沿原来方向前进,故 B 错误。

3. C 解析: $\alpha$  粒子散射实验的现象是绝大多数  $\alpha$  粒子沿原方向前进,少数  $\alpha$  粒子有大角度散射,极少数  $\alpha$  粒子偏转的角度大于  $90^\circ$ ,所以 A 处观察到的闪光次数多,B 处观察到的闪光次数少,选项 A、B 错误;卢瑟福选用不同金属箔片作为  $\alpha$  粒子散射的靶,观察到的实验结果基本相似,选项 C 正确; $\alpha$  粒子发生散射的主要原因是受到原子核库仑斥力的作用,选项 D 错误。

4. D 解析: $\alpha$  粒子是从放射性物质中发射出来的氦核,A 错误;若原子中的正电荷弥漫性地均匀分布在原子内, $\alpha$  粒子穿过原子时受到的各方向正电荷的斥力基本上会相互平衡,对  $\alpha$  粒子运动的影响不会很大,不会出现大角度偏转的实验结果,B 错误;电子对  $\alpha$  粒子速度大小和方向的影响可以忽略,C 错误;原子核带正电,体积很小,但几乎占原子的全部质量,电子在核外运动,当  $\alpha$  粒子进入原子区域后,大部分离原子核很远,受到的库仑斥力很小,运动方向几乎不变,只有极少数  $\alpha$  粒子在穿过时离原子核很近,因此受到很强的库仑斥力,发生大角度散射,D 正确。

## 任务三

1. D 解析:金原子核和  $\alpha$  粒子都带正电, $\alpha$  粒子在接近金原子核的过程中,不断克服库仑斥力做功,它的动能减小,速度减小,电势能增加; $\alpha$  粒子在远离金原子核的过程中,库仑斥力不断对它做正功,它的动能增大,速度增大,电势能减小。因此这三个位置的速度大小关系和电势能大小关系分别为  $v_b < v_a < v_c$ ,  $E_{pb} > E_{pa} > E_{pc}$ 。故正确答案为 D。

2.D 解析:绝大多数 $\alpha$ 粒子经过金箔后,方向不发生改变,只有少数粒子发生了大角度的偏转,选项A错误; $\alpha$ 粒子在接近原子核的过程中,库仑斥力做负功,则动能减小,电势能增大,选项B错误; $\alpha$ 粒子离开原子核的过程中,库仑斥力做正功,则动能增大,电势能减小,选项C错误;对 $\alpha$ 粒子散射实验的数据进行分析,可以估算出原子核的大小,选项D正确。

3.B 解析: $M$ 点离金原子核更近,根据 $F=k\frac{Qq}{r^2}$ ,可知, $\alpha$ 粒子在 $M$ 点所受库仑斥力更大,加速度更大,故A错误;离原子核越近,电势越高,根据 $E_p=q\varphi$ 可知, $\alpha$ 粒子在 $M$ 点的电势能比在 $N$ 点的大,因只有库仑力做功,各点的动能与电势能的和保持不变,则 $\alpha$ 粒子在 $M$ 点的动能比在 $N$ 点的小,即在 $M$ 点的速度比在 $N$ 点的小,故B正确,C错误; $\alpha$ 粒子从 $M$ 点运动到 $N$ 点,速度增大,根据动能定理可知,库仑力对它做的总功为正功,故D错误。

4.解析:(1)当 $\alpha$ 粒子速度减为0时, $\alpha$ 粒子与金原子核间的距离最小,这个距离近似认为等于金原子核的半径。

(2)此过程中动能转化为电势能,由 $\frac{1}{2}m_\alpha v^2 = \frac{2keQ}{r}$ 得

$$r = \frac{4keQ}{m_\alpha v^2}, \text{解得 } r = 4 \times 10^{-14} \text{ m.}$$

答案:(1)见解析 (2) $4 \times 10^{-14} \text{ m}$

### 3 光谱 氢原子光谱

#### 问题式预习

知识点一

1.光带 2.连续分布 3.连续 分立

5.连续 分立 6.吸收 7.暗线 相同

[判一判]

1.× 2.√ 3.√

知识点二

1.(1)特征光谱 3.(2)①可见光区 4.分立

[科学思维]

提示:不是。巴尔末公式准确反映了氢原子发光的实际波长,其波长的分立值并不是人为规定的。

[判一判]

1.√ 2.√ 3.√ 4.×

#### 任务型课堂

任务一

#### 【探究活动】

提示: $b$ 元素、 $d$ 元素。由矿物的线状谱与几种元素的特征谱线进行对照, $b$ 元素和 $d$ 元素的谱线在该矿物的线状谱中不存在。

#### 【评价活动】

1.C 解析:太阳发出的白光本来是连续谱,但在穿过太阳表面温度比较低的太阳大气层时,被大气层内存在着的从太阳蒸发出来的多种元素的气体吸收,到达地球时形成吸收光谱,故A错误。日光灯是低压蒸气发光,所以产生的是线状谱,故B错误。钠盐在酒精灯火焰上汽化后产生线状谱,故C正确。白光通过温度较低的钠蒸气时,所产生的光谱是吸收光谱,故D错误。

2.D 解析:任何原子的发射光谱都是线状谱,A错误;太阳光谱中的许多暗线与太阳大气中存在的元素的特征谱线相对应,表明太阳大气中正好存在这些元素,B错误;可见光谱与不可见光谱都有分立特征,C错误;电子绕原子核运动的轨道都是不连续的,所以我们看到了原子光谱的分立特征,D正确。

3.BC 解析:光谱常用来反映原子的特征,既可以用线状光谱,也可以用吸收光谱,但不能用连续光谱,选项A错误,C正确;利用光谱分析时,样品中元素的质量达到 $10^{-10} \text{ g}$ 就可以被检测到,灵敏度很高,选项B正确;月亮本身不发光,它的光是反射的太阳光,是吸收光谱,观察月亮光谱,只能确定月亮表面的化学组成,但不能确定月亮内部的化学组成,选项D错误。

#### 任务二

1.CD 解析:氢原子光谱包括巴尔末系、赖曼系、帕邢系等,其中巴尔末系只是其中的可见光部分,A、B错误,C正确;氢原子光谱是线状谱,D正确。

2.AC 解析:此公式是巴尔末在研究氢原子光谱在可见光区的四条谱线中得到的,由里德伯改写,只适用于氢原子光谱的分析,选项A正确,D错误;公式中 $n$ 只能取不小于3的整数,则 $\lambda$ 不能连续取值,故氢原子光谱是线状谱,选项B错误,C正确。

3.A 解析:谱线的波长满足公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  ( $n = 3, 4, 5, 6$ ),当 $n = 3$ 时,波长最长, $\frac{1}{\lambda_1} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$ ,当 $n = 4$ 时,波长次之, $\frac{1}{\lambda_2} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$ ,解得 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{27}{20}$ ,由 $c = \lambda\nu$ 得 $\frac{\nu_1}{\nu_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{20}{27}$ ,故A正确,B、C、D错误。

4.解析:根据赖曼系公式

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) (n = 2, 3, 4, \dots)$$

$$\text{可得 } \lambda = \frac{1}{R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)}$$

当 $n = 2$ 时波长最长,其值为

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)} = \frac{1}{\frac{3}{4} R_H} = \frac{1}{\frac{3}{4} \times 1.10 \times 10^7} \text{ m} \approx$$

$$1.21 \times 10^{-7} \text{ m}$$

当  $n = \infty$  时, 波长最短, 其值为

$$\lambda_{\min} = \frac{1}{R_H \left( \frac{1}{1^2} - 0 \right)} = \frac{1}{R_H} = \frac{1}{1.10 \times 10^7} \text{ m} \approx 9.09 \times 10^{-8} \text{ m}.$$

答案:  $1.21 \times 10^{-7} \text{ m}$   $9.09 \times 10^{-8} \text{ m}$

## 4 玻尔的原子模型 能级

### 问题式预习

知识点一

1.(1)分立 (2)①能量值 ②最低

2.(2)跃迁 发射  $E_n - E_m$  玻尔频率

[科学思维]

1.提示: 这里所说的定态是指原子可能的一种能量状态, 有某一数值的能量, 这些能量包含了电子的动能和电势能。

2.提示: 不可以, 因各定态轨道的能量是固定的, 由  $h\nu = E_n - E_m$  可知, 跃迁时释放出的光子的频率也是一系列固定值。

[判一判]

1.× 2.√ 3.√ 4.×

知识点二

1.  $\frac{E_1}{n^2}$  3.(2)  $E_1 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) \frac{c}{\lambda}$  (3)  $n=1$   $n=2$   $n=3$

4.(1)量子概念 氢光谱 量子 (2)强度

[科学思维]

提示: 当电子轨道半径减小时, 库仑引力做正功, 原子的电势能  $E_p$  减小, 电子动能增大, 原子能量减小。反之, 电子轨道半径增大时, 原子的电势能增大, 电子动能减小, 原子能量增大。

[做一做]

B 解析: 一个氢原子从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级, 即从高能级向低能级跃迁, 放出光子, 能量减少, 故 B 正确。

### 任务型课堂

任务一

【探究活动】

提示: (1) 原子处于基态时是稳定的, 原子处于激发态时是不稳定的。

(2) 原子的能量与电子的轨道半径相对应, 轨道半径越大, 原子的能量越大, 轨道半径越小, 原子的能量越小。

(3) 原子从一种定态(设能量为  $E_n$ ) 跃迁到另一种定态(设

能量为  $E_m$ ) 时, 它辐射(或吸收)一定频率的光子, 光子的能量由这两种定态的能量差决定, 即  $h\nu = E_n - E_m$  (或  $E_m - E_n$ )。

【评价活动】

1.D 解析: 根据玻尔理论知, 电子的轨道半径是量子化的, 是一系列不连续的特定值, 故 A、B、C 错误, D 正确。

2.B 解析: 根据玻尔理论可知, 电子的运动轨道半径只能取一系列不连续的特定值, 且电子绕核旋转是定态, 不向外辐射能量, 因此原子的能量状态不可能是连续的, 故 A 错误, B 正确; 原子从高能级跃迁到低能级一定会辐射出一定频率的光子, 原子吸收了一定频率的光子后能从低能级跃迁到高能级, 而原子的核外电子在固定轨道上运动时, 既不吸收能量, 也不辐射能量, 故 C 错误; 根据玻尔理论可知, 电子的运动轨道是量子化的, 是不连续的, 故 D 错误。

3.D 解析: 氢原子辐射一个光子时能量减少, 所以电子的轨道半径减小, 速率增大, 电势能减小, 故选项 D 正确。

4.ABC 解析: 选项 A、B、C 都是玻尔提出来的假设, 其核心是原子定态概念的引入与能级跃迁学说的提出, 也就是“量子化”的概念。原子的不同能量状态与电子绕核运动时不同的圆形轨道相对应, 是经典理论与“量子化”概念的结合。电子跃迁辐射的光子能量等于能级差, 光子频率不等于电子绕核做圆周运动的频率, D 错误。

任务二

1.B 解析: 基态的氢原子的能级值为  $-13.6 \text{ eV}$ , 吸收  $13.06 \text{ eV}$  的能量后跃迁到能量为  $-0.54 \text{ eV}$  的能级上, 即原子跃迁到了第 5 能级, 由于有一群氢原子, 故辐射的光子种类  $N = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{5 \times (5-1)}{2} = 10$  种, B 正确。

2.A 解析: 由于光子的能量不可分, 因此只有能量恰好等于两能级差的光子才能被氢离子吸收, 故选项 A 中的光子不能被吸收, 选项 D 中的光子能被吸收; 而实物粒子(如电子)只要能量不小于两能级差, 均可能被吸收, 故选项 B、C 中的电子均能被吸收。

3.A 解析: 氢原子从  $n=2$  能级向基态跃迁时, 所辐射的光子能量为  $E = -3.40 \text{ eV} - (-13.60 \text{ eV}) = 10.20 \text{ eV} > 3.10 \text{ eV}$ , 氢原子从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级时, 辐射出的光子能量为  $E' = E_3 - E_2 = -1.51 \text{ eV} - (-3.40 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$ ,  $1.63 \text{ eV} < E' < 3.10 \text{ eV}$ , 故可知要使处于基态 ( $n=1$ ) 的氢原子被激发后可辐射出可见光光子, 氢原子最起码应该跃迁到  $n=3$  能级, 则氢原子吸收的最小能量为  $E_{\min} = E_3 - E_1 = -1.51 \text{ eV} - (-13.60 \text{ eV}) = 12.09 \text{ eV}$ , 故 A 正确, B、C、D 错误。

4.D 解析:由图乙可知  $H_{\alpha}$  谱线对应的波长最大,由  $c = \lambda\nu$  可知,波长越大,频率越小,A 错误;氢原子的发射光谱属于线状光谱,B 错误;处于  $n=2$  能级的氢原子电离至少需要吸收 3.4 eV 的能量,因此用能量为 3.5 eV 的光照射处于  $n=2$  激发态的氢原子,氢原子会发生电离,C 错误;氢原子从  $n=4$  能级跃迁到  $n=2$  能级,电势能减小,电子动能增大,D 正确。

5.C 解析:由题知使处于基态的氢原子被激发后,可辐射蓝光,不辐射紫光,由蓝光光子能量范围可知氢原子从  $n=4$  能级向低能级跃迁可辐射蓝光,不辐射紫光(即从  $n=4$  跃迁到  $n=2$ ,辐射蓝光),则需激发氢原子到  $n=4$  能级,激发氢原子的光子能量为  $\Delta E = E_4 - E_1 = 12.75$  eV,C 正确。

## 单元活动 4

### 【任务引导】

#### 任务一

提示:明线光谱的每一条亮线与吸收光谱的每一条暗线相对应。两种谱线都是该原子的特征谱线。

#### 任务二

提示:(1)根据谱线种数公式,这些氢原子所辐射的光子频率种数最多为

$$N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2} = \frac{4 \times (4-1)}{2} = 6$$

分别对应的跃迁是:  $4 \rightarrow 3$ 、 $4 \rightarrow 2$ 、 $4 \rightarrow 1$ 、 $3 \rightarrow 2$ 、 $3 \rightarrow 1$  和  $2 \rightarrow 1$ , 共 6 种。

(2)从  $n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级,辐射的光子能量最小,频率最低,且为

$$\nu_{\min} = \frac{E_4 - E_3}{h} = \frac{[-0.85 - (-1.51)] \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} \approx$$

$$1.6 \times 10^{14} \text{ Hz}.$$

### 【活动达标】

1.C 解析:连续分布的包含一切波长的光组成的光谱叫作连续光谱,如炽热的液体发出连续光谱,而不是明线光谱,故 A 错误。太阳光谱是吸收光谱,其中的暗线,说明太阳大气层中存在与这些暗线相对应的元素,故 B 错误。明线光谱属于发射光谱,暗线光谱属于吸收光谱。发射光谱是原子自身发光产生的光谱,所以是明线;吸收光谱是原子吸收白光里相应波长的光后产生的光谱,白光本来是连续的,一部分被吸收了之后就产生了暗线;由于不同的原子吸收不同波长的光,每种原子都有其特征的吸收、发射光谱,所以可以用来鉴别物质,故 C 正确。发射光谱有两种类型:连续光谱和明线光谱,故 D 错误。

2.B 解析:高温物体的光谱包括了各种频率的光,与其组成成分无关,故 A 错误。某种物质发光的线状光谱中的亮线与原子发出的某频率的光有关,通过这些亮线与原子的特征谱线对照,即可确定物质的组成成分,故 B 正确。高温物体发出的光通过物质后,某些频率的光被吸收而形成暗线,这些暗线与所通过物质有关,故 C 错误。某种物质发出某种频率的光,当光通过这种物质时它也会吸收这种频率的光,因此线状谱中的亮线与吸收光谱中的暗线相对应,故 D 错误。

3.B 解析:原子 A 处于激发态  $E_2$ ,因此其辐射光子频率数目只能有 1 种,选项 A 错误;原子 B 处于激发态  $E_3$ ,因此其辐射光子频率数目有  $C_3^2 = 3$  种,选项 B 正确;由氢原子能级的量子性及吸收光子必须满足  $h\nu = E_n - E_m (n > m)$ ,可知选项 C、D 错误。

4.A 解析:一群处于  $n=5$  激发态的氢原子,向低能级跃迁时,最多发出  $C_5^2 = 10$  种不同频率的光子,故 A 正确。一个处于  $n=4$  激发态的氢原子,向低能级跃迁时,最多可以发出 3 种不同频率的光子,故 B 错误。用 12 eV 的光子照射处于基态的氢原子时,该光子能量不能被吸收而使电子发生跃迁,故 C 错误。氢原子中的电子从高能级向低能级跃迁时,原子能量减小,根据  $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  得,电子动能增大,则氢原子的电势能减小,故 D 错误。

5.BC 解析:由题图甲可知,  $H_{\gamma}$  谱线对应光子的波长小于  $H_{\alpha}$  谱线对应光子的波长,结合  $E = \frac{hc}{\lambda}$  可知,  $H_{\gamma}$  谱线对应光子的能量大于  $H_{\alpha}$  谱线对应光子的能量,故 A 错误;由题图甲可知,  $H_{\alpha}$  谱线对应的波长最长,其光子的能量最小,为  $E_{\alpha} = \frac{hc}{\lambda_{\alpha}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{656.47 \times 10^{-9}} \text{ J} = 3.03 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1.89 \text{ eV}$ ,  $H_{\beta}$  谱线对应的波长最短,其光子的能量最大,为  $E_{\beta} = \frac{hc}{\lambda_{\beta}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{410.29 \times 10^{-9}} \text{ J} = 4.85 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 3.03 \text{ eV}$ ,可知,这四条谱线对应的光子能量在 1.62 eV 到 3.11 eV 之间,即题图甲所示的四条谱线均对应可见光,故 B 正确;  $H_{\beta}$  谱线对应光子的能量为  $E_{\beta} = \frac{hc}{\lambda_{\beta}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{486.27 \times 10^{-9}} \text{ J} = 4.09 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 2.55 \text{ eV}$ ,可知  $H_{\beta}$  谱线对应从  $n=4$  能级跃迁到  $n=2$  能级的过程,故 C 正确;由上面分析可知  $H_{\alpha}$  谱线对应的光子能量  $E_{\alpha} \approx 3.03 \text{ eV}$ ,由题图乙可知,从  $n=5$  能级到较低能级,没有两个能级差为 3.03 eV,即氢原子从  $n=5$  能级跃迁到较低能级时不能辐射出题图甲所示四条可见光,故 D 错误。

6.AC 解析:由氢原子的能级图可求得  $E_2 - E_1 = -3.4 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ , 即  $10.2 \text{ eV}$  是第二能级与基态之间的能量差, 处于基态的氢原子吸收  $10.2 \text{ eV}$  的光子后将跃迁到第二能级态, 可使处于基态的氢原子激发, A 正确;  $E_m - E_1 \neq 11 \text{ eV}$ , 不满足玻尔理论关于跃迁的条件, B 错误; 要使处于基态的氢原子电离, 照射光的能量须大于等于  $13.6 \text{ eV}$ , 而  $14 \text{ eV} > 13.6 \text{ eV}$ , 故  $14 \text{ eV}$  的光子可使基态的氢原子电离, C 正确;  $E_m - E_1 \neq 10 \text{ eV}$ , 既不满足玻尔理论关于跃迁的条件, 也不能使氢原子电离, D 错误。

7.AD 解析:红外线最短波长和最长波长分别为  $\lambda_{\min} = 0.76 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_{\max} = 1\,000 \mu\text{m}$ , 根据光子能量  $E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ , 代入数据可得红外线光子最大和最小能量分别为  $E_{\max} \approx 1.64 \text{ eV}$ ,  $E_{\min} \approx 1.24 \times 10^{-3} \text{ eV}$ , A 正确; 氢原子从  $n = 3$  能级向  $n = 2$  能级跃迁时释放出的光子能量  $E' = -1.51 \text{ eV} - (-3.4 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV} > E_{\max}$ , 因此不会被红外测温仪捕捉到, B 错误; 大量氢原子从  $n = 4$  能级向低能级跃迁时, 放出的能量分别为  $E_{43} = 0.66 \text{ eV}$ ,  $E_{32} = 1.89 \text{ eV}$ ,  $E_{42} = 2.55 \text{ eV}$ ,  $E_{21} = 10.2 \text{ eV}$ ,  $E_{31} = 12.09 \text{ eV}$ ,  $E_{41} = 12.75 \text{ eV}$ , 只有从  $n = 4$  向  $n = 3$  能级跃迁时放出的光子能量在红外区, 因此红外测温仪可捕捉到 1 种频率的红外线, C 错误; 大量处于  $n = 2$  激发态的氢原子吸收能量为  $2.86 \text{ eV}$  的光子后跃迁到  $n = 5$  的能级, 再从该能级向低能级跃迁时, 放出的能量有  $E_{54} = -0.54 \text{ eV} - (-0.85 \text{ eV}) = 0.31 \text{ eV}$ ,  $E_{43} = -0.85 \text{ eV} - (-1.51 \text{ eV}) = 0.66 \text{ eV}$ , ..., 因此, 辐射出的光子可能被红外测温仪捕捉, D 正确。

8.解析:对于赖曼系, 当  $n = 2$  时对应光的波长最长

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} R_H$$

$$\text{波长 } \lambda_1 \text{ 的光对应的频率为 } \nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3}{4} R_H c = \frac{3}{4} \times 1.10 \times 10^7 \times 3 \times 10^8 \text{ Hz} = 2.475 \times 10^{15} \text{ Hz}.$$

答案:  $2.475 \times 10^{15} \text{ Hz}$

## 第五章 原子核与基本粒子

### 1 原子核的组成

#### 问题式预习

知识点一

1. 质子 质子 2. 中子 中子 原子核
3. 质子 中子 核子 4. 质子数 质子数
5. 原子序数 中子数

#### [科学思维]

1. 提示:不是。原子核所带的电荷总是质子电荷的整数倍, 这个倍数叫作原子核的电荷数。
2. 提示:原子核的质量数不是指原子核的质量。原子核的质量几乎等于单个核子质量的整数倍, 这个倍数叫原子核的质量数, 是原子核内质子数与中子数之和。如  ${}_{67}^{166}\text{Ho}$  原子核的质量数是 166, 电荷数为 67, 其中质子数是 67, 中子数是 99。

#### [判一判]

1.  $\times$  2.  $\checkmark$  3.  $\times$

#### 知识点二

1. 核子 强 2. 核子 库仑

#### [科学思维]

$$k \frac{q_1 q_2}{r_2} \quad 2.3 \times 10^2 \quad G \frac{Mm}{r^2} \quad 1.9 \times 10^{-34} \quad \text{万有引力}$$

#### [判一判]

1.  $\times$  2.  $\times$  3.  $\checkmark$

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)质子是原子核的组成部分。

(2)原子核由质子和中子组成, 原子核的质量数等于质子数加中子数的和。

#### 【评价活动】

- 1.B 解析:根据质子数+中子数=质量数可以求解,  ${}_{38}^{95}\text{Sr}$  原子的质子数为 38, 核外电子数等于核内质子数, 即为 38, 质量数为 95, 中子数为 57。
- 2.B 解析:原子核符号  ${}^1_1\text{H}$  中, “1”指核电荷数, 即质子数, “3”指质量数, 即质子数与中子数的和, 也为核子数, 故选 B。
- 3.B 解析:质量数=质子数+中子数, 中性原子中, 质子数=核外电子数, 所以选 B。
- 4.BCD 解析:核力是仅存在于相邻核子间的短程强相互作用力, 而万有引力在任何有质量的物体间都存在, 且远小于核力, A 错误, B、D 正确; 因为有了强大的核力平衡原子核内质子间的库仑力, 才使原子核稳定存在, C 正确。
- 5.CD 解析:由于原子核带正电, 不存在只有中子的原子核, 但核力也不能把非常多的质子聚集在一起组成原子核, 其原因是核力是短程力, 质子之间还存在“长程力”——库仑力, A、B 错误; 自然界中存在只有一个质子的原子核, 即  ${}^1_1\text{H}$ , C 正确; 较大质量的原子核内只有存在一些中子, 才能削弱库仑力, 维系原子核的稳定, D 正确。

6.解析:原子序数与核内质子数、核电荷数、中性原子的核外电子数都是相等的,原子核的质量数等于核内质子数与中子数之和。

(1)镭核中的质子数等于其原子序数,故质子数为 88,中子数  $N$  等于原子核的质量数  $A$  与质子数  $Z$  之差,即  $N=A-Z=226-88=138$ 。

(2)镭核所带电荷量

$$Q=Ze=88\times 1.6\times 10^{-19}\text{ C}\approx 1.41\times 10^{-17}\text{ C}。$$

(3)若镭原子呈电中性,则核外电子数等于质子数,故核外电子数为 88。

(4)带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的向心力由洛伦兹力提供,故有  $qvB=m\frac{v^2}{r}$ ,则  $r=\frac{mv}{qB}$ ,两种同位素

具有相同的核电荷数,但质量数不同,故  $\frac{r_{226}}{r_{228}}=\frac{226}{228}=\frac{113}{114}$ 。

答案:(1)88 138 (2) $1.41\times 10^{-17}\text{ C}$  (3)88

(4)113:114

## 任务二

### 【探究活动】

提示:(1)氢的三种同位素  ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$  的质子数都为 1,中子数分别为 0、1、2,核子数分别为 1、2、3。

(2)质子数相同。

### 【评价活动】

1.AC 解析:同位素在元素周期表上具有相同的位置,具有相同的化学性质;同位素的中子数不同,物理性质有差异。选项 A、C 正确。

2.B 解析:同位素的质子数相同,中子数不同,而质量数等于质子数加中子数,设质子数为  $M$ ,则有  $A=N+M$ ,所以 B 正确。

3.AC 解析:原子核的原子序数与核内质子数、核电荷数、核外电子数(电中性时)都是相等的,且原子核的质量数(核子数)等于核内质子数与中子数之和。由此知这两种镭的原子,核内的质子数均为 88,核子数分别为 228 和 226,中子数分别为 140 和 138;原子的化学性质由核外电子数决定,因它们的核外电子数相同,故它们的化学性质相同。正确选项为 A、C。

4.B 解析:A 选项中, ${}^n_m\text{X}$  核与 ${}^{n-1}_{m-1}\text{Y}$  核的质子数不同,不是同位素;B 选项中, ${}^n_m\text{X}$  核与 ${}^{n-1}_m\text{Y}$  核质子数都为  $m$ ,而质量数不同,所以互为同位素;C 选项中, ${}^n_m\text{X}$  核内中子数为  $n-m$ , ${}^{n-2}_{m-2}\text{Y}$  核内中子数为  $(n-2)-(m-2)=n-m$ ,所以中子数相同;D 选项中, ${}^{235}_{92}\text{U}$  核内有 143 个中子。

## 2 放射性元素的衰变

### 问题式预习

#### 知识点一

1.放射性 放射性元素

2.(1)贝克勒尔 (2)钋(Po) 镭(Ra)

(3)自发 天然放射现象 83

3.(1)带电粒子流 不偏转 (2)氦 穿透 铝箔

(3)电子流 几毫米 (4)电磁波 铅板

4.放射性

[判一判]

1.× 2.× 3.×

#### 知识点二

1.(1)射线 (2) $\alpha$  衰变  $\beta$  衰变

(3)① ${}^4_2\text{He}$  ② ${}^0_{-1}\text{e}$  (4)核电荷数 质量数

2.(1)半数 (2)①统计 ②核内部自身 ③不同

[判一判]

1.× 2.× 3.×

### 任务型课堂

#### 任务一

### 【探究活动】

提示:(1)贝克勒尔是根据铀和含铀的矿物能够发出看不见的射线,它能穿透黑纸使照相底片感光,从而发现了天然放射现象。

(2)居里夫人和她的丈夫皮埃尔·居里发现了钋、镭两种更强的放射性元素。

(3)说明  $\alpha$  射线带正电, $\beta$  射线带负电, $\gamma$  射线不带电。

(4)如果一种元素具有放射性,那么无论它是以单质形式存在,还是以化合物形式存在,都具有放射性。放射性的强度不受温度、外界压强的影响。由于元素的化学性质主要取决于原子核外的电子数,这就说明射线与核外电子无关,也就是说射线来自原子核。这说明原子核内部是有结构的。

### 【评价活动】

1.C 解析:若电子打在  $a$  点,则电子所受的洛伦兹力等于电场力,即  $eE=evB$ 。当电场方向水平向左时,磁场的方向只能垂直纸面向外,此时  $\alpha$  粒子所受的向左的电场力  $F_e=2eE$ ,所受的向右的洛伦兹力  $F_{洛}=2e\times\frac{1}{10}vB=$   
 $\frac{1}{5}evB$ ,则  $\alpha$  粒子所受的洛伦兹力小于电场力,即  $\alpha$  粒子

向左发生偏转;当电场方向水平向右时,磁场方向只能垂直纸面向里,此时 $\alpha$ 粒子所受的向右的电场力 $F_e = 2eE$ ,所受的向左的洛伦兹力 $F_{洛} = 2e \times \frac{1}{10}vB = \frac{1}{5}evB$ ,洛伦兹力小于电场力, $\alpha$ 粒子向右发生偏转。同理分析可知,若 $\alpha$ 粒子打在 $a$ 点,则电场方向水平向右,磁场方向垂直纸面向里。故C正确。

2.BCD 解析: $\alpha$ 射线是 ${}^4_2\text{He}$ 原子核,电离作用最强,穿透能力最弱; $\beta$ 射线是 ${}_{-1}^0\text{e}$ ,电离作用较强,穿透能力较强; $\gamma$ 射线是光子,不带电,电离作用最弱,穿透能力最强。三种射线都来自原子核,故B、C、D正确。

3.D 解析: $\alpha$ 射线实质为氦核,带正电,有很强的电离本领; $\beta$ 射线为高速电子流,带负电,由核内中子转化为质子时放出; $\gamma$ 射线为高频电磁波,不带电,有很强的穿透本领。根据电荷所受电场力特点可知:①为 $\beta$ 射线,②为 $\gamma$ 射线,③为 $\alpha$ 射线。根据左手定则可知, $\alpha$ 射线受到的洛伦兹力向左,故④是 $\alpha$ 射线; $\beta$ 射线受到的洛伦兹力向右,故⑥是 $\beta$ 射线; $\gamma$ 射线在磁场中不受磁场的作用力,轨迹不会发生偏转,故⑤是 $\gamma$ 射线。

4.A 解析:三种射线中 $\alpha$ 射线和 $\beta$ 射线带电,进入电场后会发生偏转,而 $\gamma$ 射线不带电,不受电场力,电场对它没有影响,在电场中不偏转,将电场撤去,从显微镜内观察到荧光屏上每分钟闪烁的亮点数没有变化,可知射线中含有 $\gamma$ 射线;再将薄铝片移开,从显微镜内观察到的每分钟闪烁的亮点数大大增加,根据 $\alpha$ 射线的特性,即穿透本领最弱,一张纸就能挡住,分析得知射线中含有 $\alpha$ 射线,故放射源所发出的射线可能为 $\alpha$ 射线和 $\gamma$ 射线,A正确。

## 任务二

### 【探究活动】

提示:(1)核内的中子转化成了一个质子和一个电子,其转化方程是 ${}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_1^1\text{H} + {}_{-1}^0\text{e}$ 。

(2)放射性的原子核在发生 $\alpha$ 衰变或 $\beta$ 衰变时产生的新核处于高能级状态,这时它要向低能级跃迁,并放出 $\gamma$ 射线。

### 【评价活动】

1.D 解析:衰变方程为 ${}^{232}_{90}\text{Th} \longrightarrow {}^{220}_{86}\text{Rn} + x{}_2^4\text{He} + y{}_{-1}^0\text{e}$ ,由质量数守恒和电荷数守恒得 $232 = 220 + 4x$ , $90 = 86 + 2x - y$ ,解得 $x = 3$ , $y = 2$ ,故选D。

2.B 解析:核反应方程满足质量数守恒和电荷数守恒,因此有 $63 = 63 + A$ ,可得 $A = 0$ , $28 = 29 + Z$ ,可得 $Z = -1$ ,故X的质量数为0,电荷数为-1,X为电子,表示为 ${}_{-1}^0\text{e}$ ,B正确。

3.AD 解析:原子核发生一次 $\alpha$ 衰变,核电荷数减少2,质量数减少4,原子序数减少2;原子核发生一次 $\beta$ 衰变,核电荷数、原子序数均增加1,故A、D正确。

4.C 解析:经过1次 $\alpha$ 衰变质子数少2,质量数少4,经过1次 $\beta$ 衰变中子数减少1,质子数增加1,质量数不变,则钍核 ${}^{232}_{90}\text{Th}$ 经过6次 $\alpha$ 衰变和4次 $\beta$ 衰变后质子数减少8,质量数减少24,为 ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ ,质量数等于质子数加中子数的和,则中子数减少16,C正确。

5.解析:(1)设 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核衰变为 ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ 核经过 $x$ 次 $\alpha$ 衰变和 $y$ 次 $\beta$ 衰变。由质量数守恒和电荷数守恒可得

$$238 = 206 + 4x$$

$$92 = 82 + 2x - y$$

$$\text{解得 } x = 8, y = 6$$

即一共经过8次 $\alpha$ 衰变和6次 $\beta$ 衰变。

(2)由于每发生一次 $\alpha$ 衰变,质子数和中子数均减少2,每发生一次 $\beta$ 衰变中子数减少1,而质子数增加1,故 ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ 较 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 质子数少10,中子数少22。

$$(3)\text{衰变方程为 } {}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 8{}_2^4\text{He} + 6{}_{-1}^0\text{e}。$$

答案:(1)8次 $\alpha$ 衰变和6次 $\beta$ 衰变 (2)10 22

$$(3){}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 8{}_2^4\text{He} + 6{}_{-1}^0\text{e}$$

## 任务三

### 【探究活动】

提示:不对。放射性元素的半衰期由原子核本身的因素决定,与外界环境等因素无关。矿石中的 ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ 可能来源于其他放射性元素的衰变。

### 【评价活动】

1.B 解析:半衰期是放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间,是表征放射性元素衰变快慢的物理量。半衰期的大小由原子核内部自身的因素决定,与元素的质量、所处的化学状态和物理环境无关。故B正确。

2.D 解析:半衰期的大小由原子核内部自身的因素决定,与原子所处的化学状态和物理环境无关,所以A、B均错误;半衰期是大量原子核有半数发生衰变的统计规律,对少量原子核不适用,所以C错误,D正确。

3.C 解析:半衰期由原子核内部因素决定,而跟其所处的物理状态和化学状态无关,所以 $\text{X}_2\text{O}$ 、 $\text{XF}$ 、X核的半衰期相同,均为8天,C正确。

4.D 解析:根据质量数守恒和电荷数守恒, ${}^{90}_{38}\text{Sr} \longrightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + {}_{-1}^0\text{e}$ 为 $\beta$ 衰变, ${}^{238}_{94}\text{Pu} \longrightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}_2^4\text{He}$ 为 $\alpha$ 衰变,故A、B错误;因为半衰期 $T_{\text{Sr}} < T_{\text{Pu}}$ ,所以经过相同时间, $N_{\text{Sr}} <$

$N_{\text{Pu}}$ ,故 C 错误,D 正确。

5.C 解析:根据题意,设半衰期为  $t_0$  的元素原子核数为  $x$ ,另一种元素原子核数为  $y$ ,依题意有  $x+y=N$ ,经过  $2t_0$  后有  $\frac{1}{4}x+\frac{1}{2}y=\frac{N}{3}$ ,联立可得  $x=\frac{2}{3}N,y=\frac{1}{3}N$ ;在  $t=4t_0$  时,原子核数为  $x$  的元素经历了 4 个半衰期,原子核数为  $y$  的元素经历了 2 个半衰期,则此时未衰变的原子核总数为  $n=\frac{1}{2^4}x+\frac{1}{2^2}y=\frac{N}{8}$ ,故选 C。

### 3 核反应 结合能

#### 问题式预习

知识点一

1.(1)原子核 新核 (2)核电荷数 2.核子 释放出

3.(1)小于 (2) $\Delta m \cdot c^2$  (3) $mc^2$

[判一判]

1.× 2.√ 3.×

知识点二

1.核子数 平均 稳定 2.核子数 较大 较小

[科学思维]

提示:因为比结合能越大,将每个核子分开所需的能量越大,所以比结合能越大,表示原子核中核子结合得越牢固,原子核越稳定。

[做一做]

AB 解析:结合能是核子结合成原子核时放出的能量,也是原子核拆分成核子时所需要的最小的能量,A、B 正确;比结合能越大的原子核越稳定,但比结合能越大的原子核,其结合能不一定大,例如中等大小的原子核的比结合能比重核的大,但由于其核子数比重核的少,其结合能比重核的小,C、D 错误。

#### 任务型课堂

任务一

【探究活动】

提示:(1)核反应方程是  ${}^4_2\text{He}+{}^{14}_7\text{N}\longrightarrow{}^{17}_8\text{O}+{}^1_1\text{H}$ 。核反应前后核电荷数和质量数守恒。

(2)卢瑟福第一次完成了原子核的人工转变并发现了质子。

【评价活动】

1.C 解析:根据质量数守恒、核电荷数守恒有, $12=8+x+y,6=4+y$ ,解得  $x=2,y=2$ ,C 正确。

2.C 解析:核反应方程式只能用箭头,不能用等号,A 错误;B 中  ${}^0_1\text{H}$  应为  ${}^0_1\text{e}$ ,且该核反应不存在,B 错误;根据质量数和核电荷数守恒可知,C 正确;D 中质量数不守

恒,D 错误。

3.解析:(1) ${}^{14}_7\text{N}+{}^1_0\text{n}\longrightarrow{}^{14}_6\text{C}+{}^1_1\text{H}$ 。

(2) ${}^{14}_7\text{N}+{}^4_2\text{He}\longrightarrow{}^{17}_8\text{O}+{}^1_1\text{H}$ 。

(3) ${}^{10}_5\text{B}+{}^1_0\text{n}\longrightarrow{}^7_3\text{Li}+{}^4_2\text{He}$ 。

(4) ${}^9_4\text{Be}+{}^4_2\text{He}\longrightarrow{}^{12}_6\text{C}+{}^1_0\text{n}$ 。

(5) ${}^{56}_{26}\text{Fe}+{}^2_1\text{H}\longrightarrow{}^{57}_{27}\text{Co}+{}^1_0\text{n}$ 。

其中发现质子的核反应方程是(2),发现中子的核反应方程是(4)。

答案:见解析

任务二

1.AD 解析:自由核子结合为原子核的过程中,核力做正功,释放出能量,反之,将原子核分开变为自由核子,它需要吸收相应的能量,该能量即为结合能,故 A 正确,B 错误;核子越多的原子核的结合能越大,但它不一定越稳定,故 C 错误;比结合能越大,分开核子时需要的能量越大,原子核就越稳定,故 D 正确。

2.BC 解析:根据题图知  ${}^3_2\text{He}$  核的比结合能约为 7 MeV,所以结合能  $\Delta E=7\times 4\text{ MeV}=28\text{ MeV}$ ,故 A 错误。比结合能越大,原子核越稳定, ${}^4_2\text{He}$  核比  ${}^6_3\text{Li}$  核比结合能大,则更稳定,故 B 正确。由题图可知  ${}^2_1\text{H}$  的比结合能约为 1 MeV,则  ${}^2_1\text{H}$  的结合能为 2 MeV; ${}^4_2\text{He}$  的比结合能为 7 MeV,结合能为 28 MeV,则两个  ${}^2_1\text{H}$  核结合成  ${}^4_2\text{He}$  核时放出能量,故 C 正确。由图像可知, ${}^{235}_{92}\text{U}$  核中核子的比结合能比  ${}^{89}_{36}\text{Kr}$  核中的小,故 D 错误。

3.解析:把  ${}^{16}_8\text{O}$  分成 8 个质子和 8 个中子需提供的能量  $\Delta E_1=16\times 7.98\text{ MeV}=127.68\text{ MeV}$ 。将 2 个质子和 2 个中子结合成一个  ${}^4_2\text{He}$  所放出的能量  $\Delta E_2=4\times 7.07\text{ MeV}=28.28\text{ MeV}$ ,则将  ${}^{16}_8\text{O}$  分成 4 个  ${}^4_2\text{He}$  需提供的能量  $\Delta E'=\Delta E_1-4\Delta E_2=127.68\text{ MeV}-4\times 28.28\text{ MeV}=14.56\text{ MeV}$ 。

答案:127.68 MeV 14.56 MeV

任务三

【探究活动】

提示:(1) $\Delta m=2\times 2.013\ 6\text{ u}-(3.016\ 0\text{ u}+1.008\ 7\text{ u})=0.002\ 5\text{ u}$ 。

(2) $\Delta E=\Delta mc^2=0.002\ 5\times 931\text{ MeV}\approx 2.3\text{ MeV}$ 。

【评价活动】

1.C 解析:核反应因质量亏损释放的核能为  $\Delta E=(m_{\text{D}}-m_{\text{p}}-m_{\text{n}})c^2$ ,再加上原光子的能量也转化成动能,又因为两个粒子动能相等,所以中子的动能  $E_{\text{k}}=\frac{\Delta E+E}{2}=\frac{(m_{\text{D}}-m_{\text{p}}-m_{\text{n}})c^2+E}{2}$ ,C 正确。

2.解析:核子结合前、后的质量亏损为

$$\Delta m = 2m_{\text{H}} + m_{\text{n}} - m_{\text{He}} = 0.008\ 286\ \text{u}$$

由于  $1\ \text{u}$  相当于  $931.5\ \text{MeV}$  的能量,则结合能为

$$E = 0.008\ 286 \times 931.5\ \text{MeV} = 7.718\ 409\ \text{MeV}.$$

答案:7.718 409 MeV

3.解析:组成  $\alpha$  粒子的核子与  $\alpha$  粒子的质量差

$$\Delta m = (2m_{\text{p}} + 2m_{\text{n}}) - m_{\alpha}$$

$$\text{结合能 } \Delta E = \Delta mc^2$$

代入数据得  $\Delta E \approx 4.3 \times 10^{-12}\ \text{J}$ .

答案: $4.3 \times 10^{-12}\ \text{J}$

## 4 核裂变 核聚变

## 5 粒子物理学发展概况

### 问题式预习

知识点一

1.(1)哈恩 铀核 (2)中等质量 (3) ${}_0^1\text{n}$   ${}_0^3\text{n}$

2.(1)引发这种反应 延续 (2)临界体积

[科学思维]

1.提示:不是。铀核在受到中子轰击后才发生裂变,不是天然放射现象。

2.提示:不是。铀核裂变的生成物并不确定,所以其核反应方程不是唯一的。

[做一做]

解析:由质量数和电荷数守恒可知: ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$ ,可见产生了 3 个中子,链式反应的一个条件是铀燃料的体积必须大于或等于临界体积。

答案:3 大于等于

知识点二

1.(1)核裂变 快中子 (2)①铀棒 ②石墨 ③吸收中子

2.(1)发电 (2)内能 高温高压 汽轮发电机

[科学思维]

1.提示:控制棒由镉或硼制成,镉吸收中子的能力很强,在铀棒之间插进一些镉棒,可以控制链式反应的速度。

2.提示:慢化剂的作用是使快中子减速,以便于中子与铀核作用发生链式反应,不是为了减慢裂变速度,而是为了提高中子的利用率。

[判一判]

1.× 2.√ 3.×

知识点三

1.(1)较重 (2) ${}_2^4\text{He}$  (3)上亿摄氏度 热核反应

2.(1)高温 (2)①环流器 ②激光

[科学思维]

提示:要使轻核发生聚变就必须使它们间的距离达到核力发生作用的距离,而核力是短程力,作用距离在  $10^{-15}\ \text{m}$ ,在这个距离上时,质子间的库仑斥力非常大,为了克服库仑斥力就需要原子核具有非常大的动能才会撞到一起,这就需要温度达到上亿摄氏度,原子核就可以具有那么大的动能。

[做一做]

A 解析:①是原子核的人工转变方程;②是重核裂变方程,是原子弹的反应方程;③是  $\alpha$  衰变方程;④是轻核聚变方程,是氢弹的反应方程。故属于研究“两弹”的基本核反应方程的是①④。

知识点四

1.(1)①高能粒子 ②电场力 ③直线

(2)①高能粒子流 ②能量

2.(1)轻子 (2)夸克 反夸克  $+\frac{2}{3}e$   $-\frac{1}{3}e$

[做一做]

解析:由于  $\alpha$  粒子为  ${}_2^4\text{He}$ ,质量数为 4,电荷数为 2,根据题中对“反粒子”的定义,反  $\alpha$  粒子的质量数也为 4,而电荷数应为  $-2$ 。

答案:4  $-2$

### 任务型课堂

任务一

【探究活动】

提示:如果铀块不够大,中子在铀块中通过时,很有可能碰不到铀核而跑到铀块外面去,链式反应不能继续。只有当铀块足够大时,核裂变产生的中子才有足够大的概率打中某个铀核,使链式反应进行下去。

【评价活动】

1.B 解析:重核的裂变需要中子的轰击,在链式反应中,不断放出高速的中子使裂变可以不断地进行下去,B 正确。

2.C 解析:核反应可以分为四类,它们分别是衰变、人工转变、核裂变、核聚变,其中衰变有  $\alpha$  衰变、 $\beta$  衰变等。

${}_{92}^{238}\text{U} \rightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$  是  $\alpha$  衰变,  ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + {}_{-1}^0\text{e}$  是  $\beta$  衰变,  ${}_{4}^9\text{Be} + {}_2^4\text{He} \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + {}_0^1\text{n}$  是人工转变,只有 C 选项是核裂变。

3.BC 解析:核裂变的过程中释放核能,根据爱因斯坦质能方程可知,该核反应过程中质量有所减少,故 A 错误;根据链式反应的条件可知,铀块体积必须达到临界体积,这时有中子通过时,才能发生链式反应,故 B 正确;裂变产物  ${}_{56}^{144}\text{Ba}$  属于中等质量的原子核,根据原子核的比结

合能与质量数的关系可知,裂变产物  $^{144}_{56}\text{Ba}$  的比结合能大于重核  $^{235}_{92}\text{U}$  的比结合能,故 C 正确;反应后生成的中子是 3 个,根据质能方程  $\Delta E = \Delta mc^2 = (m_{\text{U}} - m_{\text{Ba}} - m_{\text{Kr}} - 2m_{\text{n}})c^2$ ,故 D 错误。

4.A 解析:设 X 原子核的质量数为 A,电荷数为 Z,由核反应前后质量数守恒和核电荷数守恒得  $235 + 1 = A + 94 + 2 \times 1.92 = Z + 38$ ,解得  $A = 140, Z = 54$ ,X 原子核中的中子数为  $N = A - Z = 140 - 54 = 86$ ,A 正确,B 错误;裂变释放出能量,由质能方程可知,其总质量减少,但质量数守恒,C、D 错误。

## 任务二

### 【探究活动】

提示:(1)慢中子。

(2)通过插入控制棒调节中子数目,从而控制反应速度。控制棒由镉做成,当反应过于剧烈时,使控制棒插入深一些,让它多吸收一些中子,链式反应就会慢一些;反之,应使控制棒插入浅一些,让它少吸收一些中子,链式反应就会快一些。

### 【评价活动】

1.ABD 解析:铀棒是核燃料,裂变时可以放出能量,A 正确;镉棒吸收中子的能力很强,作用是调节中子数目以控制反应速度,即控制反应堆的功率,B 正确;慢中子最容易引发核裂变,所以在快中子碰到铀棒前要进行减速,石墨的作用是使中子减速,C 错误;水或液态金属钠等流体在反应堆中内外循环流动,把反应堆内的热量传输出去,用于发电,同时也使反应堆冷却,控制温度,D 正确。

2.CD 解析:泰山核电站利用的是重核裂变释放的能量,故 A 错误;原子核亏损的质量全部转化为电能时,亏损的质量约为  $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{8.7 \times 10^{11} \times 1\,000 \times 3\,600}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} = 34.8 \text{ kg}$ ,核电站实际发电还要考虑到核能的转化率和利用率,则原子核亏损的质量大于 34.8 kg,故 B 错误;核电站反应堆中需要利用镉棒能吸收中子的特性,通过中子的数量控制链式反应的速度,故 C 正确;反应堆利用铀 235 的裂变,生成多个中等质量的原子核和中子,存在核反应  $^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$ ,故 D 正确。

3.解析:一昼夜消耗的铀所能产生的核能为

$$\Delta E = \frac{220}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \times 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1.8 \times 10^{13} \text{ J}$$

$$\text{电功率 } P = \frac{\Delta E}{t} \cdot \eta = \frac{1.8 \times 10^{13} \times 25\%}{24 \times 3\,600} \text{ W} \approx 5.2 \times 10^7 \text{ W}$$

答案:  $5.2 \times 10^7 \text{ W}$

4.解析:(1) $^{235}_{92}\text{U}$  裂变成  $^{139}_{54}\text{Xe}$  和  $^{94}_{38}\text{Sr}$ ,同时放出 3 个中子  ${}^1_0\text{n}$ ,裂变前、后质量变化

$$\Delta m = m_{\text{前}} - m_{\text{后}} = (235.043\,9 + 1.008\,7 - 138.917\,8 - 93.915\,4 - 3 \times 1.008\,7) \text{ u} = 0.193\,3 \text{ u}$$

即亏损质量为原子质量单位的 0.193 3 倍。

(2)由爱因斯坦的质能方程,得

$$\Delta E = 0.193\,3 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 180 \text{ MeV}$$

(3)铀核中平均每个核子释放的能量为

$$\frac{\Delta E}{235} = \frac{180 \text{ MeV}}{235} \approx 0.766 \text{ MeV}$$

答案:(1)0.193 3 倍 (2)180 MeV (3)0.766 MeV

## 任务三

### 【探究活动】

提示:(1)核聚变方程为  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ 。

(2)①产能效率高;②核聚变燃料储量丰富;③安全、清洁。

### 【评价活动】

1.B 解析:根据该反应过程中质量数守恒和电荷数守恒可知核反应方程为  ${}^1_1\text{H} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^2_1\text{H} + \gamma$ ,故选项 A 错误;聚变过程中辐射出  $\gamma$  光子,质量亏损  $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3$ ,故选项 B 正确;由质能方程知,辐射出的  $\gamma$  光子的能量  $E = (m_1 + m_2 - m_3)c^2$ ,故选项 C 错误;由  $E = \frac{hc}{\lambda}$  知, $\gamma$  光子的波长  $\lambda = \frac{hc}{(m_1 + m_2 - m_3)c}$ ,故选项 D 错误。

2.B 解析:根据质量数和电荷数守恒可得,X 是中子,中子没有结合能,选项 A 错误;设反应物的结合能为  $E_1$ ,则有  $E_1 = 1.09 \text{ MeV} \times 2 + 2.78 \text{ MeV} \times 3 = 10.52 \text{ MeV}$ ,设生成物的结合能为  $E_2$ ,根据反应方程式可得  $E_1 - E_2 = -17.6 \text{ MeV}$ ,解得氦原子核的结合能为  $E_2 = 10.52 \text{ MeV} + 17.6 \text{ MeV} = 28.12 \text{ MeV}$ ,所以氦原子核的比结合能为  $7.03 \text{ MeV}$ ,选项 B 正确;因为氘核的比结合能是  $1.09 \text{ MeV}$ ,由结合能和比结合能的关系可得氘核的结合能为  $1.09 \text{ MeV} \times 2 = 2.18 \text{ MeV}$ ,选项 C 错误;该反应释放的能量为  $17.6 \text{ MeV}$ ,由质能方程  $\Delta E = \Delta mc^2$ ,可得  $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{17.6 \text{ MeV}}{c^2}$ ,因为  $1 \text{ u} = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ ,所以该聚变反应的质量亏损  $\Delta m = \frac{17.6}{931.5} \text{ u} = 0.018\,9 \text{ u}$ ,选项 D 错误。

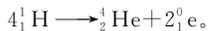
3.B 解析:根据核反应方程  $4{}^1_1\text{H} \rightarrow \text{X} + 2{}^0_{-1}\text{e}$ ,反应前氢核的质量数总和为 4,电荷数总和为 4。反应后两个正电子的质量数总和为  $2 \times 0 = 0$ ,电荷数总和为  $2 \times 1 = 2$ 。设 X 的质量数为 A,电荷数为 Z,则有  $A + 0 = 4, Z + 2 = 4$ ,解得  $A = 4, Z = 2$ , ${}^4_2\text{He}$  的质量数为 4,电荷数为 2,故选 B。

4.解析:在轻核聚变反应中,由于质量亏损放出核能,由

$$\Delta E = \Delta mc^2, \text{可求得 } \Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{17.6 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 3 \times 10^{-29} \text{ kg}.$$

答案:(1)核聚变 (2)放出 减少  $3 \times 10^{-29}$

5.解析:(1)由题意可得核反应方程为



(2)反应前的总质量

$$m_1 = 4m_{\text{H}} = 4 \times 1.007\ 83 \text{ u} = 4.031\ 32 \text{ u}$$

反应后的总质量

$$m_2 = m_{\text{He}} + 2m_{\text{e}} = 4.002\ 60 \text{ u} + 2 \times 0.000\ 55 \text{ u} = 4.003\ 70 \text{ u}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0.027\ 62 \text{ u}$$

由爱因斯坦质能方程得,释放的能量

$$\Delta E = 0.027\ 62 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 25.73 \text{ MeV}.$$

(3)由质能方程  $\Delta E = \Delta mc^2$  得太阳每秒减少的质量

$$\Delta m' = \frac{\Delta E'}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{26}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 4.22 \times 10^9 \text{ kg}.$$

答案:(1) $4_1^1\text{H} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + 2_1^0\text{e}$  (2)25.73 MeV

(3) $4.22 \times 10^9 \text{ kg}$

#### 任务四

#### 【探究活动】

提示:(1)由于  $\pi^+$  介子带有  $+e$  的电荷量,因此其由  $u$  夸克和  $\bar{d}$  夸克组成。

(2)同理,  $\pi^-$  介子带有  $-e$  的电荷量,应由  $\bar{u}$  夸克和  $d$  夸克组成。

#### 【评价活动】

1.ABC 解析:根据粒子的分类、粒子与反粒子的描述知, A、B、C 正确;光子属于规范玻色子, D 错误。

2.B 解析:由于质子带  $e$  的正电荷,则由 2 个  $u$  夸克和 1 个  $d$  夸克组成,其总的电荷量为  $e$ ;中子不带电,则由 1 个  $u$  夸克和 2 个  $d$  夸克组成,其总的电荷量为 0,由此可知 B 正确。

3.BC 解析:原子核(母核)俘获一个核外电子,使其内部的一个质子变为中子,并放出一个中微子,从而变成一个新核(子核)。子核与母核相比,电荷数少 1,质量数不变,故 A 错误, B 正确;静止的母核俘获电子(电子的初动量不计)的过程中动量守恒,初状态系统的总动量为 0,则子核的动量和中微子的动量大小相等,方向相反,故 C 正确;子核的动量大小和中微子的动量大小相等,由于中微子的质量很小,根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$ ,可知中微子的动能大于子核的动能,故 D 错误。

4.解析:(1)发生核反应前后,粒子的质量数和电荷数均不变,据此可知中微子的质量数和电荷数都是 0。

(2)产生能量是由于质量亏损。两个电子转变为两个光子之后,质量变为 0,则  $\Delta E = \Delta mc^2$ ,故一个光子的能量为  $\frac{\Delta E}{2}$ ,代入数据得  $\frac{\Delta E}{2} \approx 8.2 \times 10^{-14} \text{ J}$ 。正电子与水中的电子相遇,与电子形成几乎静止的整体,故系统总动量为 0,单个光子的动量不可能为 0,故只有产生 2 个光子,此过程才遵循动量守恒定律。

答案:(1)0 0 (2) $8.2 \times 10^{-14}$  见解析

## 单元活动 5

### 【任务引导】

#### 任务一

提示:(1)衰变方程可表示为  ${}_{92}^{238}\text{U} \longrightarrow {}_{90}^{234}\text{Th} + {}_2^4\text{He}$ 。

(2)Th 核和  $\alpha$  粒子都带正电荷,则在匀强磁场中都沿逆时针做匀速圆周运动。两个粒子满足动量守恒定律,由于铀核一开始处于静止状态,  $\alpha$  粒子与 Th 核组成的系统动量为 0,故两者开始运动的方向相反,运动轨迹相互外切。

#### 任务二

提示:(1)X 粒子是  ${}^4_2\text{He}$ 。

(2)“核燃烧”的核反应是轻核聚变反应。

(3) ${}^9_4\text{Be}$  的半衰期不会变化。

### 【活动达标】

1.BD 解析:由题图可知,原子核衰变后放出的粒子与新核所受的洛伦兹力方向相同,而两者速度方向相反,可知两者的电性相反,新核带正电,则放出的必定是  $\beta$  粒子,发生了  $\beta$  衰变,故 A 错误;粒子在磁场中做圆周运动,洛伦兹力提供向心力,由牛顿第二定律得  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ ,解得  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ ,原子核衰变过程系统动量守恒,由动量守恒定律可知,放出的  $\beta$  粒子与新核的动量大小相等,由此可知,半径与电荷量成反比,两圆半径之比为 1:16,由于新核的电荷量较大,则小圆是新核的轨迹,衰变后新核所受的洛伦兹力方向向右,根据左手定则判断可知,其速度方向向下,沿小圆做逆时针方向的圆周运动,故 B 正确;粒子做圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ,可知两粒子在磁场中运动的周期不相等,故 C 错误;轨道半径  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ ,由两圆半径之比为 1:16 可知,新核的电荷量为  $16e$ ,原子序数为 16,则原来静止的原子核的原子序数为 15,故 D 正确。

2. BD 解析:衰变过程中满足动量守恒,设新核的符号

为 ${}_{Z-2}^{A-4}Y$ ,即 $p_\alpha = p_Y$ ,由动量和能量的关系得 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ ,由

于新核和 $\alpha$ 粒子的质量关系未知,故不能比较二者动能的大小,故A错误;原子核带正电,由题意和左手定则可

知,磁场方向垂直纸面向里,故B正确;原子核在磁场中

做圆周运动,洛伦兹力提供向心力有 $qvB = m\frac{v^2}{r}$ ,解得

$r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ ,则新核和衰变出来的 $\alpha$ 粒子做匀速圆周运

动的半径之比为 $\frac{2}{Z-2}$ ,故C错误;原子核做圆周运动的

周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ ,根据电流定义式可得电流大小为 $I =$

$\frac{q}{T} = \frac{q^2 B}{2\pi m}$ ,则新核和衰变出来的 $\alpha$ 粒子做匀速圆周运动

的等效电流之比为 $\frac{(Z-2)^2}{A-4}$ ,故D正确。

3. B 解析:根据题图甲可知, ${}^4_2\text{He}$ 核的比结合能约为

7 MeV, A 错误;根据题图甲可知, ${}^{235}_{92}\text{U}$ 核的比结合能比

${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 核的比结合能略小,但 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 核子数比 ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 多很多,

因此 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 核的结合能比 ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 核的结合能更大, B 正确;

根据题图乙可知,核D裂变成核E和F的过程中,核子

平均质量减少,放出核能,比结合能增大, C 错误;根据题

图乙可知,若A、B能结合成C,核子平均质量减少,结合

过程一定要放出能量, D 错误。

4. C 解析:新核 ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 的质量数比铀原子核 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 少4,质

子数少2,因此铀原子核 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 发生了 $\alpha$ 衰变,选项A错

误;衰变前,铀核 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 的动量为0,根据动量守恒定律可

知,衰变后产生的新核 ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 与 $\alpha$ 粒子的动量大小相等、

方向相反,新核 ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 与 $\alpha$ 粒子在匀强磁场中做匀速圆

周运动,洛伦兹力提供向心力,由牛顿第二定律得 $qvB =$

$m\frac{v^2}{r}$ ,解得 $r = \frac{mv}{qB} = \frac{p}{qB}$ ,由于 $p$ 、 $B$ 大小相等,因此两个相

切圆半径 $r_1$ 与 $r_2$ 之比为两核的电荷量的倒数之比,即

$r_1 : r_2 = q_2 : q_1 = 1 : 45$ ,选项B错误;2 kg的 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核衰

变符合统计规律,经过90亿年,即2个半衰期的时间,会有

1.5 kg 发生衰变,选项C正确;铀核衰变的过程中,存在

质量亏损,导致衰变后 ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 核的质量与 $\alpha$ 粒子的质量

之和小于衰变前 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核的质量,选项D错误。

5. B 解析:设钍的核电荷数为 $a$ ,则钍232俘获一个中子

后经过2次 $\beta$ 衰变转化成铀233,则 $a = 92 - 2 = 90$ ,即

铀233比钍232多2个质子,选项A错误;铀233、钷

142、氩89三个核中氩89质量数最小,结合能最小,但其

比结合能却最大,选项B正确, C 错误;铀233发生裂变

反应释放的能量等于生成物的结合能减去反应物的结合

能,选项D错误。

6. A 解析:根据质量数守恒和电荷数守恒可知, X 的质量

数为7,电荷数为3,则原子核X是 ${}^7_3\text{Li}$ , A 正确, C 错误;

由选项A可知,原子核X是 ${}^7_3\text{Li}$ ,则核反应方程为

${}^7_4\text{Be} + {}^0_{-1}\text{e} \longrightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^0_0\nu_e$ ,则反应前的总质子数为4,反应

后的总质子数为3, B 错误;中微子不带电,则中微子 $\nu_e$

的电荷量与电子的不相同, D 错误。

7. 解析:(1)根据质量数守恒和电荷数守恒得衰变方程为

${}^{238}_{94}\text{Pu} \longrightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$ 。

(2)在第一个88年内 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 释放的能量为

$\Delta E = \frac{Pt}{\eta}$

则 $\Delta E = \frac{10 \times 88 \times 3.2 \times 10^7}{10\%} \text{ J} \approx 3 \times 10^{11} \text{ J}$

由爱因斯坦质能方程得 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$

则 $\Delta m = \frac{3 \times 10^{11}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 3 \times 10^{-6} \text{ kg}$ 。

答案:(1) ${}^{238}_{94}\text{Pu} \longrightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$  (2) $3 \times 10^{11} \text{ J}$   $3 \times 10^{-6} \text{ kg}$

8. 解析:(1)根据质量数和电荷数守恒可得该核反应方程为

${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$ 。

(2)聚变过程释放出的能量

$\Delta E = E_2 - E_1 = 4 \times 7.03 \text{ MeV} - (2 \times 1.09 + 3 \times 2.78) \text{ MeV} = 17.6 \text{ MeV}$ 。

(3)假设只有两个核参与碰撞,氦核( $3m$ )和氦核( $2m$ )以

相同大小的速度 $v$ 发生一维弹性正碰,为完全非弹性碰

撞,根据动量守恒定律可知

$3mv - 2mv = (3m + 2m)v'$

根据能量守恒定律得

$-W = \frac{1}{2}(2m + 3m)v'^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot 2mv^2 + \frac{1}{2} \cdot 3mv^2\right)$

解得 $v = \sqrt{\frac{5W}{12m}}$ 。

答案:(1) ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

(2)17.6 MeV (3) $\sqrt{\frac{5W}{12m}}$

9. 解析:(1)静止的 ${}^{14}_6\text{C}$ 原子核衰变过程满足质量数、电荷数

守恒,动量守恒,所以放出的带电粒子与新核的动量大小

相等,方向相反,由于新核的质量大于放出的带电粒子的

质量,因此新核的速度小于放出的带电粒子的速度,由图

可知,新核与带电粒子所受电场力方向相同,所以 ${}^{14}_6\text{C}$ 原

子核发生 $\alpha$ 衰变,且 $v_2$ 为新核的速度, $v_1$ 为带电粒子的

速度,衰变方程为 ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{10}_4\text{X} + {}^4_2\text{He}$

根据运动学公式,有

$$a = v_1 t, b = v_2 t$$

$$\text{所以 } \frac{a}{b} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{m_X}{m_\alpha} = \frac{10}{4} = \frac{5}{2}.$$

$$(2) \text{ 根据动能与动量的关系 } E = \frac{p^2}{2m}$$

所以新核的动能与  $\alpha$  粒子的动能之比为

$$\frac{E}{E_\alpha} = \frac{m_\alpha}{m_X} = \frac{2}{5}$$

$$\text{即 } E_\alpha = \frac{5}{2} E$$

根据题意有  $E + E_\alpha = \Delta mc^2$

$$\text{所以 } \Delta m = \frac{7E}{2c^2}.$$

$$\text{答案: } (1) {}^1_6\text{C} \longrightarrow {}^{10}_4\text{X} + {}^4_2\text{He} \quad \frac{5}{2} \quad (2) \frac{7E}{2c^2}$$

## 第六章 波粒二象性

### 1 量子论初步

#### 问题式预习

知识点一

1.电磁波 温度 2.电磁波 绝对黑体

3.辐射 黑体辐射 4.体积 波长

5.(1)温度 (2)增加 较短

[科学思维]

提示:热辐射不一定需要高温,任何物体在任何温度下都会产生热辐射。当物体温度较低时,大部分物体辐射不可见的红外线,不能引起人的视觉效应,但仍产生热辐射。

[判一判]

1.× 2.√ 3.√

知识点二

1.整数倍 量子 2.频率 普朗克常量

3.量子论

[做一做]

D 解析:物体的质量、动量及导体中的电流的数值均可以取小数或分数,甚至可以取无理数(可取数轴上的任意值),因而是连续的,非量子化的,故 A、B、C 错误;东北虎的只数只能取正整数,不能取分数或小数,因而是连续的,是量子化的,故 D 正确。

#### 任务型课堂

任务一

#### 【探究活动】

提示:(1)不一定。任何温度的物体都能发出一定的热辐射,只是温度低时辐射弱,温度高时辐射强。

(2)不同物体辐射的电磁波的波长不同,只有波长在某个范围内的电磁波才能引起人的视觉效应。

(3)温度一定时,黑体辐射强度随波长的分布有一个极大值。随着温度的升高,各种波长的辐射强度都增大,辐射强度的极大值向波长较短的方向移动。

#### 【评价活动】

1.AD 解析:根据热辐射的定义知,A 正确;根据热辐射和黑体辐射的特点可知,一般物体辐射电磁波的情况除与温度有关外,还与材料种类和表面状况有关,而黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体温度有关,B、C 错误,D 正确。

2.BCD 解析:在同一温度下,辐射强度最大的电磁波的波长不是最大的,也不是最小的,而是处在最大波长与最小波长之间,A 错误,B 正确;黑体辐射的强度与温度有关,温度越高,黑体辐射的强度越大,辐射强度的极大值也就越大,C 正确;随着温度的升高,黑体辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,D 正确。

3.D 解析:由题图可知,对同一物体,温度升高,一方面各种波长的辐射强度都增加,另一方面辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,波长范围变大,故 A、B、C 错误,D 正确。

4.ACD 解析:由题图可知,随温度的升高,各种波长的辐射能谱密度都有所增加,且辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,当温度降低时,上述变化都将反过来,故 A、C、D 正确,B 错误。

#### 任务二

1.AD 解析:普朗克的理论认为带电微粒辐射或吸收能量时,是一份一份的,微观粒子的能量是量子化的,是分立的,是不连续的,故 A、D 正确。

2.C 解析:由  $\epsilon = h\nu$  可知,能量子与电磁波的频率成正比,故 A 错误;由  $\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  可知,电磁波波长越长,其能量子越小,故 B 错误;普朗克提出了量子假设,他认为,物质辐射(或吸收)的能量都是不连续的,是一份一份进行的,故 C 正确;量子假设是由普朗克最早提出来的,故 D 错误。

3.C 解析:根据题意可知,辐射出的光子能量  $\epsilon = 3.52 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,由  $\epsilon = h\nu$  代入数据解得  $\nu \approx 5.31 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ,C 正确。

4.解析:可见光光子的平均能量  $\epsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$

进入人眼的光子数至少为  $n = \frac{E}{\epsilon}$

代入数据解得  $n \approx 3$  个。

答案:3 个

## 2 光电效应

### 问题式预习

#### 知识点一

1. 电子 光电效应 2. 光电子

3. (1) 最小 (2) 饱和 (3) 频率 强度

#### [科学思维]

提示: 不相等。同样强度的红光和紫光  $n_1 h\nu_1 = n_2 h\nu_2$ , 红光的频率  $\nu_1$  小于紫光的频率  $\nu_2$ , 所以红光的光子数  $n_1$  大于紫光的光子数  $n_2$ 。

#### [判一判]

1. × 2. √ 3. √

#### 知识点二

1. 能量子 频率

3. (1)  $\frac{1}{2}mv_m^2 + W$  (2)  $\frac{W}{h}$  (3) 增多 光电子 (4) 电子

#### [做一做]

ACD 解析: 金属的逸出功是金属自身的固有属性, 所以无论增大入射光的频率还是增大入射光的强度, 金属的逸出功都不变, 故 A 正确; 根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知, 光电子的最大初动能由入射光的频率和金属的逸出功共同决定, 因此增大入射光的频率, 光电子的最大初动能将增大, 只增大入射光的强度, 相当于增加单位时间内入射光的光子数目, 光子的频率并没有改变, 逸出功也不会改变, 最大初动能不变, 故 B 错误, C 正确; 光的强弱不影响光电子的能量, 只影响单位时间内发出光电子的数目, 只增大入射光的强度, 单位时间内逸出的光电子数目将增多, 故 D 正确。

#### 知识点三

2. (1) 能量 动量 减小 增大 3. 动量

#### [科学思维]

提示: 光电效应常用于电子吸收光子的问题, 而康普顿效应常用于讨论光子与电子碰撞且没有被电子吸收的问题。

### 任务型课堂

#### 任务一

#### 【探究活动】

提示: (1) 偏角减小。

(2) 指针不偏转。

#### 【评价活动】

1. A 解析: 当光子的能量大于金属的逸出功时就能发生光电效应, 可知用能量为 2.20 eV 的光子分别照射到四种金属表面上, 会发生光电效应的金属是铷。故选 A。

2. BC 解析: 按照爱因斯坦的光子说, 光子的能量由光的频率决定, 与光强无关, 入射光的频率越高, 发生光电效

应时产生的光电子的最大初动能越大; 但要使电子离开金属, 电子必须具有足够的动能, 而电子增加的动能只能来源于照射光的光子能量, 且一个电子只能吸收一个光子, 不能同时吸收多个光子, 所以光子的能量小于某一数值时便不能产生光电效应现象; 电子逸出时只有从金属表面向外逸出时克服原子核的引力所做的功才最小。综上所述, 选项 B、C 正确。

3. A 解析: 因紫外线的频率比可见光的频率高, 所以用紫外线照射时, 电流表中一定有电流通过, 选项 A 正确; 因不知阴极 K 的截止频率, 所以用红光或红外线照射时, 可能不会发生光电效应, 选项 B、C 错误; 用频率为  $\nu$  的可见光照射 K 时, 即使  $U_{AK} = 0$ , 电流表中也可能有电流通过, 选项 D 错误。

4. D 解析: 由题图可得, 乙光照射光电管时截止电压大, 逸出的光电子的最大初动能大, 所以乙光的频率大, 光子的能量大。甲光的饱和光电流大于乙光的饱和光电流, 故甲光的光强大于乙光的光强, A、B 错误。若使乙光的强度减半, 则只是乙光的饱和光电流减半, 在特定的电压下, 乙光产生的光电流不一定比甲光产生的光电流小, C 错误。因乙光的频率大于甲光的, 故另一个光电管加一定的正向电压, 如果甲光能使该光电管产生光电流, 则乙光一定能使该光电管产生光电流, D 正确。

#### 任务二

#### 【探究活动】

提示: (1) 因为可见光的波长只小于铯的极限波长, 所以光电管阴极 K 上应涂有金属铯。

(2) 夜晚没有光, 不能发生光电效应, 但是要使指示灯亮, 可知开关 S 与 b 端相连。

#### 【评价活动】

1. ABC 解析: 根据  $E_k = h\nu - W_0$  得, 纵坐标截距的绝对值等于金属的逸出功  $W_0$ , 由逸出功  $W_0 = h\nu_c$  知,  $h = \frac{W_0}{\nu_c}$ , B、C 正确; 当最大初动能等于 0 时, 入射光的频率等于极限频率, 再由  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , 可求得极限波长, A 正确; 单位时间内逸出的光电子数与入射光的强度有关, 无法求出, D 错误。

2. B 解析: 根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知,  $E_k - \nu$  图线的斜率代表了普朗克常量  $h$ , 因此铷和锌的  $E_k - \nu$  图线应该平行, C、D 错误; 图线的横轴截距代表了截止频率  $\nu_c$ , 而  $\nu_c = \frac{W_0}{h}$ , 因此铷的  $\nu_c$  大, B 正确, A 错误。

3. BD 解析:金属的逸出功是金属本身的特性,与照射光的强度无关,A 错误;根据  $\epsilon=h\nu$  可知,X 光的光子能量与其强度无关,B 正确;根据爱因斯坦光电效应方程  $E_k=h\nu-W_0$ ,结合 A、B 项分析可知,逸出的光电子最大初动能与照射光的强度无关,C 错误;若增加此 X 光的强度,则单位时间入射到金属表面的光子数增多,单位时间逸出的光电子数增多,D 正确。

4. 解析:(1)在光电效应中,电子向 A 极运动,故电极 A 为光电管的阳极。

(2)由题图乙可知,铷的截止频率  $\nu_c=5.15\times 10^{14}$  Hz,逸出功  $W_0=h\nu_c=6.63\times 10^{-34}\times 5.15\times 10^{14}$  J $\approx 3.41\times 10^{-19}$  J。

(3)当入射光的频率为  $\nu=7.00\times 10^{14}$  Hz 时,由  $E_k=h\nu-h\nu_c$  得,光电子的最大初动能为

$$E_k=6.63\times 10^{-34}\times (7.00-5.15)\times 10^{14}$$
 J $\approx 1.23\times 10^{-19}$  J。

答案:(1)阳极 (2) $5.15\times 10^{14}$  ( $5.12\times 10^{14}\sim 5.18\times 10^{14}$  均正确)  $3.41\times 10^{-19}$  ( $3.39\times 10^{-19}\sim 3.43\times 10^{-19}$  均正确)

(3) $1.23\times 10^{-19}$  ( $1.21\times 10^{-19}\sim 1.25\times 10^{-19}$  均正确)

### 任务三

#### 【探究活动】

提示:可能沿 1 方向,波长变长。

#### 【评价活动】

C 解析:能量守恒和动量守恒是自然界的普遍规律,适用于宏观世界,也适用于微观世界,光子与电子碰撞时遵循这两个守恒定律。光子与电子碰撞前光子的能量  $\epsilon=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$ ,当光子与电子碰撞时,光子的一些能量转移给了电子,光子的能量  $\epsilon'=h\nu'=h\frac{c}{\lambda'}$ ,由  $\epsilon>\epsilon'$ ,可知  $\lambda<\lambda'$ ,选项 C 正确。

## 3 波粒二象性

### 问题式预习

#### 知识点一

1.干涉 衍射 光电效应 康普顿效应

2.波动 粒子 波粒二象

3. $h\nu$   $\frac{h}{\lambda}$  能量  $\epsilon$  动量  $p$  波长  $\lambda$  频率  $\nu$

#### 【判一判】

1.× 2.× 3.√

#### 知识点二

1.(1)光子 物质波 (2) $\frac{h}{p}$   $\frac{\epsilon}{h}$

2.(1)干涉 (2)电子束 电子 电子 (3)干涉

3.(1)概率 (2)大

#### 【科学思维】

提示:因波长很短,只有利用金属晶格中的狭缝才能观察到电子的衍射图样。

#### 【判一判】

1.× 2.× 3.× 4.×

### 任务型课堂

#### 任务一

1. BC 解析:光电效应表明光具有粒子性,A 错误;康普顿散射现象说明光子具有动量,即具有粒子性,B 正确;干涉和衍射现象都是波特有的现象,故光的干涉和衍射现象表明光具有波动性,C 正确,D 错误。

2. D 解析:光是一种波,同时也是一种粒子,光具有波粒二象性,当光和物质作用时,是“一份一份”的,表现出粒子性;单个光子通过双缝后在空间各点出现的可能性可以用波动规律描述,表现出波动性。粒子性和波动性是光子本身的一种属性,光子说并未否定电磁说。

3. C 解析:一切光都具有波粒二象性,光的有些行为(如干涉、衍射)表现出波动性,有些行为(如光电效应)表现出粒子性,所以不能说有的光是波,有的光是粒子,故 A 错误。虽然光子与电子都是微观粒子,都具有波粒二象性,但电子是实物粒子,有静止质量,光子不是实物粒子,没有静止质量,电子是以实物形式存在的物质,光子是以场的形式存在的物质,所以说光子与电子是同一种粒子,故 B 错误。光的波粒二象性的理论和实验表明,大量光子的行为表现出波动性,个别光子的行为表现出粒子性。光的波长越长,衍射性越好,即波动性越显著,光的波长越短,其光子能量越大,粒子性就越显著,故 C 正确,D 错误。

4. A 解析:伽马光子的能量为  $E=1.4\times 10^{15}\times 1.6\times 10^{-19}$  J= $2.24\times 10^{-4}$  J,根据  $E=mc^2$ ,可得该光子动量为  $p=\frac{E}{c}$

$$=\frac{2.24\times 10^{-4}}{3\times 10^8}$$
 kg·m/s $\approx 7\times 10^{-13}$  kg·m/s,故选 A。

#### 任务二

#### 【探究活动】

提示:(1)由  $\lambda=\frac{h}{p}$  和  $p=\sqrt{2mE_k}=\sqrt{2meU}$ ,得  $\lambda=$

$$\frac{h}{\sqrt{2meU}}$$
。

(2)电压增大,电子的波长变小,衍射现象变得越不明显。

## 【评价活动】

1. AB 解析: 光电效应表明光具有“一份一份”的能量, 康普顿效应说明光具有动量, 均能说明光具有粒子性, A 正确; 电子束射到晶体上产生的衍射图样说明实物粒子具有波动性, B 正确; 动量  $p = \sqrt{2mE_k}$ , 因为质子与电子的质量不同, 所以动能相等的质子与电子的动量是不同的, 根据德布罗意波长公式  $\lambda = \frac{h}{p}$  可知, 它们的德布罗意波长不相等, C 错误; 因为电磁波的频率越低, 能量值越小, 波长越长, 而频率越高, 能量值越大, 波长越短, 所以低频电磁波的波动性显著, 高频电磁波的粒子性显著, D 错误。

2. ABC 解析: 德布罗意在爱因斯坦光子说的基础上提出物质波的概念, 认为一切运动的物体都具有波粒二象性, 故 A 正确, D 错误; 运动的微观粒子与光子一样, 当它们通过一个小孔时, 都没有特定的运动轨道, 故 B 正确; 波动性和粒子性, 在宏观现象中是矛盾的、对立的, 但在微观现象中是统一的, 故 C 正确。

3. B 解析: 康普顿效应说明光具有粒子性, A 错误; 普朗克提出能量是量子化的, B 正确; 大量光子表现出波动性, 少量光子表现为粒子性, 光的波长越长, 波动性越强, 光的波长越短, 粒子性越强, C 错误; 爱因斯坦提出光电效应方程, 并以此支持了光的粒子说, D 错误。

4. C 解析: 该实验观测到电子有衍射现象, 表明电子具有波动性, A 错误; 根据“概率波”特点可知, 图中亮纹处电子出现的概率大, 亮纹并非电子运动的轨迹, B 错误, C 正确; 根据物质波的表达式有  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ , 可知电子的速度越大, 其物质波波长越短, 衍射现象越不明显, 则中心亮斑的半径越小, D 错误。

### 任务三

## 【探究活动】

提示: (1) 证明了电子的波动性。

(2) 证明了电子的波动性。

## 【评价活动】

1. AC 解析: 根据  $c = \lambda\nu$ ,  $\epsilon = h\nu$ ,  $\lambda = \frac{h}{p}$ , 联立可解得光的速度为  $c = \frac{\epsilon\lambda}{h}$  或  $c = \frac{\epsilon}{p}$ 。

2. D 解析: 离子加速后的动能  $E_k = qU$ ; 离子的德布罗意波波长  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} = \frac{h}{\sqrt{2mqU}}$ , 所以  $\frac{\lambda_{H^+}}{\lambda_{Ca^{2+}}} = \sqrt{\frac{m_{Ca^{2+}} q_{Ca^{2+}}}{m_{H^+} q_{H^+}}} = \sqrt{\frac{40 \times 2}{1 \times 1}} = \frac{4\sqrt{5}}{1}$ , 故选 D。

3. C 解析: 光子能量公式为  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ , 解得波长  $\lambda = \frac{hc}{E}$ , 故 A 错误; 原子吸收光子后, 能量增加了  $E$ , 根据质能方程  $\Delta m = \frac{E}{c^2}$ , 质量应增加而非减少, 故 B 错误; 德布罗意波长公式为  $\lambda = \frac{h}{p}$ , 题目明确吸收光子后原子动量变为  $p$ , 因此波长变为  $\frac{h}{p}$ , 故 C 正确; 吸收光子跃迁需光子能量严格等于能级差, 波长更长的光子能量更低 ( $E' = \frac{hc}{\lambda'} < E$ ), 无法满足跃迁条件, 故 D 错误。

4. 解析: 中子的动量为  $p_1 = m_1 v$   
子弹的动量为  $p_2 = m_2 v$   
根据  $\lambda = \frac{h}{p}$  知中子和子弹的德布罗意波长分别为

$$\lambda_1 = \frac{h}{p_1}, \lambda_2 = \frac{h}{p_2}$$

$$\text{联立以上各式得 } \lambda_1 = \frac{h}{m_1 v}, \lambda_2 = \frac{h}{m_2 v}$$

代入数据解得  $\lambda_1 \approx 4.0 \times 10^{-10} \text{ m}$ ,  $\lambda_2 = 6.63 \times 10^{-35} \text{ m}$ 。

答案:  $4.0 \times 10^{-10} \text{ m}$   $6.63 \times 10^{-35} \text{ m}$

5. 解析: 电子加速后的动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = eU$

$$\text{电子的动量 } p = mv = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2meU}$$

$$\text{由 } \lambda = \frac{h}{p} \text{ 知, } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}}$$

代入数据得  $\lambda \approx 1.23 \times 10^{-11} \text{ m}$ 。

答案:  $1.23 \times 10^{-11} \text{ m}$

## 单元活动 6

### 【任务引导】

#### 任务一

提示: (1) 当开关 S 扳向 1 时, 光电子在光电管中加速, 所加的电压是正向电压, 因此测得的数据描绘的图线是题图乙中纵轴右侧的图线。

(2) a 光和 c 光对应的截止电压相等, 且小于 b 光对应的截止电压, 说明 a 光和 c 光的频率相等, 且小于 b 光的频率。

(3) a 光和 c 光的饱和光电流不相同, 说明光照强度不同, a 光的光照强度大于 c 光的光照强度。

#### 任务二

提示: (1) 光子数  $N = C_4^2 = 6$  种。

(2) 处于  $n=4$  的氢原子向低能级跃迁时放出光子的最大能量为  $\Delta E = E_4 - E_1 = [-0.85 - (-13.6)] \text{ eV} = 12.75 \text{ eV}$ , 由光电效应方程知  $E_{k\max} = h\nu - W_0 = (12.75 - 4.54) \text{ eV} = 8.21 \text{ eV}$ 。

## 【活动达标】

1.B 解析:根据  $E_{k\max} = h\nu - W_0$  得,纵轴截距的绝对值等于金属的逸出功,等于  $b$ 。当最大初动能为零时,入射光的频率等于截止频率,所以金属的截止频率为  $\nu_0 = a$ ,那么普朗克常量为  $h = \frac{b}{a}$ ,A 错误。开关 S 断开后,光电管两端的电压变为零,但因光电效应现象中光电子存在初动能,光电子仍可到达阳极形成光电流,因此电流表 G 的示数不为零,B 正确。根据光电效应方程可知,入射光的频率与最大初动能有关,与光的强度无关,C 错误。仅增加照射光的强度,则光子数目增加,那么电流表 G 的示数变大,D 错误。

2.D 解析:根据爱因斯坦光电效应方程可知,  $E_k = h\nu - W_0$ , 光电子的最大初动能与入射光的强度无关,与入射光的频率有关,随着入射光频率的增大,光电子的最大初动能增大,故 A、B 错误;根据爱因斯坦光电效应方程可知,  $E_k = h\nu - W_0 = eU_c$ , 而  $W_0 = h\nu_c$ , 解得  $U_c = \frac{h\nu}{e} - \frac{h\nu_c}{e}$ , 图线的斜率  $\frac{h}{e} = \frac{U_1}{\nu_1 - \nu_c}$ , 普朗克常量  $h = \frac{eU_1}{\nu_1 - \nu_c}$ , 图像的横轴截距为金属钾的截止频率,即  $\nu_c$ , 故 C 错误,D 正确。

3.B 解析:根据爱因斯坦光电效应方程可知,  $E_k = h\nu - W_0$ , 根据动能定理可知,  $eU_c = E_k$ , 入射光的频率越高,对应的截止电压  $U_c$  越大,分析图像可知,  $a$ 、 $c$  光的截止电压比  $b$  光小,则  $a$ 、 $c$  光的频率小于  $b$  光,故 A 错误;分析图像可知,  $a$  光和  $c$  光的截止电压相等,则频率相等,  $a$  光与  $c$  光为同种色光,  $a$  光的饱和光电流大,则  $a$  光内含有的光子个数多,即  $a$  光的光强大于  $c$  光,故 B 正确;  $a$  光的截止电压小于  $b$  光的截止电压,则  $a$  光的频率小于  $b$  光的频率,根据频率和波长的关系可知,  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , 则  $b$  光的波长小于  $a$  光的波长,故 C 错误;  $a$  光的截止电压等于  $c$  光的截止电压,由  $E_k = eU_c$  可知,  $a$  光产生的光电子的最大初动能等于  $c$  光产生的光电子的最大初动能,但并不是逸出光电子的初动能都相等,故 D 错误。

4.C 解析:氢原子由高能级向低能级跃迁时,从  $n=4$  能级跃迁到  $n=2$  能级所放出的光子恰能使某种金属发生光电效应;而从  $n=4$  向低能级跃迁时能辐射的不同频率的光子数为  $C_4^2 = 6$ , 其中从  $4 \rightarrow 1$ 、 $3 \rightarrow 1$ 、 $2 \rightarrow 1$ 、 $4 \rightarrow 2$ , 能级差大于或等于从  $n=4$  到  $n=2$  的能级差,则有 4 种光子

能使该金属发生光电效应。

5.B 解析:某频率的光不能使乙金属发生光电效应,说明此光的频率小于乙金属的截止频率,则换用频率更小的光不能使乙金属发生光电效应,A 错误;由光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知,频率越大最大初动能越大,换用频率更小的光最大初动能应小于  $E_k$ , B 正确;频率不变,仍小于乙金属的截止频率,不会使乙发生光电效应(光照强度只影响光电子数量),C 错误;由  $E_k = h\nu - W_0$  可知,频率不变最大初动能不变,D 错误。

6.ABD 解析:根据  $C_4^2 = 6$  可知,大量处于  $n=4$  能级的氢原子跃迁到基态的过程中最多可释放出 6 种频率的光子,A 正确。由  $E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = pc$  得,  $p = \frac{E_2 - E_1}{c} = \frac{(-3.4 + 13.6) \times 1.6 \times 10^{-19}}{3 \times 10^8} \text{ kg} \cdot \text{m/s} \approx 5.44 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ , B 正确。从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级过程中辐射出的光子能量为  $\Delta E = (3.4 - 1.51) \text{ eV} = 1.89 \text{ eV}$ , 而金属铯的逸出功为  $1.88 \text{ eV}$ , 符合光电效应发生条件,C 错误。根据辐射的光子能量等于两能级间的能级差,可知  $n=2$  能级的氢原子跃迁到基态过程中发出的光子能量为  $\Delta E' = (13.6 - 3.4) \text{ eV} = 10.2 \text{ eV}$ , 再根据  $E_{km} = h\nu - W_0$ , 则产生的光电子最大初动能为  $E_{km} = (10.2 - 1.88) \text{ eV} = 8.32 \text{ eV}$ , D 正确。

7.A 解析:根据题图甲可知  $H_\alpha$  谱线对应的光波长最长,  $H_\delta$  谱线对应的光波长最短,根据  $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$  可知,  $H_\alpha$  谱线对应光子的能量最小,  $H_\delta$  谱线对应的光子能量最大。代入四条可见光谱线的波长,得到四种光的光子能量分别为  $E_\alpha = 1.89 \text{ eV}$ ,  $E_\beta = 2.55 \text{ eV}$ ,  $E_\gamma = 2.86 \text{ eV}$ ,  $E_\delta = 3.02 \text{ eV}$ , 此能量恰好与氢原子分别从  $n=3$ ,  $n=4$ ,  $n=5$ ,  $n=6$  能级跃迁到  $n=2$  能级对应的能量相符。发生光电效应为光子能量大于金属的逸出功。根据上述结果可知用  $H_\beta$  光照射时可以让表中钾和铷两种金属发生光电效应,故 A 正确;根据上述解析可知  $H_\alpha$  谱线对应光子的能量小于  $H_\beta$  谱线对应光子的能量,故 B 错误;  $H_\alpha$  谱线对应的光子是氢原子从  $n=3$  能级向  $n=2$  能级跃迁发出的,故 C 错误;氢原子从  $n=2$  能级向  $n=1$  能级跃迁时发出的光,能量为  $10.2 \text{ eV}$ , 此能量高于可见光的能量范围,所以此光属于紫外线,故 D 错误。

## 课后素养评价(一)

1.B 解析:根据对分子的研究可知,除了一些有机物质的大分子外,多数分子大小的数量级为  $10^{-9}$  m,故选 B。

2.C 解析:根据国际基本单位换算,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ , C 正确。

3.B 解析:每个分子的质量是  $\frac{M}{N_A}$ ; 摩尔体积  $V_{\text{mol}} = \frac{M}{\rho}$ , 每

$$\text{个分子的体积 } V_0 = \frac{\rho}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}, \text{ 球形体积 } V_0 = \frac{4}{3} \pi R^3 =$$

$$\frac{\pi D^3}{6}, \text{ 所以分子的直径 } D = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}, \text{ 故 A、C、D 错误, B}$$

正确。

4.B 解析:由气体分子的立方体模型得  $d = \sqrt[3]{V_0} =$

$$\sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}。 \text{ 知道阿伏伽德罗常量、气体摩尔质量和质量,}$$

可以求出分子质量,但求不出分子所占体积,求不出分子间的平均距离, A 错误;已知气体的密度,可以求出单位体积气体的质量,知道气体摩尔质量可以求出单位体积气体物质的量,知道阿伏伽德罗常量可以求出单位体积分子个数,可以求出分子所占体积,可以进一步求出分子间的平均距离, B 正确;知道阿伏伽德罗常量、气体质量与体积,可以求出气体的密度,但求不出气体分子所占体积,也求不出气体分子间的平均距离, C 错误;知道该气体的密度、体积和摩尔质量,可以求出该体积气体物质的量,但求不出气体分子所占体积,也求不出分子间的平均距离, D 错误。

5.A 解析:用手捏面包,面包体积减小,是因为面包本身内部有空隙,而不能说明分子间有间隙,故 A 错误,符合题意;水和酒精混合后的总体积变小,说明分子间存在间隙,故 B 正确,不符合题意;高压密闭钢管内的油从管壁渗出,说明分子间存在间隙,故 C 正确,不符合题意;气体分子间有大量的间隙,很容易被压缩,故 D 正确,不符合题意。本题选择不能说明分子间有间隙的,故选 A。

6.B 解析:半径为 1 nm 的球体体积为  $\frac{4}{3} \pi \times (1 \text{ nm})^3 =$

$$\frac{4}{3} \pi \times 10^{-27} \text{ m}^3, \text{ 氢分子体积与直径的立方成正比,直径}$$

$d = 10^{-10} \text{ m}$ , 所以氢分子体积数量级为  $10^{-30} \text{ m}^3$ , 二者相除得到  $10^3$ , 故 B 正确, A、C、D 错误。

7.ABD 解析:每个分子的质量等于摩尔质量与阿伏伽德罗常量之比,两个量都已知,故能求出, A 正确;将气体分子占据的空间看成立方体,而且这些空间一个挨一个紧

密排列,则每个分子占据的空间等于摩尔体积与阿伏伽德罗常量之比, B 正确;由于气体分子间的距离较大,气体的体积远大于气体分子体积之和,所以不能求出这种气体每个分子的体积, C 错误;由 B 中模型可知,立方体的边长等于分子间的平均距离,设为  $d$ , 则  $V = d^3$ , 可知这种气体分子间的平均距离  $d$  能求出, D 正确。

8.BCD 解析:大气压强由大气的重力产生,即  $mg = p_0 S = p_0 \cdot 4\pi R^2 = 4\pi R^2 p_0$ , 则地球大气层空气分子总数为  $N = \frac{m}{M} N_A = \frac{4\pi R^2 p_0 N_A}{Mg}$ , 故 A 错误, B 正确;大气层的体

$$\text{积为 } V = 4\pi R^2 h, \text{ 每个空气分子所占空间为 } V_0 = \frac{V}{N} =$$

$$\frac{Mgh}{p_0 N_A}, \text{ 故 C 正确;气体分子之间的距离为 } d = \sqrt[3]{\frac{V}{N}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{Mgh}{p_0 N_A}}, \text{ 故 D 正确。}$$

9.解析:(1)食盐晶体的摩尔体积  $V_{\text{mol}} = \frac{M}{\rho}$ 。

$$(2) \text{ 相邻离子组成正立方体体积 } V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{2N_A}, \text{ 则相邻的钠}$$

$$\text{离子与氯离子之间的平均距离 } D = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}。$$

$$\text{答案: (1) } \frac{M}{\rho} \quad (2) \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}$$

10.解析:根据题意,一个铁原子的体积  $V = \frac{M}{\rho N_A}$ , 将铁原子

$$\text{看作球形,因此铁原子的直径为 } D = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}, \text{ 围栏中}$$

$$\text{相邻铁原子的平均间隙 } l = \frac{2\pi r}{n} - D, \text{ 解得 } l \approx 6.5 \times 10^{-10} \text{ m}。$$

$$\text{答案: } 6.5 \times 10^{-10} \text{ m}$$

11.解析:(1)对气体分子来说,由于分子不是紧密排列的,分子的体积远小于它所占有的空间的体积,因此分子所占有的空间的体积通常以立方体模型来计算。气体分子

$$\text{子间的距离 } L = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{mol}}}{N_A}} = \sqrt[3]{\frac{22.4 \times 10^{-3}}{6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 3 \times 10^{-9} \text{ m}。$$

(2)固体和液体的分子可以认为是紧密排列的,通常把分子看作球体,则分子体积为摩尔体积除以阿伏伽德罗常量,即

$$V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}, \text{ 设分子直径为 } d, \text{ 球体体积公式 } V_0 =$$

$$\frac{1}{6} \pi d^3, \text{ 所以 } d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}} = \sqrt[3]{\frac{6 \times 18 \times 10^{-3}}{3.14 \times 1.0 \times 10^3 \times 6.02 \times 10^{23}}} \text{ m} \approx 4 \times 10^{-10} \text{ m}。$$

答案:(1) $3 \times 10^{-9}$  m (2) $4 \times 10^{-10}$  m

## 课后素养评价(二)

1.C 解析:根据  $d = \frac{V}{S}$  可知,C 正确,A、B、D 错误。

2.ABD 解析:实验中油酸的直径是用油酸的体积除以油膜的面积来计算的,所以实验的科学依据是将油膜看成一层单分子油膜,不考虑油酸分子间的间隙,并把油酸分子看成球形,所以 A、B、D 正确,C 错误。

3.D 解析:油酸分子可视为球形,油膜的厚度可看成分子直径,油酸分子可看成一个挨一个紧密排列,油滴扩展为油膜时体积不变,即  $V = Sd$ ,这些都是用油膜法估测分子直径的实验基础;油酸分子直径的数量级是  $10^{-10}$  m。故选 D。

4.解析:(1)该实验中一滴油酸酒精溶液含纯油酸的体积为

$$V = \frac{1}{250} \times \frac{1}{20} \text{ mL} = 2 \times 10^{-4} \text{ mL}.$$

(2)油膜的面积约为  $S = 55 \times 1^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 5.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ,

油酸分子直径约为  $d = \frac{V}{S} = \frac{2 \times 10^{-4} \times 10^{-6}}{5.5 \times 10^{-3}} \text{ m} \approx 3.6 \times 10^{-8} \text{ m}$ ,故油酸分子直径的数量级约为  $10^{-8}$  m。

(3)若该同学在计算油酸薄膜面积时,对不完整的方格均不计数,则测得的油膜面积偏小,由此估算得到的油酸分子直径数量级将偏大。

(4)已知油酸分子的直径数量级为  $10^{-10}$  m,实验结果产生偏差的原因可能是:油膜没有完全展开,形成的不是单分子油膜层。

(5)设一个油酸分子的体积为  $V_1$ ,则  $V_1 = \frac{1}{6} \pi d^3$ ,由

$N_A = \frac{V \text{ mol}}{V_1}$  可知,测定阿伏伽德罗常量还需要知道油酸的摩尔体积。

答案:(1) $2 \times 10^{-4}$  (2) $10^{-8}$  m (3)偏大 (4)油膜没有完全展开,形成的不是单分子油膜层 (5)B

5.(1) $\frac{a}{bSn}$  (2)B

6.C 解析:通过“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验可推测油酸分子的直径约为  $10^{-10}$  m 或  $10^{-9}$  m,故选 C。

7.解析:(1)油酸分子的直径  $d = \frac{V}{S}$ ,计算结果明显偏大,可能是  $V$  取大了或  $S$  取小了。油酸未完全散开,所测  $S$  偏小, $d$  偏大,A 项正确;油酸中含有大量的酒精,不影响结果,B 项错误;若计算面积时舍去了所有不足一格的方

格,会使  $S$  偏小, $d$  偏大,C 项正确;求每滴溶液的体积时,1 mL 溶液的滴数多记了 10 滴,使  $V$  偏小, $d$  偏小,D 项错误。

(2)①数出在油膜轮廓内的方格数(面积大于半个方格的算一个,不足半个的舍去不算)为 58 个,油膜面积约为  $S = 58 \times (20 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 2.32 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

②因为 50 滴油酸酒精溶液的体积为 1 mL,且溶液含纯油酸的浓度为  $\frac{6}{1 \times 10^4} = 0.06\%$ ,所以每滴油酸酒精溶液含纯油酸的体积为  $V_0 = \frac{V}{N} \times 0.06\% = \frac{1}{50} \times 0.06\% \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3$ 。

③把油酸薄膜的厚度视为油酸分子的直径,可估算出油酸分子的直径为  $d = \frac{V_0}{S} = \frac{1.2 \times 10^{-11}}{2.32 \times 10^{-2}} \text{ m} \approx 5.2 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

答案:(1)AC (2)①  $2.32 \times 10^{-2} \text{ m}^2$  ( $2.24 \times 10^{-2} \sim 2.40 \times 10^{-2} \text{ m}^2$  均可) ②  $1.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3$  ③  $5.2 \times 10^{-10} \text{ m}$  ( $5.0 \times 10^{-10} \sim 5.4 \times 10^{-10} \text{ m}$  均可)

8.解析:(1)数出在油膜范围内的方格数(面积大于半个方格的算一个,不足半个的舍去不算)为 57 个,则油膜面积约为  $S = 57 \times (30 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 5.13 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

(2)因 50 滴油酸酒精溶液的体积为 1 mL,且溶液含纯油酸的浓度为 0.06%,故每滴油酸酒精溶液含纯油酸的体积为  $V_0 = \frac{V}{N} \times 0.06\% = \frac{1 \times 10^{-6}}{50} \times 0.06\% \text{ m}^3 = 1.2 \times 10^{-11} \text{ m}^3$ 。

(3)把油膜的厚度视为油酸分子的直径,可估算出油酸分子的直径为  $d = \frac{V_0}{S} = \frac{1.2 \times 10^{-11}}{5.13 \times 10^{-2}} \text{ m} \approx 2.3 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

答案:(1) $5.13 \times 10^{-2}$  (2) $1.2 \times 10^{-11}$  (3) $2.3 \times 10^{-10}$

## 课后素养评价(三)

1.A 解析:酒精易挥发,能闻到酒精的味道,是因为酒精分子不停地做无规则运动,故 A 正确;小鱼、灰尘、落叶的运动都是宏观物体的机械运动,不是分子的运动,故 B、C、D 错误。

2.D 解析:一切物质的分子都在不停地做无规则运动,所以固体、液体和气体都会发生扩散现象;由于气体分子之间距离较大,分子间作用力较小,气体扩散最显著,选项 A 错误,D 正确。扩散现象说明分子处于永不停息的无规则运动状态,但分子体积太小,人们不可能直接看到分子的运动,选项 B、C 错误。

3.D 解析:微粒做布朗运动,它在任意一段时间内的运动

都是无规则的,题图中记录到的各点只是某一时刻微粒所在的位置,在两个位置所对应的时间间隔内,微粒并不一定沿直线运动,故 D 正确,A、B、C 错误。

4.C 解析:温度越高,布朗运动越显著,温度越低,布朗运动越不明显,故 A 错误;花粉颗粒越大,同时跟它撞击的液体分子数目越多,颗粒受到的各个方向的撞击力接近平衡,布朗运动越不明显,故 B 错误;布朗运动是悬浮在液体中的花粉颗粒的运动,是由液体分子的无规则运动的撞击形成的,是液体分子无规则运动的反映,故 C 正确,D 错误。

5.B 解析:分子的热运动是指分子的无规则运动,因为运动的剧烈程度与温度有关,故称之为热运动;分子的热运动永不停息,不是被加热后才有的运动;热胀冷缩是分子间距离随温度变化的宏观表现,机械运动是宏观物体的运动,都不是分子的热运动,故 B 正确,A、C、D 错误。

6.AB 解析:温度相同,物体分子平均动能相同,故 A 正确;分子动能指的是由于分子做无规则运动而具有的能,故 B 正确;物体温度是对大量分子而言的,对于 10 个这样少数的分子无意义,故 C 错误;温度低的物体分子的平均速率小(相同物质),但具体到每一个分子的速率是不确定的,可能大于平均速率,也可能小于平均速率,故 D 错误。

7.B 解析:该现象属于扩散现象,是两种不同物质分子热运动引起的,不是分子间的相互吸引造成的,B 正确,A、C、D 错误。

8.CD 解析:布朗运动只能在气体和液体中发生,不能在固体中发生,A 错误;布朗运动是固体微粒的运动,B 错误;布朗运动和扩散现象都与温度有关,温度越高,现象越明显,C 正确;布朗运动和扩散现象都能说明分子在做永不停息的无规则运动,D 正确。

9.ABD 解析:布朗运动是固体微粒的运动,不是微观粒子的运动,牛顿运动定律仍然适用,A 项错误;布朗运动反映了微粒周围液体(或气体)分子的无规则运动,并不反映微粒内分子的运动,B 项错误;浮在空气中的微尘不停地运动是微尘周围的气体对流的结果,不是布朗运动,C 项正确;热运动是分子永不停息的无规则运动,布朗运动不是热运动,D 项错误。

10.B 解析:布朗运动是悬浮在液体中的固体小颗粒的无规则运动,间接证实了液体分子的无规则运动,A 正确,B 错误;布朗运动是由液体分子对悬浮颗粒碰撞作用不平衡引起的,液体的温度越高,布朗运动越剧烈,C、D 正确。

11.ABD 解析:热运动在微观上是指分子的运动,如扩散现象;在宏观上表现为温度的变化,如摩擦生热、物体的热传递等,而水的澄清过程是由于泥沙在重力作用下的沉淀,不是热运动,C 错误,A、B、D 正确。

12.B 解析:气溶胶微粒在空气中的无规则运动,可以看作布朗运动,温度越高,布朗运动越剧烈;气溶胶微粒越大,布朗运动越不明显;产生布朗运动的原因是大量气体分子无规则运动,撞击气溶胶微粒,使气溶胶受力不平衡,因此 B 正确,A、C、D 错误。

## 课后素养评价(四)

1.AD 解析:水是液体,铁是固体,正常情况下它们分子之间的距离都是  $r_0$ ,分子间的引力和斥力恰好平衡。当水被压缩时,分子间距离由  $r_0$  略微减小,分子间斥力大于引力,分子间作用力表现为斥力,其效果是水的体积很难被压缩,所以 A 正确;当用力拉铁棒的两端时,铁棒发生很小的形变,分子间距离由  $r_0$  略微增大,分子间引力大于斥力,分子间作用力表现为引力,其效果为铁棒没有断,所以 D 正确;气体分子由于永不停息地做无规则运动,能够到达容器内的任何空间,所以很容易就充满容器,气体分子间的距离远大于  $r_0$ ,分子间几乎无作用力,所以 B 错误;抽成真空的马德堡半球,之所以很难拉开,是由于球外大气压力对球的作用,所以 C 错误。

2.AC

3.D 解析:分子势能的变化与分子间作用力做功紧密联系,当分子间作用力做正功时,分子势能减小;当分子间作用力做负功时,分子势能增大。当  $r > r_0$  时,分子间作用力表现为引力,分子间距离增大时,分子间作用力做负功,分子势能增大。当  $r < r_0$  时,分子间作用力表现为斥力,分子间距离增大时,分子间作用力做正功,分子势能减小。综上所述,D 选项正确。

4.B 解析:当分子处于平衡位置时,分子间作用力为 0,分子势能最小,A、C 错误,B 正确;若  $r < r_1$ , $r$  越小,分子间势能越大,分子间的引力和斥力都存在,D 错误。

5.C 解析:内能是物体内所有分子热运动的动能和分子势能之和,不是单个分子具有的,故 A 错误;物体的内能由物体的物质的量、体积、温度和物态决定,与物体的位置无关,故 B 错误;一定质量的  $0\text{ }^\circ\text{C}$  的水结成  $0\text{ }^\circ\text{C}$  的冰,放出热量,则内能一定减少,故 C 正确;物体的内能与物体的宏观运动速度无关,与温度、体积等因素有关,故 D 错误。

## 课后素养评价(五)

- 6.C 解析:物体的内能包括分子动能和分子势能两部分,温度相等说明分子平均动能相等,但分子数及分子势能不一定相等,即内能不一定相等,A 错误,C 正确;分子势能增大,分子平均动能的变化情况不明确,内能不一定增大,B 错误;物体的内能由物体的分子势能、分子平均动能及物体所含分子数的多少决定,两物体质量相等,但物质的量不一定相等,即分子数不一定相等,D 错误。
- 7.D 解析:温度是分子平均动能的标志,一定质量的水凝结成同温度的冰,温度不变,则分子的平均动能不变,故 A、B 错误;因为凝结过程放出热量,所以内能减小,则分子势能减小,故 D 正确,C 错误。
- 8.AB 解析:物体的内能由物体的物质的量、温度、体积及物态决定,温度高,物体的内能不一定大,但分子平均动能一定大,A 正确;当分子间作用力表现为斥力时,分子间距离减小,分子间作用力做负功,分子势能增大,B 正确;布朗运动反映了水分子的热运动的规律,C 错误;由分子间作用力随距离的变化图线知,当作用力为引力时,其大小随距离的增大先增大后减小,D 错误。
- 9.A 解析:温度是分子平均动能的标志,甲瓶中水的温度高,则甲瓶中水分子的平均动能大,故 A 正确;布朗运动是固体微粒的无规则运动,不是分子的运动,故 B 错误;它们的体积相等,质量近似相等,温度不同,所以内能一定不同,故 C 错误;分子平均距离与温度有关,相同体积、不同温度,水分子的个数不同,分子间平均距离就不相等,故 D 错误。
- 10.AD 解析:由题图可知,乙分子在  $P$  点时分子势能最小,此时乙分子受力平衡,甲、乙两分子间的引力和斥力相等,乙分子所受合力为零,加速度为零,选项 A 正确;乙分子在  $Q$  点时的分子势能为零,大于乙分子在  $P$  点时的分子势能,选项 B 错误;乙分子在  $Q$  点时与甲分子间的距离小于平衡距离,分子引力小于分子斥力,合力表现为斥力,所以乙分子在  $Q$  点所受合力不为零,不处于平衡状态,选项 C 错误;乙分子在  $P$  点时,其分子势能最小,由能量守恒可知,此时乙分子动能最大,选项 D 正确。
- 11.BD 解析: $r < r_1$  时,分子间作用力表现为斥力, $r > r_1$  时,分子间作用力表现为引力,故乙分子从  $r_3$  到  $r_1$  的过程中,一直做加速运动,分子间作用力做正功,分子势能一直在减小,乙分子从  $r_1$  向  $O$  运动的过程中,做减速运动,故选 B、D。

1.B

2.ABC 解析:气体分子间的距离远大于分子本身的直径,分子间的相互作用力十分微弱,除了相互碰撞或与容器壁碰撞的瞬间外,分子几乎不受力的作用,因此可以在空间中自由移动,A 正确;气体分子之间的碰撞是随机发生的,没有固定的方向和频率,这种频繁且随机的碰撞使得分子的热运动呈现出杂乱无章的特点,B 正确;从统计规律来看,大量气体分子的运动不存在特定的方向偏好,沿各个方向运动的概率是均等的,这是气体分子热运动的重要统计特征,C 正确;气体分子的速率分布遵循麦克斯韦速率分布律,其规律是“中间多、两头少”,D 错误。

3.B 解析:气体分子做无规则运动,速率大小一般不相同,但大量分子的速率遵循一定的分布规律,气体的大多数分子速率在某个数值附近,离这个数值越近,分子数目越多,离这个数值越远,分子数目越少,呈现出“中间多、两头少”的分布规律,即速率很大和速率很小的分子数目很少,故正确选项为 B。

4.AC 解析:根据气体分子的速率分布规律知,气体的温度越高,速率较大的分子所占的比例越大,故  $T_1 < T_2$ ,A 正确,B 错误;分子总数目是一定的,故图线与横轴包围的面积是 100%,即两个图线与横轴包围的面积是相等的,C 正确,D 错误。

5.AD 解析:气体分子的平均速率与温度有关,温度升高时,气体分子的平均速率增大,但仍遵循“中间多、两头少”的统计规律,A、D 正确,B 错误;由于气体分子的运动是无规则的,而且牛顿运动定律仅适用于物体的宏观运动,不能用它来求微观分子运动的速率,C 错误。

6.BD 解析:气体温度升高时,气体分子的热运动加剧,但并不是每个分子的速率都增大,故选项 A 错误;气体的温度升高,分子的热运动加剧,使分子单位时间内与单位面积的器壁碰撞的次数增多,因分子平均速率增大,所以分子在单位时间内对器壁的作用力也增大,故选项 B、D 正确;因气体质量不变,体积不变,所以气体分子的密度不变,故选项 C 错误。

7.A 解析:气体温度越高,分子热运动越剧烈,分子热运动的平均速率越大,且大量气体分子的速率分布呈现“中间多、两头少”的特点。温度高时,速率大的分子所占据的比例大,且比例的最大值较小,所以 A 正确。

8.AD 解析:由题图知,随着温度升高,速率较大的分子数

增多,所以氧气分子的平均速率变大,选项 A 正确;温度是分子热运动平均动能的标志,这是大量分子运动的统计规律,对单个的分子没有意义,所以温度升高,分子平均动能增大,分子平均速率增大,但不是所有分子的速率都变大,选项 B 错误;随着温度的升高,氧气分子中速率小的分子所占比例减小,选项 C 错误;同一温度下,氧气分子的速率分布呈现“中间多、两头少”的规律,选项 D 正确。

9.解析:根据表格中的数据可知,温度为  $T_1$  时分子速率较大的区间所占百分比比较大,所以  $T_1$  大于  $T_2$ 。若约 10% 的氧气从容器中泄漏,温度不变,根据分子速率分布只与温度有关可知,速率为 400~500 m/s 的氧气分子数占总分子数的百分比仍然等于 18.6%。

答案:大于 等于

## 课后素养评价(六)

1.AC 解析:单晶体在导热这一物理性质上表现为各向异性,而非晶体表现为各向同性,故 A、C 正确,B、D 错误。

2.D 解析:只有单晶体才表现为各向异性,故 A 错误;单晶体有天然规则的几何形状,而多晶体无天然规则的几何形状,金属属于多晶体,故 B 错误;细盐是形状规则的晶体,在放大镜下能清楚地观察到,故 C 错误;晶体和非晶体的一个重要区别就是晶体有确定的熔点,而非晶体无确定的熔点,故 D 正确。

3.BD 解析:液晶是一种介于晶体与液体之间的物质,它不是晶体更不是非晶体,A、C 错误;液晶分子像晶体分子一样排列有序,但是它们又像液体分子一样可以自由移动,没有固定的位置,即位置无序,所以液晶具有流动性,B 正确;天然存在的液晶很少,多数液晶是人工合成的,D 正确。

4.AB 解析:液晶分子在特定方向上排列比较整齐,故选项 A 正确;液晶分子的排列不稳定,外界条件的微小变化都会引起液晶分子排列的变化,故选项 B 正确,C 错误;液晶的物理性质并不稳定,例如,有一种液晶,在外加电压的影响下,会由透明状态变成混浊状态,去掉电压,又恢复透明状态,故选项 D 错误。

5.A 解析:“超导材料”的核心特性是“零电阻”,因此不可以应用于利用电流热效应工作的用电器,故 A 说法错误,符合题目要求;“超导材料”“半导体材料”和“纳米材料”相对于传统材料而言,都属于新材料,故 B 不符合题意;“纳米材料”是指材料的几何尺寸达到纳米量级,并且具有特殊性能的材料,这一说法正确,故 C 不符合题意;

手机、电视机、电脑的元件及芯片都应用了“半导体材料”,这一说法正确,故 D 不符合题意。

6.C 解析:多晶体和非晶体都显示各向同性,只有单晶体显示各向异性,所以选项 A、B 错误,C 正确;单晶体具有各向异性的特性,仅是指某些物理性质,并不是所有的物理性质都是各向异性的,换言之,某一物理性质显示各向同性,并不意味着该晶体一定不是单晶体,所以选项 D 错误。

7.B 解析:导热性能各向同性的物体可能是非晶体,也可能是多晶体,A 错误;多晶体具有固定的熔点,B 正确;物体外形是否规则,不是判断是不是单晶体的依据,应该说单晶体具有天然规则的几何外形,但多晶体或非晶体经人为加工后也可具有规则的外形,C 错误;单晶体具有各向异性的物理性质,仅是指某些物理性质,并不是所有的物理性质都是各向异性的,故当物质某一物理性质显示各向同性,并不意味着该物质一定不是单晶体,D 错误。

8.B 解析:晶体与非晶体的最大区别就是晶体有固定的熔点,即当晶体因温度升高而熔化时,在熔化过程中晶体的温度将保持不变,只有晶体全部熔化后其温度才继续上升,而非晶体只要吸热,熔化过程就进行,结合题目中的图像特点可知,晶体在  $bc$  段时固液共存,故 B 正确。

9.C 解析:因两个方向电阻相等,而这两个方向的长度和横截面积不等,所以该样品的导电性能为各向异性,该样品必是单晶体,所以 C 正确。

10.D 解析:碳纳米管具有固定的熔点,是晶体,故 A 错误;由  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$  可知,  $1 \text{ N/mm}^2 = 10^6 \text{ Pa}$ ,故 B 错误;由拉伸强度的单位可知,拉伸强度应该等于力与面积的比值,故 C 错误;因为碳纳米管单位质量上的拉伸强度是钢铁的 276 倍,远远超过其他任何材料,故 D 正确。

## 课后素养评价(七)

1.C 解析:由于液体表面张力的作用,液体表面积有收缩到最小的趋势,故 C 正确。

2.C

3.BCD 解析:液体对固体是否发生浸润现象,是由液体和固体两者的性质共同决定的,水银不浸润玻璃,但可以浸润其他固体,A 错误,B 正确;在处于完全失重状态的人造卫星上,如果液体浸润器壁,液体就会沿着器壁流散,故必须盖紧盖子,C 正确;由发生浸润和不浸润现象的微观原理知,D 正确。

4.BC 解析:由题图可知,该液体不能附着在固体A的表面,所以对固体A是不浸润的;当把毛细管B插入这种液体中时,液面上升且呈现凹形,说明液体对毛细管B是浸润的。所以固体A与毛细管B一定不是同种材料,故A、D错误,B、C正确。

5.ABD 解析:叶片上的小露珠呈现球形是由于液体表面张力的作用,选项A正确;液体与大气相接触时,表面层内分子比较稀疏,分子间的距离大于分子平衡时的间距,故所受其他分子的作用表现为吸引力,选项B正确;生产雨伞时,应选择与水不浸润的伞布,以便更好地防水,选项C错误;液晶具有液体的流动性,同时具有单晶体的各向异性,选项D正确。

6.D 解析:鸭子从池塘中出来,羽毛未湿,是不浸润现象,故A错误;唐诗《观荷叶露珠》中的“霏微晓露成珠颗”,表明荷叶和露水是不浸润的,故B错误;小昆虫能在水面上自由走动是由于表面张力的作用,故C错误;农田里如果要保存地下的水分,就要把地面的土壤锄松,这是为了破坏毛细管使地下水不容易上升,故D正确。

7.D 解析:一种液体是否浸润某种固体,与这两种物质的性质均有关,只能说哪种液体对哪种固体浸润或不浸润,选项A错误;在浸润现象中,附着层内分子受到固体分子吸引力较液体内部分子吸引力大,分子分布比液体内部更密,因而在附着层里液体分子间表现出相互排斥的力,附着层有扩展的趋势,选项B、C错误,选项D正确。

8.B  
9.D 解析:在宇宙飞船内完全失重的情况下,由于重力的存在而产生的一切现象都消失;因为液体的表面张力不受失重的影响,水银不浸润玻璃,水银的形状只由表面张力来决定,在液体表面张力的作用下,水银的表面有收缩到最小的趋势,而体积一定时,球形的表面积最小,所以最终水银会呈现球形,D正确。

10.C 解析:铁丝在刚刚露出液面时,和液面之间形成一层液膜,膜中分子稀疏,分子间作用力表现为引力,对铁丝产生向下的拉力作用,使天平左端下降,故选C。

## 课后素养评价(八)

1.BCD 解析:描述系统宏观状态的状态参量是宏观量,每个气体分子的运动速率是微观量,不是气体的宏观状态参量。气体的压强、体积和温度分别是从力学、几何、热学三个角度对气体的性质进行的宏观描述,是确定气体宏观状态的三个状态参量。故B、C、D正确。

2.AB 解析:系统处于平衡态时,其状态参量不随时间变化。冰水混合物放在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的房间里,其温度、压强、体积都不再变化,处于平衡态,故A正确;铜块在沸水中加热足够长的时间后,其温度、压强、体积不再变化,处于平衡态,故B正确;开空调5分钟内放映厅内气体的温度、体积都要变化,系统没有达到平衡态,故C错误;密闭绝热匀速运动的容器突然停止运动时,容器内气体的温度升高,压强变大,系统没有达到平衡态,故D错误。

3.AB 解析:根据热平衡的特点可知,两个系统达到热平衡的标志是它们温度相同,但压强、体积不一定相同,故A正确,D错误;根据热平衡定律,A、B两系统分别与C系统达到热平衡,则A、B两系统达到热平衡,故B正确;甲、乙、丙三个物体的温度不相同,先把甲、乙接触,达到热平衡,再将丙与乙接触,最终也达到热平衡,此时乙、丙与甲的温度不一定相同,所以甲、丙不一定是处于热平衡的,故C错误。

4.AD 解析:根据热平衡的意义,两个系统处于热平衡,无论分开,还是再接触,系统的状态参量都不再发生变化,故A正确,B错误;两个未曾接触的系统有可能处于热平衡,故C错误;当温度计的液泡与被测物体紧密接触时,如果两者的温度有差异,它们之间就会发生热交换,高温物体将向低温物体传热,最终使二者的温度相等,即达到热平衡,故D正确。

5.D 解析:由 $T/\text{K}=t/^{\circ}\text{C}+273.15$ 可知A、B项说法正确;绝对零度只能无限接近,不能达到,C项说法正确;D项说法错误。

6.AB 解析:中学常用的两种表示温度的方法就是摄氏温标和热力学温标,两者的关系式为 $T/\text{K}=t/^{\circ}\text{C}+273.15$ ,所以用两者表示温度的变化时,两者的数值相等,A、B正确;当温度变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,也可以说成温度变化 $1\text{ K}$ ,但不能说 $1\text{ K}$ 就是 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,只能是 $1$ 开尔文的温差等于 $1$ 摄氏度的温差,C、D错误。

7.A 解析:温度宏观上反映物体的冷热程度,但并不是我们感觉冷的物体温度就低,人体感受物体的冷热程度,一方面取决于被感受的物体的温度,另一方面还与被感受物体单位时间内吸收或放出热量的多少有关,A错误;由热平衡定律可知,B正确;只要两个系统的温度相同且不再发生变化,它们就处于热平衡状态,C正确;用温度计测量温度是根据热平衡的原理,D正确。

8.D 解析:由于水的密度和温度的关系曲线是不规则曲线,如果选水作测温物质,则温度计刻度不均匀;汞的密

度与温度呈规则的线性关系,选汞作测温物质,温度计刻度均匀,故 D 正确。

9.C 解析:此温度计每一刻度表示的实际温度为

$$\frac{100}{80-20} \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{5}{3} \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ 当它的示数为 } 41 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 时, 它上升的格数为 } 41-20=21 \text{ (格), 则对应的实际温度应为 } 21 \times$$

$$\frac{5}{3} \text{ } ^\circ\text{C} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ 同理, 当实际温度为 } 60 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 时, 此温度计应}$$

$$\text{从 } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ 开始上升的格数为 } \frac{60}{\frac{5}{3}} = 36 \text{ (格), 它的示数应为}$$

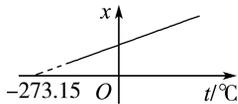
$$(36+20) \text{ } ^\circ\text{C} = 56 \text{ } ^\circ\text{C}. \text{ 故 C 正确。}$$

10.解析:从题图可知,物理量  $x$  与热力学温度成正比关系,

用  $k$  表示比例系数,则有  $x=kT$ 。由于  $T=t+273.15 \text{ K}$ ,

则有  $x=k(t+273.15 \text{ } ^\circ\text{C})$ ,因此  $x$  与  $t$  的关系图像如图

所示。



答案:见解析图

11.解析:摄氏温标规定冰水混合物的温度为  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,标准大

气压下沸水的温度为  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,由此可见,题中所述的  $40$

刻度处为  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $90$  刻度处就是指  $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。从  $40$  到  $90$  有

$$50 \text{ 等份, 每 } 1 \text{ 等份的实际温度是 } \frac{100}{50} \text{ } ^\circ\text{C} = 2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

当水银柱上升到  $100$  刻度处时,  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  以上共占有的等份

数是  $100-40=60$ ,所以  $100$  刻度处的实际温度是

$$2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 60 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

由热力学温度与摄氏温度的关系式  $T=t+273 \text{ K}$  可

得,  $120 \text{ } ^\circ\text{C}$  相当于热力学温度  $T=(120+273) \text{ K} =$

$$393 \text{ K}$$

即该温度计  $100$  刻度处相当于  $120 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,相当于  $393 \text{ K}$ 。

答案:  $120 \text{ } ^\circ\text{C}$     $393 \text{ K}$

## 课后素养评价(九)

1.解析:(1)实验是以注射器内的空气为研究对象的,所以

实验前注射器内的空气不能完全排出,故 A 错误;空气

柱的体积变化不能太快,要缓慢移动注射器保证气体温

度不变,故 B 错误;气体发生等温变化,空气柱的压强随

体积的减小而增大,故 C 错误;  $p-\frac{1}{V}$  图像是一条倾斜的

直线,作出  $p-\frac{1}{V}$  图像可以直观反映出  $p$  与  $V$  的关系,故

D 正确。

(2)根据  $p-\frac{1}{V}$  图像可知,如果温度相同,则说明两次气体质量不同,如果气体质量相同,则两次温度不同。

答案:(1)D (2)所研究气体的质量不同(或相同质量气体在不同温度下进行的实验)

2.C 解析:以缸套为研究对象,根据受力平衡有  $pS+$

$$m_0 g = p_0 S, \text{ 所以封闭气体的压强 } p = p_0 - \frac{m_0 g}{S}, \text{ 故 C}$$

正确。

3.解析:(1)  $p_A = p_0 - p_h = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} - 13.6 \times 10^3 \times$

$$10 \times 0.1 \text{ Pa} = 8.74 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

$$(2) p_A = p_0 - p_h = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} - 13.6 \times 10^3 \times 10 \times 0.1 \times$$

$$\sin 30^\circ \text{ Pa} = 9.42 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

$$(3) p_B = p_0 + p_{h2} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} + 13.6 \times 10^3 \times 10 \times$$

$$0.1 \text{ Pa} \approx 1.15 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_A = p_B - p_{h1} \approx 1.08 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

$$(4) p_A = p_0 + \rho_{*} g h = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} + 1 \times 10^3 \times 10 \times 1.2 \text{ Pa} =$$

$$1.13 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

答案:(1)  $8.74 \times 10^4 \text{ Pa}$  (2)  $9.42 \times 10^4 \text{ Pa}$

(3)  $1.08 \times 10^5 \text{ Pa}$  (4)  $1.13 \times 10^5 \text{ Pa}$

4.B 解析:试管竖直放置时,封闭气体的压强为  $p =$

$$p_0 - \rho g h; \text{ 试管自由下落时, 封闭气体的压强为 } p = p_0,$$

根据玻意耳定律  $pV=C$  知,压强增大,则体积减小,故选

项 B 正确。

5.C 根据玻意耳定律有  $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0 + p_{h1}}{p_0 + p_{h2}} = \frac{p_0 + 2p_0}{p_0 + p_0} =$

$$\frac{3p_0}{2p_0} = \frac{3}{2}, \text{ 故 C 正确。}$$

6.B 解析: $\triangle OBC$  的面积  $S_2 = \frac{1}{2} BC \cdot OC = \frac{1}{2} p_B V_B$ ,同

理, $\triangle OAD$  的面积  $S_1 = \frac{1}{2} p_A V_A$ ,根据玻意耳定律有

$$p_A V_A = p_B V_B, \text{ 可知两个三角形面积相等, 故 B 正确。}$$

7.C 解析:因为实验中,玻璃管上方为真空,所以大气压等

于玻璃管中水银柱产生的压强,在大气压不变的情况下,

将玻璃管向上提起一段距离,管口未离开水银面,水银柱

的高度  $h$  不变,产生的压强始终等于大气压,管内封闭的

水银柱长度不变,真空部分长度变大,故选 C。

8.解析:(1)为了保证气体的质量不变,要用润滑油涂在活

塞上以达到封闭效果。

(2)气体的体积变化时,外界对气体做正功或负功,要让

气体与外界进行足够的热交换,一要时间长,也就是移动

活塞的动作缓慢,二要活塞导热性能好。

答案:(1)用润滑油涂活塞 (2)慢慢地移动活塞 导热性能好的活塞

9.解析:(1)设稳定时气缸内气体压强为  $p_2$ ,根据气体等温变化规律有  $p_1 L_0 S = p_2 \cdot 0.5 L_0 S$

$$\text{解得 } p_2 = 2p_1$$

则物体 A 所受的重力大小为

$$G = (p_2 - p_1)S = p_1 S.$$

(2)设充入的气体体积为  $V$ ,则有

$$p_1 L_0 S + p_0 V = p_2 L_0 S$$

$$\text{解得 } V = \frac{p_1}{p_0} L_0 S.$$

答案:(1) $p_1 S$  (2) $\frac{p_1}{p_0} L_0 S$

## 课后素养评价(十)

1.CD 解析:由查理定律(等容变化)知,一定质量的气体,在体积不变时,其压强与热力学温度成正比,选项 C 正确,选项 A、B 错误;在  $p-t$  图像中,直线与横轴的交点表示热力学温度的 0 K,选项 D 正确。

2.CD 解析:初状态  $T_1 = (273 + 50) \text{ K} = 323 \text{ K}$ ,末状态  $T_2 = (273 + 100) \text{ K} = 373 \text{ K}$ ,根据查理定律  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$  可

知,  $\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{373}{323}$ ,即  $p_2 = \frac{373}{323} p_1$ ,故 A 错误,C 正确;压

强增加了  $\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{373}{323} p_1 - p_1 = \frac{50}{323} p_1$ ,故 B 错误,

D 正确。

3.C 解析:根据盖-吕萨克定律(等压变化),一定质量的气体,在压强不变的情况下,体积与热力学温度成正比。当热力学温度降为原来的一半时,体积也会变为原来的一半,故选 C。

4.BD 解析:以气缸与活塞组成的系统为研究对象,系统所受的重力与弹簧弹力作用相等,外界大气压无论增大还是减小,系统所受重力不变,由平衡条件可知,弹簧弹力不变,弹簧的压缩量不变,即活塞距地面的高度不变,故 A、C 错误;设气缸质量为  $m$ ,横截面积为  $S$ ,封闭气体压强  $p = p_0 + \frac{mg}{S}$ ,若外界大气压  $p_0$  减小,则封闭气体压强  $p$  减小,大气温度不变,封闭气体温度不变,由玻意耳定律  $pV = C$  可知,气体体积增大,气缸将上升,气缸的上底面距地面的高度将增大,故 B 正确;若气温升高,气体温度  $T$  升高,外界大气压不变,气体压强  $p$  不变,由盖-

吕萨克定律  $\frac{V}{T} = C$  可知,气体体积增大,气缸将向上移动,则气缸的上底面距地面的高度将增大,故 D 正确。

5.BC 解析:对于理想气体,满足公式  $\frac{pV}{T} = C$ 。若气体体积增大而温度降低,只要压强变小,公式就可能成立,A 选项是可能的;若温度升高,体积不变,则压强应是变大的,B 选项是不可能的;若温度不变,则压强与体积成反比,不可能同时增大,C 选项是不可能的;若温度降低,压强减小,则体积可能减小,可能变大,D 选项是可能的。

6.BC 解析:一定质量的理想气体压强不变,体积与热力学温度成正比,温度由  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  上升到  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  时,体积增大为原来的 1.27 倍,A 错误;理想气体状态方程成立的条件为质量不变,B 正确;由理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$  知,C 正确,D 错误。

7.A 解析:一定质量的理想气体,在压强不变的条件下,由盖-吕萨克定律  $\frac{V}{T} = C$  可知,体积增大,温度升高,所以气体分子的平均动能增大,故 A 正确。

8.D 解析:容器密闭,又不考虑容器的热胀冷缩,所以体积不变,质量不变,根据  $\rho = \frac{m}{V}$  可知密度不变,故 A、B 错误;气体的体积不变,压强减小,根据查理定律  $\frac{p}{T} = C$  可知温度降低,温度是分子平均动能的标志,温度降低,分子平均动能减小,故 C 错误,D 正确。

9.B 解析:由题图可知,气体在 1→2 过程发生的是等容变化,且压强、温度均增大;2→3 过程发生的是等温变化,且压强减小、体积增大;3→1 过程发生的是等压变化,且温度、体积均减小。结合各过程状态参量的变化特点,可知 B 正确。

10.AC 解析:根据理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$ ,若经过等温膨胀,则  $T$  不变, $V$  增大, $p$  减小,再等容降温,则  $V$  不变, $T$  降低, $p$  减小,最后压强  $p$  肯定不是原来的值,A 不可实现;同理可以确定 C 也不可实现。

11.BD 解析:根据题意, $a$  中气体做等容变化,根据  $\frac{p}{T} = C$ ,当环境温度升高,则  $a$  中气体压强增大,又  $p_a + \rho_{\text{液}}gh = p_0$ ,可知  $b$  管中液面降低,同理可知环境温度降低时, $b$  管中液面升高,故 B 正确,A 错误;由上述分析可知, $b$  管上的刻度从上到下温度逐渐升高,同一温度, $a$  中压强不变, $b$  管中液面与水槽内液面高度差不变,水

槽中的水少量蒸发后,槽中液面降低,则  $b$  管内液面降低,则温度测量值偏大,故 D 正确,C 错误。

12.C 解析:由查理定律可知,一定质量的气体在体积不变的条件下  $\frac{p}{T}$  为恒量,且  $\Delta p = \frac{p}{T} \Delta T$ 。温度由  $0^\circ\text{C}$  升高到  $10^\circ\text{C}$  和由  $100^\circ\text{C}$  升高到  $110^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 10\text{ K}$  相同,故压强的增量  $\Delta p_1 = \Delta p_2$ , C 项正确。

13.解析:当温度  $T_1 = (273 + 27)\text{ K} = 300\text{ K}$  时,活塞对地面刚好无压力,列平衡方程有

$$p_1 S + mg = p_0 S$$

$$\text{解得 } p_1 = p_0 - \frac{mg}{S} = \left(1 \times 10^5 - \frac{5 \times 10}{50 \times 10^{-4}}\right) \text{ Pa} = 0.9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

若温度升高,气体压强增大,气缸恰好对地面无压力时,列平衡方程有

$$p_2 S = p_0 S + Mg$$

$$\text{解得 } p_2 = p_0 + \frac{Mg}{S} = \left(1 \times 10^5 + \frac{10 \times 10}{50 \times 10^{-4}}\right) \text{ Pa} = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

根据等容变化规律有  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$$\text{即 } \frac{0.9 \times 10^5 \text{ Pa}}{300 \text{ K}} = \frac{1.2 \times 10^5 \text{ Pa}}{T_2}$$

解得  $T_2 = 400\text{ K}$ , 则  $t = 127^\circ\text{C}$ 。

答案:  $127^\circ\text{C}$

14.解析:(1)缓慢降低气缸内气体的温度,使活塞移到 A、B 的正中间,此过程是等压过程,由等压变化规律有

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V'}{T'}$$

其中  $V_A = 1.2V_0$ ,  $T_A = (273 + 87)\text{ K} = 360\text{ K}$

$$V' = 1.1V_0$$

解得  $T' = 330\text{ K}$

然后保持温度不变,在活塞上缓慢加沙,直至活塞刚好移动到 B 处,这个过程是等温过程,故活塞刚到达 B 处时的温度  $T_B = 330\text{ K}$ 。

(2)保持温度不变,在活塞上加沙,直至活塞刚好移动至 B 处,这个过程是等温过程,根据等温变化规律有

$$p'V' = p_B V_B$$

其中  $p' = p_0$ ,  $V' = 1.1V_0$ ,  $V_B = V_0$

解得  $p_B = 1.1p_0$

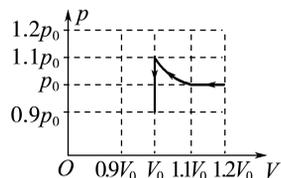
再接下来是等容过程,根据等容变化规律有

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p}{T}$$

其中  $T_B = 330\text{ K}$ ,  $T = (273 - 3)\text{ K} = 270\text{ K}$

解得  $p = 0.9p_0$ 。

(3)整个过程的  $p$ - $V$  图线如图所示。



答案:(1)  $330\text{ K}$  (2)  $0.9p_0$  (3) 见解析图

## 课后素养评价(十一)

1.CD 解析:做功和热传递都能改变物体的内能,不能依据一种方式判断内能的变化,A、B 错误,C、D 正确。

2.C 解析:由热胀冷缩的相关知识可知,升高温度,A、B 两球体积增大,所以 A 球重心升高,克服重力做功,而 B 球重心降低,重力做正功,A、B 两球升高相同的温度,内能的增加相同,即  $\Delta U$  相同,由热力学第一定律可知  $Q_A = \Delta U + W_A$ ,  $Q_B = \Delta U - W_B$ , 故  $Q_A > Q_B$ , 选项 C 正确。

3.C 解析:将活塞 P 缓慢地向 B 移动的过程中,外力对乙做功,乙的内能增加,温度升高,由于固定隔板 B 导热,所以乙将传递热量给甲,甲、乙两部分气体的温度最终相同,均高于初态温度,所以甲、乙内能均增加,故 C 正确。

4.D 解析:选项 A 是指不同形式的能量间的转化,转化过程中能量是守恒的,选项 B 是指能量在不同的物体间发生转移,转移过程中能量是守恒的,这正好是能量守恒定律的两个方面——转化与转移;选项 C 中的永动机是不可能制成的,它违背了热力学第一定律;选项 D 中石子的机械能在变化,比如受空气阻力作用,机械能可能减少,但机械能并没有消失,只是转化成了其他形式的能量,D 符合题意。

5.D 解析:第一类永动机指不需要任何动力或燃料,却能不断地对外做功的装置,违反了热力学第一定律,同时也就违反了能量守恒定律,故 D 正确。

6.B 解析:由理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$ , 可知  $\frac{p_0 \cdot 2V_0}{T_b} =$

$$\frac{2p_0 \cdot V_0}{T_c}, \text{ 得 } T_b = T_c; \text{ 根据热力学第一定律 } \Delta U = Q +$$

$W$ , 因  $T_b = T_c$ , 内能仅与温度有关,即  $\Delta U_{ab} = \Delta U_{ac}$ , 又由过程  $a \rightarrow b$ , 气体体积增大,对外做功,  $W$  为负,而过程  $a \rightarrow c$ , 气体体积不变,对外不做功,  $W = 0$ , 故  $Q_{ab} > Q_{ac}$ , B

正确。

7.解析:(1)由等容变化规律得 $\frac{p_0}{T_1}=\frac{p}{T_2}$

$$\text{解得 } p=\frac{T_2}{T_1}p_0。$$

(2)温度由 $T_1$ 下降到 $T_2$ 过程为等容过程, $W=0$ ,温度降低,内能减少,由 $W+Q=\Delta U$ 得 $\Delta U=Q$ 。

答案:(1) $\frac{T_2}{T_1}p_0$  (2)内能减少  $Q$

8.C 解析:金属筒缓慢下降的过程中,筒内空气体积减小,外界对筒内气体做功,而筒与水之间有热交换,水温恒定,空气一定向外界放热,C正确。

9.AC 解析:充气后,气体分子数增多,温度和体积不变,则密封气体的分子在单位时间内撞击器壁的次数增多,即气体压强增大,大于外界大气压强,打开阀门后,密封气体对外界做正功,故A、C正确;充气后,由于温度不变,密封气体的分子平均动能不变,故B错误;由于温度不变,气体内能不变,且打开阀门后,密封气体对外界做正功,由热力学第一定律可知,密封气体从外界吸热,故D错误。

10.D 解析:形状记忆合金进入热水中后受热,形状发生改变而搅动热水,转轮转动所需的能量来自热水,水温降低,故A、B、C错误;由能量守恒定律知,叶片吸收的能量一部分转化成叶片的动能,一部分释放于空气中,故D正确。

11.ACD 解析:因活塞密封不严,故最终活塞两侧气体的压强相等,活塞处于静止状态,其受力平衡,可知弹簧最终弹力为零,即弹簧恢复至自然长度,A正确;活塞初始时静止在气缸正中间,弹簧处于压缩状态,漏气过程活塞向左移动,最终活塞左侧气体的体积小于右侧气体的体积,末状态活塞两侧气体的压强与温度均相同,则气体密度相同,故活塞左侧气体的质量小于右侧气体的质量,B错误;因气缸密闭绝热,故气缸内系统与外界无能量交换,弹簧从压缩状态恢复到原长,由能量守恒可知,弹簧减少的弹性势能转化为气缸内气体的内能,故与初始时相比,气缸内气体的内能增加,C正确;末状态活塞两侧气体的压强与温度均相同,则两侧气体的分子数密度相同,以气缸内全部的气体为研究对象,与初始时相比,其体积增大,气体分子数密度减小,因末状态活塞左侧的气体分子数密度与全部气体的分子数密度相同,故与初始时相比,活塞左侧单位体积内气体分子数减少,

D正确。

12.解析:气体从状态A变化到状态B,由 $\frac{p_A V_A}{T_A}=\frac{p_B V_B}{T_B}$

得 $T_B=1\ 200\text{ K}$ ;气体由状态B变化到状态C,体积不变,压强减小,由 $\frac{pV}{T}=C$ 知温度降低,内能减小,而 $W=0$ ,所以气体放热。

答案:1 200 K 放热

13.解析:由能量守恒定律可知,内能的增加量等于活塞和物体重力势能的减少量, $\Delta U=\Delta E=(M+m)gh=(15+5)\times 10\times(50-40)\times 10^{-2}\text{ J}=20\text{ J}$ 。

答案:20 J

14.解析:(1)根据等容变化规律有 $\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$

其中 $p_1=p_0$ , $T_1=(273+27)\text{ K}=300\text{ K}$ , $p_2=4p_0$

解得 $T_2=1\ 200\text{ K}$ ,则 $t_2=927\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2)由热力学第一定律 $\Delta U=Q+W$ 得

$$\Delta U=-20\text{ kJ}-15\text{ kJ}=-35\text{ kJ}$$

故内能减少了35 kJ。

答案:(1)927  $^\circ\text{C}$  (2)减少 35 kJ

## 课后素养评价(十二)

1.B 解析:热力学第二定律是物理学家通过对大量自然现象的分析,又总结了生产和生活经验得到的结论,是一个经验定律,它并不能通过理论和实验来证明,但它符合客观事实,因此是正确的。它揭示了热现象宏观过程的方向性,对我们认识自然和利用自然有着重要的指导意义。故选项B正确。

2.C 解析:热力学第二定律的开尔文表述阐述了机械能与内能转化的方向性:机械可以自发地转化成内能,但内能不能自发地转化成机械能,这需要借助其他条件或产生其他影响。故C正确。

3.D

4.A 解析:热力学第二定律使人们认识到自然界中所有涉及热现象的宏观过程都具有方向性,A正确。

5.ACD 解析:凡是与热现象有关的宏观过程都具有方向性。无论采用任何设备和手段进行能量转化,热机的效率都不可能达到100%,所以热机中燃气的内能不能全部转化为机械能,故A正确;电能可以通过电阻丝(如纯电阻电路)全部转变成内能,故B错误;火力发电机发电时,能量转化的过程为内能 $\rightarrow$ 机械能 $\rightarrow$ 电能,因为内能 $\rightarrow$

机械能的转化过程中会对外放出热量,所以燃气的内能必然不能全部转化为电能,故 C 正确;热量从低温物体传递到高温物体不能自发进行,必须借助外界的帮助,结果会带来其他影响,这正是热力学第二定律的克劳修斯表述的主要思想,故 D 正确。

6.D 解析:第二类永动机的设想并不违背能量守恒定律,但是违背了热力学第二定律,所以不可能制成。

7.AD 解析:热力学第二定律揭示了与热现象有关的物理过程的方向性,机械能和内能的转化过程具有方向性,机械能可以全部转化为内能,而内能要全部转化为机械能必须借助外部的帮助,即会引起其他变化,A 选项正确,B 选项错误;热传递过程也具有方向性,热量能自发地从高温物体传给低温物体,但是热量要从低温物体传到高温物体,必然要引起其他变化(外界对系统做功),C 选项错误,D 选项正确。

8.D 解析:在一定条件下热量可以从低温物体传到高温物体,A 错误;功可以完全变成热,在一定条件下热也可以完全变成功,B 错误;热机的效率在任何条件下都不可能达到 100%,C 错误;一切宏观自然过程的进行都具有方向性,D 正确。

9.A 解析:通过做功,机械能可以转化为内能,由热力学第二定律可知,内能不可能全部转化成机械能而不引起其他变化,A 正确;热机的效率总低于 100%,B 错误;满足能量守恒定律的物理过程未必能自发地进行,任何物理过程一定满足热力学第二定律,C 错误;由热力学第一定律可知,外界对物体做功,内能不一定增加,D 错误。

10.D 解析:由热力学第二定律知,B、C 错误;绝对零度不可能达到,A 错误;由热力学第一定律知,D 正确。

11.ACD 解析:由热力学第二定律的微观解释“一切自然过程总是沿着分子热运动的无序性增大方向进行”和熵的概念可知,A、C、D 正确。

12.AC 解析:在孤立系统中发生的实际过程,其系统的总熵是增加的,它不可能减小,故 A 正确,B 错误;根据熵增加原理,系统总是自发地从比较有序的状态向更无序的状态发展,故 C 正确,D 错误。

## 课后素养评价(十三)

1.C 解析:阴极射线本质是电子,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假设,是错误的,故正确选项为 C。

2.A 解析:汤姆孙通过电子在电磁场中的运动情况确定了电子的比荷,选项 A 正确。

3.BC 解析:由于 AB 中通有电流,在阴极射线管中产生磁场,电子受到洛伦兹力的作用而发生偏转,由左手定则可知,阴极射线管中的磁场方向垂直纸面向里,所以根据安培定则可知,AB 中的电流方向应为从 B 流向 A。当 AB 中的电流方向变为从 A 流向 B 时,AB 上方的磁场方向变为垂直纸面向外,电子所受的洛伦兹力方向变为向上,电子束的径迹变为向上偏转,所以本题的正确选项为 B、C。

4.AC 解析:电子的质量相对  $\alpha$  粒子非常小,相当于子弹撞到尘埃,所以完全可以忽略,因此  $\alpha$  粒子的动能几乎没有损失,也不会发生明显的偏转。故 A、C 正确。

5.A 解析:由于电子的质量相对  $\alpha$  粒子非常小,因此使  $\alpha$  粒子发生大角度偏转的不可能是带负电的电子;由于只有极少数  $\alpha$  粒子发生大角度偏转,因此原子的正电荷和绝大部分质量集中在一个很小的范围内,故选项 A 正确。

6.A 解析: $\alpha$  粒子带正电,原子核也带正电,对靠近它的  $\alpha$  粒子产生斥力,故原子核不会在④区域;如原子核在②③区域, $\alpha$  粒子会向①区域偏转;如原子核在①区域,可能会出现题图所示的轨迹,故选 A。

7.D 解析:由动能定理有  $eU = \frac{1}{2}mv^2$ ,得  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ ,当 A、K 间的距离减半,而 U 不变时,速度不变,A、B 错误;当 A、K 间的距离不变,U 减半时,速度将变为  $\frac{\sqrt{2}}{2}v$ ,C 错误,D 正确。

8.AC 解析:该实验证明阴极射线是电子流,它在电场中偏转时应偏向带正电的极板一侧,选项 C 正确,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,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。

9.C 解析: $\alpha$  粒子与金原子核均带正电荷,所以  $\alpha$  粒子受到金原子核的作用力为斥力,选项 A、D 错误;运动轨迹离原子核越近,受力越大,运动方向变化越明显,选项 B 错误,C 正确。

10.D 解析: $\alpha$  粒子的散射实验说明了原子具有核式结构,故 A 错误;根据  $\alpha$  粒子散射现象可知,大多数  $\alpha$  粒子穿过金箔后几乎沿原方向前进,只有击中金原子核的才可能会沿原方向返回,故 B 错误; $\alpha$  粒子受到斥力作用,根

据电场力做功特点可知,  $\alpha$  粒子从远处运动到近处再远离的过程中电场力先做负功, 再做正功, 所以  $\alpha$  粒子的电势能先增大后减小, 故 C 错误;  $a$ 、 $c$  两点距金原子核的距离相等, 则  $\alpha$  粒子经过  $a$ 、 $c$  两点时动能相等, 故 D 正确。

## 课后素养评价(十四)

1.D 解析: 原子光谱为线状谱, A 错误; 各种原子都有自己的特征谱线, B、C 错误; 根据各种原子的特征谱线进行光谱分析可鉴别物质组成, D 正确。

2.AD 解析: 线状谱中的亮线与吸收光谱中的暗线均为特征谱线, 并且实验表明各种元素在吸收光谱中的每一条暗线都跟这种元素在线状谱中的一条亮线相对应。所以 A、D 是正确的。

3.C 解析: 日光灯灯光经过分光镜后形成的光谱既有线状谱又有连续谱, 而白炽灯灯光的光谱是连续光谱, 太阳光光谱是吸收光谱, A、B、D 错误。日光灯灯光经过分光镜后形成的光谱是连续光谱与汞的明线光谱(除紫外线外)相加的光谱, C 正确。

4.AC 解析: 巴尔末公式是巴尔末在研究氢原子光谱特征时发现的, A 选项正确; 公式中的  $n$  只能取大于或等于 3 的整数, 故氢原子光谱是线状谱, B 选项错误, C 选项正确; 巴尔末公式只适用于氢原子光谱的分析, 不适用于其他原子光谱的分析, D 选项错误。

5.A 解析: 巴尔末系的前 4 条谱线在可见光区,  $n$  的取值分别为 3, 4, 5, 6。  $n$  越小,  $\lambda$  越大, 故  $n=3$  时波长最长,  $\lambda_{\max} = \frac{36}{5R_H}$ ;  $n=6$  时波长最短,  $\lambda_{\min} = \frac{36}{8R_H}$ , 故  $\lambda_{\max} : \lambda_{\min} = 8 : 5$ , 故 A 正确。

6.C 解析: 巴尔末公式中  $n$  为量子数, 不可以取任意值, 只能取整数, 且  $n \geq 3$ , 式中  $R_H$  叫作里德伯常量, 故 A 错误; 巴尔末系的 4 条谱线位于可见光区, 故 B 错误; 根据巴尔末公式  $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , 可知  $n$  值越大, 对应的波长  $\lambda$  越短, 故 C 正确; 公式只适用于氢原子从  $n \geq 3$  的能级向  $n=2$  的能级跃迁时发出的光谱, 故 D 错误。

7.A 解析: 连续分布的包含一切波长的光组成的光谱叫作连续光谱, 烧红的煤块和白炽灯发出的都是连续光谱, A 正确。生活中试电笔内氖管和霓虹灯发出的光的光谱属于明线光谱, 是线状谱, B 错误。在燃烧的酒精灯芯上

放上少许食盐, 用光谱管可以观察到的光谱是钠的发射光谱, 也是钠的线状光谱, C 错误。太阳光谱是吸收光谱, 其中的暗线说明太阳表面的气体中存在与这些暗线相对应的元素, D 错误。

8.C 解析: 太阳发出的白光本来是连续谱, 但在穿过太阳表面温度比较低的太阳大气层时, 部分频率的光被太阳大气层吸收, 所以到达地球上的太阳光的光谱是吸收光谱, 故选项 A 错误; 霓虹灯是低压蒸气发光, 所以产生的是线状谱, 故选项 B 错误; 酒精灯火焰中的钠蒸气属于低压气体, 所产生的光谱是线状谱, 故选项 C 正确; 白光通过温度较低的钠蒸气, 所产生的光谱是吸收光谱, 故选项 D 错误。

9.ACD 解析: 根据氢原子光谱波长公式  $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  及频率  $f = \frac{c}{\lambda}$  ( $c$  为光速, 波长越长频率越小) 分析, 赖曼系  $m=1$ ,  $n$  越小,  $\frac{1}{\lambda}$  越大, 波长越短,  $n=2$  时  $n$  最小, 波长最长, 频率最小, A 正确, B 错误; 巴尔末系  $m=2$ ,  $n$  越小,  $\frac{1}{\lambda}$  越大, 波长越短,  $n=3$  时  $n$  最小, 波长最长, C 正确; 赖曼系在  $n=2$  时有最小频率  $f = c \cdot \frac{3R_H}{4}$ , 也大于巴尔末系最大频率  $f = \frac{R_H}{4} (n \rightarrow \infty)$ , 故所有赖曼系谱线的频率都比巴尔末系的频率大, D 正确。

10.解析: (1) 巴尔末系中第一条谱线为  $n=3$ , 即

$$\frac{1}{\lambda_1} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right)$$

$$R_H = \frac{36}{5\lambda_1} = \frac{36}{5 \times 6.565 \times 10^{-7}} \text{ m}^{-1} \approx 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

(2) 巴尔末系中第四条谱线对应  $n=6$ ,

$$\text{则 } \frac{1}{\lambda_4} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right)$$

$$\lambda_4 = \frac{36}{8 \times 1.097 \times 10^7} \text{ m} \approx 4.102 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda_4} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.102 \times 10^{-7}} \text{ J}$$

$$\approx 4.85 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

答案: (1)  $1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

(2)  $4.102 \times 10^{-7} \text{ m}$   $4.85 \times 10^{-19} \text{ J}$

11.解析: (1) 由帕邢系公式  $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

当  $n=6$  时,  $\lambda \approx 1.09 \times 10^{-6} \text{ m}$ 。

(2) 帕邢系形成的谱线在红外线区域, 而红外线属于电磁波, 在真空中以光速传播, 故  $v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\text{由 } v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$$

$$\text{得 } \nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1.09 \times 10^{-6}} \text{ Hz} \approx 2.75 \times 10^{14} \text{ Hz}。$$

答案: (1)  $1.09 \times 10^{-6} \text{ m}$

(2)  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$   $2.75 \times 10^{14} \text{ Hz}$

## 课后素养评价(十五)

1. BD 解析: 按照经典物理学的观点, 电子绕核运动有加速度, 一定会向外辐射电磁波, 很短时间内电子的能量就会消失, 但这与客观事实相矛盾, 由玻尔假设可知选项 A、C 错误, B 正确; 电子轨道半径越大, 原子能量越大, 选项 D 正确。

2. BC 解析: 根据玻尔理论, 核外电子运动的轨道半径是确定的值, 而不是任意值, A 错误; 氢原子中的电子离原子核越远, 能级越高, 能量越大, B 正确; 由跃迁规律可知 C 正确; 氢原子从激发态向基态跃迁的过程中, 应辐射能量, D 错误。

3. ACD 解析: 根据玻尔理论, 氢原子中量子数  $n$  越大, 电子的轨道半径就越大, A 正确; 核外电子绕核做匀速圆周运动, 库仑力提供向心力, 有  $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 则半径越大, 核外电子的速率越小, B 错误; 量子数  $n$  越大, 氢原子所处的能级能量就越大, C 正确; 电子远离原子核的过程中, 库仑力做负功, 电势能增大, D 正确。

4. D 解析: 氢原子的核外只有一个电子, 这个电子在某时刻只能处在某一个可能的轨道上, 在某段时间, 由某一轨道直接跃迁到另一轨道时, 可能的情况只有一种。因为  $r_a > r_b$ , 所以电子是从高能级向低能级跃迁, 跃迁过程中要辐射特定频率的光子, 故 D 选项正确。

5. D 解析: 由题意可知  $6 = \frac{n(n-1)}{2}$ , 得  $n=4$ , 即能发出 6 种不同频率的光的一定是  $n=4$  能级的氢原子, 则照射氢原子的单色光的光子能量为  $-0.85 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 12.75 \text{ eV}$ , 故 A、B、C 错误, D 正确。

6. ABD 解析: 玻尔的原子理论表明, 氢原子核外电子绕核做匀速圆周运动, 其向心力由原子核对它的库仑引力来提供, 因为  $r_n = n^2 r_1$ , 所以  $r_1 : r_2 = 1 : 4$ , A 正确; 由

$$\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{ke^2}{r_n^2}, \text{得电子在某条轨道上运动时, 电子运动的动}$$

能  $E_{kn} = \frac{ke^2}{2r_n}$ , 则  $E_{k1} : E_{k2} = 4 : 1$ , B 正确; 由电子运动的

$$\text{速度 } v_n = e \sqrt{\frac{k}{mr_n}}, \text{得 } v_1 : v_2 = 2 : 1, \text{C 错误; 由电子绕}$$

$$\text{核做圆周运动的周期 } T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n} = \frac{2\pi r_n}{e} \sqrt{\frac{mr_n}{k}}, \text{得 } T_1 :$$

$$T_2 = 1 : 8, \text{D 正确。}$$

7. A 解析: 根据题意可知, 波长为  $121.6 \text{ nm}$  的氢原子谱线对应的光子能量为  $10.2 \text{ eV}$ ,  $n=2$  和  $n=1$  能级之间的跃迁释放的光子能量为  $E_{21} = -3.4 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 10.2 \text{ eV}$ , 故 A 正确;  $n=3$  和  $n=1$  能级之间的跃迁释放的光子能量为  $E_{31} = -1.51 \text{ eV} - (-13.6 \text{ eV}) = 12.09 \text{ eV}$ , 故 B 错误;  $n=3$  和  $n=2$  能级之间的跃迁释放的光子能量为  $E_{32} = -1.51 \text{ eV} - (-3.4 \text{ eV}) = 1.89 \text{ eV}$ , 故 C 错误;  $n=4$  和  $n=2$  能级之间的跃迁释放的光子能量为  $E_{42} = -0.85 \text{ eV} - (-3.4 \text{ eV}) = 2.55 \text{ eV}$ , 故 D 错误。

8. D 解析: 氢原子由基态跃迁到激发态时, 氢原子吸收光子, 则能量增大, 即动能和电势能之和增大, 轨道半径增大, 根据  $k \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  知, 电子的动能为  $E_k = \frac{1}{2} mv^2 =$

$$\frac{ke^2}{2r}, \text{可知电子动能减小, 由于动能和电势能之和增大, 则}$$

其电势能增大, 故 A 错误; 根据能量守恒得  $h\nu + E_1 =$

$$\frac{1}{2} mv^2, \text{解得电离后电子的速度大小为 } v = \sqrt{\frac{2(h\nu + E_1)}{m}},$$

故 B 错误; 一个处于  $n=4$  能级的激发态的氢原子, 向低能级跃迁时最多可辐射出 3 种不同频率的光, 分别是从  $n=4$  跃迁到  $n=3$ , 再从  $n=3$  迁到  $n=2$ , 最后从  $n=2$  跃迁到  $n=1$ , 故 C 错误; 第一激发态氢原子的能量为  $\frac{E_1}{4}$ ,

其电离能等于  $-\frac{E_1}{4}$ , 故 D 正确。

9. C 解析: 处于  $n=2$  能级的氢原子不能吸收  $10.20 \text{ eV}$ 、 $2.89 \text{ eV}$  的能量, 则选项 A、B 错误; 处于  $n=2$  能级的氢原子能吸收  $2.55 \text{ eV}$  的能量而跃迁到  $n=4$  的能级, 然后向低能级跃迁时辐射光子, 其中从  $n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级时辐射出的光子的能量小于  $1.62 \text{ eV}$ , 可被红外测温仪捕捉, 选项 C 正确; 处于  $n=2$  能级的氢原子能吸收  $1.89 \text{ eV}$  的能量而跃迁到  $n=3$  能级, 从  $n=3$  能级向低能级跃迁时辐射光子的能量均大于  $1.62 \text{ eV}$ , 不能被红外测

温仪捕捉,选项 D 错误。

10.解析:(1) $E_4 = \frac{E_1}{4^2} = -0.85 \text{ eV}$ 。

(2) $r_4 = 4^2 r_1, k \frac{e^2}{r_4^2} = m \frac{v^2}{r_4}$

$E_{k4} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{ke^2}{32r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{32 \times 0.53 \times 10^{-10}} \text{ J} \approx 1.36 \times$

$10^{-19} \text{ J} = 0.85 \text{ eV}$ 。

(3)由于  $E_4 = E_{k4} + E_{p4}$ , 因此电势能  $E_{p4} = E_4 - E_{k4} = -1.7 \text{ eV}$

(4)能级差最小的是  $n=4 \rightarrow n=3$ , 所辐射的光子能量为  $\Delta E = h\nu = E_4 - E_3 = E_4 - \frac{E_1}{3^2} = -0.85 \text{ eV} - (-1.51 \text{ eV}) = 0.66 \text{ eV}$ 。

解得  $\nu \approx 1.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ 。

答案:(1) $-0.85 \text{ eV}$  (2) $0.85 \text{ eV}$

(3) $-1.7 \text{ eV}$   $1.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$

## 课后素养评价(十六)

1.B 解析:根据  ${}_Z^AX$  所表示的物理意义,  ${}_2^4\text{He}$  符号的左下角数字 2 表示的是质子数或原子序数,也等于电中性时核外电子数,  ${}_2^4\text{He}$  符号的左上角数字 4 表示的是核子数,为质子数与中子数之和,故选项 B 正确。

2.AB 解析: ${}_Z^AX$  表示原子核,其中 X 表示元素符号,A 表示原子核的质量数,Z 表示原子核的电荷数,即质子数为 Z,中子数为  $A-Z$ ,核子数就是质子数和中子数之和,核子数为 A,故 A、B 正确。

3.C 解析: ${}_2^3\text{He}$  核内质子数为 2,  ${}_1^3\text{H}$  核内质子数为 1,两者质子数不同,不是同位素,A 错误; ${}_2^3\text{He}$  核内中子数为 1, B 错误; ${}_2^3\text{He}$  核内有 2 个质子和 1 个中子,核外电子数为 2,故 C 正确,D 错误。

4.AB 解析:氕、氘、氚是氢的三种同位素,质子数和核外电子数相同,都为 1,中子数等于核子数减去质子数,故中子数各不相同,所以 A、B 选项正确。

5.CD 解析:核力是一种强相互作用,是一种短程力,相邻的核子间才有这种相互作用,核子之所以能够结合成原子核,正是由于它们之间有核力存在。故 C、D 正确,A、B 错误。

6.AB 解析:核力是短程力,每个核子只跟邻近的核子发生核力作用,在原子核的尺度内,核力比库仑力大得多,A、B 正确;核力是一种强相互作用,C 错误;原子核越大,

它的结合能越大,但平均结合能不一定越大,原子核中的核子结合得也不一定越牢固,D 错误。

7.CD 解析:核力为短程力,只发生在相邻核子之间,故 A、B 错误;当  $n$  个核子相互靠近至核力作用范围而结合成原子核时,核力做正功,该过程“势能”一定减小,故 C 正确;对质子数较多的原子核,由于只有相邻的质子间才有核力,但各个质子间均有很强的库仑斥力,随着质子数增加,其库仑斥力增加,对于稳定的原子核,必须存在较多的中子才能维系平衡,故 D 正确。

8.B 解析:分子间作用力的作用范围约在  $10^{-10} \text{ m}$  数量级。强相互作用和弱相互作用都是短程力,作用范围分别小于  $10^{-15} \text{ m}$  和  $10^{-18} \text{ m}$ ,在分子间作用力的作用范围内强相互作用和弱相互作用都不存在;在分子间作用力作用范围内引力相互作用和电磁相互作用都存在,但由于电磁相互作用远大于引力相互作用,引力相互作用可以忽略不计,因此分子间作用力实质上属于电磁相互作用,B 正确。

9.D 解析:钍核的质量数为 234,质子数为 90,A 错误。铍核的质子数为 4,中子数为 5,B 错误。同位素的质子数相同而中子数不同,即质量数不同,C 错误,D 正确。

10.A 解析: ${}_{82}^{208}\text{Pb}$  比  ${}_{90}^{232}\text{Th}$  质子数少  $(90-82)=8$  个,核子数少  $(232-208)=24$  个,所以中子数少  $(24-8)=16$  个,故 A 正确,B、C、D 错误。

11.解析:(1)同位素质子数相同、中子数不同,核外电子数与质子数相同,故粒子数不相同的是中子数。故选 B。

(2) ${}_{8}^{16}\text{O}$ 、 ${}_{8}^{17}\text{O}$ 、 ${}_{8}^{18}\text{O}$  的质量数分别是 16、17、18,故  ${}_{8}^{18}\text{O}$  的质量最大。

(3)三种同位素的质子数相同,核外电子数相同故化学性质相同。

答案:(1)B (2) ${}_{8}^{18}\text{O}$  (3)相同

12.解析:根据质子数与原子序数相同,可以得到 J、K、L 三种原子核的质子数分别是 9、10、10;中子数等于质量数减去质子数的差值,计算得出 J、K、L 三种原子核的质子数分别为 9、8、9。

故 J 的质子数和中子数分别为 9 和 9,K 的质子数和中子数分别为 10 和 8,L 的质子数和中子数分别为 10 和 9。

答案:

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

## 课后素养评价(十七)

1. CD 解析:  $\alpha$  射线是实物粒子流, 不是电磁波, A 错误;  $\beta$  射线是原子核中的中子转变成质子时释放的电子流, 不是核外电子电离后形成的, B 错误; X 射线是原子的内层电子受到激发后, 原子从高能级向低能级跃迁而产生的, 对阴极中的原子和原子核的结构没有影响, C 正确; 放射性元素有射线放出时, 原子核的组成一定发生了变化, D 正确。

2. AC 解析:  $\beta$  射线是高速电子流, 它是从原子核内部放射出来的, 它的电离作用较弱, 穿透能力较强, 能穿透几毫米厚的铝板, 但不能穿透几厘米厚的铅板, A、C 正确。

3. AD 解析:  $\alpha$  衰变的实质是原子核中的两个质子和两个中子结合成一个氦核释放出来,  $\beta$  衰变的实质是原子核中的一个中子变成一个质子和一个电子, 然后释放出电子,  $\gamma$  射线伴随  $\alpha$  衰变或  $\beta$  衰变的产生而产生, 所以这三种射线都是从原子核内部释放出来的, A、D 正确, B、C 错误。

4. A

5. B 解析: 假设古树死亡时  $^{14}\text{C}$  的质量为  $m_0$ , 现在的质量为  $m$ , 由死亡至今经过了  $n$  个半衰期, 由题意可知  $\frac{m}{m_0} =$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{4}, \text{解得 } n = 2, \text{所以古树死亡的时间距今约}$$

$5730 \times 2 \text{ 年} = 11460 \text{ 年}$ , 故 B 正确。

6. B 解析: 经过 60 天时间, 甲元素经过了 4 个半衰期, 乙元素经过了 2 个半衰期, 由题知  $m_{\text{甲}} \left(\frac{1}{2}\right)^4 = m_{\text{乙}} \left(\frac{1}{2}\right)^2$ , 则  $m_{\text{甲}} : m_{\text{乙}} = 4 : 1$ , 故 B 正确。

7. B 解析: 由于一张纸就可以把  $\alpha$  射线挡住, 则  $\alpha$  射线不能到达荧光屏。如果磁场方向垂直纸面向里, 则 O 点为  $\gamma$  射线形成的亮斑,  $\beta$  射线形成的亮斑应在 O 点下方; 如果磁场方向垂直纸面向外, 则 O 点和 P 点分别为  $\gamma$  和  $\beta$  射线形成的亮斑, 故 B 正确。

8. AD 解析: 半衰期是由原子核内部自身因素决定的, 人类无法通过改变外部环境来改变碘 131 衰变的快慢, A 正确; 半衰期是对大量原子核衰变统计得出的规律, 对少量原子核不适用, B 错误;  $\beta$  射线是高速电子流,  $\gamma$  射线是电磁波,  $\gamma$  射线的穿透本领比  $\beta$  射线强, C 错误; 碘 131 发生  $\beta$  衰变时所释放的电子是原子核内的中子转化为质子时产生的, D 正确。

9. AC 解析: 题述变化过程可表示为  $^M_Z\text{X} \xrightarrow{\alpha} ^{M-4}_{Z-2}\text{P} \xrightarrow{\beta} ^{M-4}_{Z-1}\text{Q}$ ,  $^N_Z\text{Y} \xrightarrow{\beta} ^N_{Z+1}\text{R} \xrightarrow{\alpha} ^{N-4}_{Z-1}\text{S}$ , 由此可知, Q 与 S 是同位素, R 比 S 多 2 个中子, A、C 正确。

10. AD 解析: 从轨迹可以看出两粒子的运动方向不同, 但开始运动的瞬间所受洛伦兹力方向相同, 说明等效电流方向相同, 则发生了  $\beta$  衰变; 由动量守恒可知, 两粒子的动量大小相等, 又  $qvB = \frac{mv^2}{r}$ , 得  $r = \frac{mv}{qB}$ , 则  $\beta$  粒子的半径大, 故 b 为  $\beta$  粒子的径迹; 在切点,  $\beta$  粒子在磁场中受力向上, 由左手定则可以判断出磁场方向垂直于纸面向里, A、D 正确。

11. C 解析: 要测定聚乙烯薄膜的厚度, 则要求射线可以穿透薄膜, 因此  $\alpha$  射线不合适, 另外, 射线穿透作用还要受薄膜厚度影响,  $\gamma$  射线穿透能力最强, 薄膜厚度基本不会影响  $\gamma$  射线的穿透, 所以只能选用  $\beta$  射线, 而氦 222 的半衰期太短, 铀 238 的半衰期太长, 所以只有铯 90 较合适, 可以长期稳定使用, C 正确。

## 课后素养评价(十八)

1. D 解析: 由电荷数守恒和质量数守恒, 可知 X 为  $^4_2\text{He}$ 。

2. D 解析: 由电荷数守恒和质量数守恒, 可知 X 的电荷数为 1, 质量数为 0, 所以是正电子; Y 的电荷数为 0, 质量数为 1, 所以是中子; Z 的电荷数和质量数都为 1, 所以是质子, D 正确。

3. BD 解析: 中等质量的原子核结合成重核的过程, 核子的比结合能减小, 整个过程将要吸收能量, 故 A 选项错误; 质量较大的重核分裂成中等质量的原子核, 是上述过程的逆过程, 能释放大量核能, 故 B 选项正确; 中等质量的原子核分裂成质量较小的轻核, 核子的比结合能减小, 整个过程将要吸收能量, 故 C 选项错误; 质量较小的轻核结合成中等质量的原子核, 核子的比结合能变大, 整个过程能释放大量核能, 故 D 选项正确。

4. B 解析: 该核反应的方程式为  $^1_0\text{n} + ^4_2\text{A} \rightarrow ^3_1\text{H}$ , 根据质量数守恒和电荷数守恒可以求出  $Z = 1, A = 1$ , 说明原子核 A 是  $^1_1\text{H}$ , 两个核子反应结合成氦核放出的能量为 Q, 比结合能指的是平均一个核子释放的能量, 即为  $\frac{Q}{2}$ , 故 B 正确。

5. B 解析: 反应前的质量总和为  $m_1 + m_3$ , 质量亏损  $\Delta m = m_1 + m_3 -$

$m_2)c^2$ , 选项 B 正确。

6.B 解析:反应前氦核的结合能是  $E_1 = 2 \times 1.09 \text{ MeV} = 2.18 \text{ MeV}$ , 氦核的结合能为  $E_2 = 3 \times 2.78 \text{ MeV} = 8.34 \text{ MeV}$ , 反应后生成的氦核的结合能为  $E_3 = 4 \times 7.03 \text{ MeV} = 28.12 \text{ MeV}$ , 反应过程释放出的能量为  $\Delta E = E_3 - E_2 - E_1 = (28.12 - 8.34 - 2.18) \text{ MeV} = 17.6 \text{ MeV} \approx 2.82 \times 10^{-12} \text{ J}$ , 故 B 正确, A、C、D 错误。

7.A 解析:原子核是核子结合在一起构成的,要把它们分开,需要能量,这就是原子核的结合能,故 A 正确;平均结合能越大,原子核中核子结合得越牢固,原子核越稳定,故 B 错误;原子核的质量小于组成它的核子的质量之和,这个现象叫作质量亏损,故 C 错误;质量数是指核子数,核反应前后存在质量亏损,但质量数是守恒的,故 D 错误。

8.ABC 解析: $E = mc^2$  表明物体具有的能量与其质量成正比,其中的  $E$  不能理解为发生核反应时释放的核能,选项 A 正确, D 错误;根据  $\Delta E = \Delta mc^2$  可以计算核反应中释放的核能,选项 B 正确;一个中子和一个质子结合成氘核时会有质量亏损,亏损的质量以能量的形式释放出来,即释放出核能,选项 C 正确。

9.A 解析:D、E 的平均核子质量大于 F 的平均核子质量, D、E 结合成 F,会出现质量亏损,结合过程要释放能量, A 正确, B 错误; C、B 结合成 A, F、C 结合成 B,质量都增加,结合过程要吸收能量, C、D 错误。

10.D

11.解析:(1)一个质子和两个中子结合成氦核的核反应方

程是  ${}^1_1\text{H} + 2{}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^3_2\text{He}$ , 反应前各核子总质量为

$$m_p + 2m_n = 1.007\ 825 \text{ u} + 2 \times 1.008\ 665 \text{ u} = 3.025\ 155 \text{ u},$$

反应后新核的质量为  $m_{\text{He}} = 3.016\ 050 \text{ u}$ , 质量亏损为

$$\Delta m = 3.025\ 155 \text{ u} - 3.016\ 050 \text{ u} = 0.009\ 105 \text{ u}$$

因反应前的总质量大于反应后的总质量,故此核反应释放能量,释放的核能为

$$\Delta E = 0.009\ 105 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 8.48 \text{ MeV}.$$

(2)氦核的结合能为  $\Delta E = 8.48 \text{ MeV}$ 。

它的比结合能为  $\frac{\Delta E}{3} \approx 2.83 \text{ MeV}$ 。

(3)放出光子的频率为

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{8.48 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \text{ Hz} \approx 2.05 \times 10^{21} \text{ Hz}.$$

答案:(1)放出能量 8.48 MeV

(2)8.48 MeV 2.83 MeV (3) $2.05 \times 10^{21} \text{ Hz}$

## 课后素养评价(十九)

1.D 解析:发生裂变反应的过程中,核子数守恒,入射的中子未消失,故 A、C 错误;能量来自原子核内部,由于重核在分裂为中等质量的原子核时,比结合能增大而释放出能量,故 B 错误, D 正确。

2.AB 解析:目前核潜艇是利用重核裂变提供动力的,选项 A 正确;重核裂变要释放核能,则反应前后一定有质量亏损,选项 B 正确;根据质量数和电荷数守恒可知,该核反应中  $d=2$ ,选项 C 错误;铀核不如裂变后生成的新核稳定,可知铀核的比结合能比裂变后生成的新核的比结合能小,选项 D 错误。

3.CD 解析:核电站通过核反应堆将核能转化为内能,再利用内能使水变成水蒸气,利用高温高压的蒸汽推动汽轮机发电;反应堆中的控制棒是控制反应速度的,减速剂的作用是使快中子变为慢中子;目前我国核电站使用的核燃料是浓缩铀。故正确答案为 C、D。

4.C 解析:控制反应速度的方式是利用控制系统装置,改变镉棒插入的深度,吸收一些中子,从而控制链式反应的速度, C 选项正确。

5.BD 解析:两个轻核聚变为较大质量的原子核时可释放能量,但其生成物不是中等质量的原子核,故 A 错误;聚变反应放出的能量比同样质量的重核裂变时释放的能量大得多,故 B 正确;裂变反应的条件是裂变物质的体积达到临界体积,而聚变反应的条件是原子核间距达到  $10^{-15} \text{ m}$ ,所以必须有足够大的动能克服原子核间的斥力做功,故 C 错误, D 正确。

6.ABD 解析:由三类粒子的特性可知, A、B 正确;目前发现的轻子只有 6 种, C 错误;夸克模型经过几十年的发展,已知夸克有 6 种,它们带的电荷量分别为元电荷的  $+\frac{2}{3}$  或  $-\frac{1}{3}$ , D 正确。

7.C 解析:要使铀核裂变产生链式反应,铀块的体积必须大于等于临界体积,否则不会发生链式反应;裂变反应中产生的中子为快中子,这些快中子不能直接引发新的裂变;如果铀块的质量大,则其体积大,若超过临界体积,则发生链式反应,由此知 A、B、D 错误, C 正确。

8.C 解析:根据质量数与电荷数守恒可知, X 为  ${}^{18}_8\text{O}$ , 故 A 错误;核聚变是轻核结合成重核的过程(如氢弹原理),本

题中的衰变是单个原子核自发转变为另一种原子核,属于放射性衰变(具体为 $\beta$ 衰变),而非核聚变,故B错误; $1\text{ g }^{18}\text{F}$ 经过110 min即一个衰变周期,则有一半发生衰变, $^{18}\text{F}$ 质量变为0.5 g,故C正确; $^0_0\nu$ 不带电,在磁场中运动时不偏转,故D错误。

9. AD 解析:“人造太阳”是利用核聚变反应制造的,其核反应方程是 $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ ,故A正确,B错误;根据爱因斯坦质能方程可知,“人造太阳”释放的核能的计算式是 $\Delta E = \Delta mc^2$ ,故D正确,C错误。

10. 解析:氢弹内装的氘核和氚核在高温下聚变生成氦核,核聚变方程为 $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$

当一个氘核 $^2_1\text{H}$ 与一个氚核 $^3_1\text{H}$ 发生反应时放出的能量为 $\Delta E = \Delta m \times 931.5\text{ MeV} = (2.014\ 1 + 3.016\ 0 - 4.002\ 6 - 1.008\ 7) \times 931.5\text{ MeV} \approx 17.5\text{ MeV}$

1 kg 氦( $^4_2\text{He}$ )中所含的原子核数目为

$$N = nN_A = \frac{1\ 000}{4.002\ 6} \times 6.02 \times 10^{23} \approx 1.5 \times 10^{26}\text{ 个}$$

这样合成1 kg  $^4_2\text{He}$ 时所放出的总能量为

$$E = N\Delta E = 1.5 \times 10^{26} \times 17.5\text{ MeV} = 2.625 \times 10^{27}\text{ MeV}.$$

答案:  $2.625 \times 10^{27}\text{ MeV}$

11. 解析:(1)根据质量数和电荷数守恒可知,X的质量数为4,电荷数为2,可知“X”为 $^4_2\text{He}$ 。

(2)①该衰变过程放出的能量

$$\Delta E = [m_1 - (m_2 + m_3)]c^2 = [239.052\ 2 - (235.043\ 9 + 4.002\ 6)] \times 931\text{ MeV} \approx 5.31\text{ MeV}.$$

②由 $E_k = \frac{p^2}{2m}$ 及动量守恒可得

$$E_{\text{钍}} : E_{\text{钍X}} = m_X : m_{\text{钍}} = 4 : 235$$

$$\text{则 } E_{\text{钍X}} = 5.31 \times \frac{235}{239}\text{ MeV} = 5.22\text{ MeV}.$$

答案:见解析

## 课后素养评价(二十)

1. AD 解析:一切物体都在不停地向外辐射电磁波,且温度越高,辐射的电磁波越强,A正确,B错误;选项C是黑体辐射的特性,C错误;常温下看到的不透明、非发光物体的颜色是反射光的颜色,D正确。

2. BC 解析:物体在某一温度下能辐射不同波长的电磁波,故A错误;铁块呈现黑色,是由于它的辐射能谱密度的极大值对应的波长段在红外部分,甚至波长更长,说明它的温度不太高,故B正确;当铁块的温度较高时会呈现赤红色,说明此时辐射的电磁波中该颜色的光强度最强,

故C正确;太阳早、晚时分呈现红色,而中午时分呈现白色,是由于大气吸收并反射了部分的光,不能说明中午时分太阳温度最高,故D错误。

3. ABD 解析:根据普朗克能量量子假说,带电粒子的能量只能是某一最小值的整数倍,能量的辐射、吸收都是一份一份地进行的,并且辐射和吸收的能量是量子化的,故A、B、D正确。

4. A 解析:由 $\epsilon = h\nu$ 、 $c = \lambda\nu$ 得 $\epsilon = h \frac{c}{\lambda}$ ,可见光子的能量与其频率成正比,与其波长成反比,故A正确,B错误;任意能量的光子在真空中传播的速度都是相同的,故C、D错误。

5. C 解析:根据能量量子假说可知,光子能量与频率有关,一个光子的能量为 $\epsilon = h\nu$ ( $h$ 为普朗克常量), $N$ 个光子的能量为 $Nh\nu$ ,所以选项C正确。

6. D 解析:两束能量相同的色光,都垂直地照射到物体表面,在相同时间内打在物体表面的光子数之比为5:4,根据 $E = N\epsilon$ 可得两束光的光子能量之比为4:5;再根据 $\epsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ 知,光子能量与波长成反比,故两束光的光子波长之比为5:4。选项D正确。

7. A 解析:光是电磁波,辐射的能量也是一份一份进行的,发光功率为100 W的灯泡每秒产生的光能 $E = 100\text{ J}$ ,设灯泡每秒发出的能量子数为 $n$ , $E = nh \frac{c}{\lambda}$ ,在以电灯为球心的球面上,1 m<sup>2</sup>的面积每秒通过的能量子数 $n' = \frac{n}{4\pi r^2} = \frac{E\lambda}{4\pi r^2 hc} = \frac{100 \times 6.0 \times 10^{-7}}{4 \times \pi \times 10^2 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}\text{ 个} \approx 2.4 \times 10^{17}\text{ 个}$ ,故选A。

8. B 解析:根据 $Pt = nh\nu$ 和 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 可得每秒发出的光子数 $n = \frac{P\lambda t}{hc} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 633 \times 10^{-9} \times 1}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}\text{ 个} \approx 3.2 \times 10^{15}\text{ 个}$ ,选项B正确。

9. B 解析:由题知 $T\lambda = 2.90 \times 10^{-3}\text{ m} \cdot \text{K}$ ,则 $\lambda = \frac{2.90 \times 10^{-3}\text{ m} \cdot \text{K}}{T}$ ,而 $T = (37 + 273)\text{ K} = 310\text{ K}$ ,解得 $\lambda \approx 9.4 \times 10^{-6}\text{ m}$ ,故B项正确。

10. B 解析:根据题中给出的 $\nu = kU$ ,结合普朗克能量量子 $\epsilon = h\nu$ 可知 $\epsilon = khU$ ,则 $k = \frac{\epsilon}{hU}$ ,再根据电流做功 $W = UIt = qU$ ,得 $k = \frac{qU}{hU} = \frac{q}{h} = \frac{2e}{h}$ ,故选B。

11. A 解析:设离灯 $d = 1.0 \times 10^4\text{ m}$ 远处每平方厘米面积

上灯照射的能量每秒钟为  $E_0$ , 则有  $\frac{1 \times 1 \text{ J}}{E_0} =$

$\frac{4\pi d^2}{1 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$ ; 设光子数为  $n$ , 则有  $n \frac{hc}{\lambda} = E_0$ , 代入数据解得  $n \approx 4 \times 10^5$ , A 正确。

12. 解析: 由题意可知  $l = c\Delta t = 3.0 \times 10^8 \times 1.0 \times 10^{-11} \text{ m} = 3.0 \times 10^{-3} \text{ m} = 3.0 \text{ mm}$

用  $P$  和  $E$  分别表示红宝石激光器的发射功率和光脉冲的能量, 则有  $E = P\Delta t$

用  $\lambda$  和  $\nu$  分别表示红宝石激光器发射的激光的波长和频率, 则有  $\nu = \frac{c}{\lambda}$

因此得到的每个光子的能量  $\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

所以该列光脉冲含有的光子数

$$n = \frac{E}{h\nu} = \frac{\lambda P \Delta t}{hc} \\ = \frac{793.4 \times 10^{-9} \times 1.0 \times 10^{10} \times 1.0 \times 10^{-11} \text{ J}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \text{ J}} \\ \approx 4.0 \times 10^{17} \text{ 个。}$$

答案: 3.0 mm  $4.0 \times 10^{17}$  个

## 课后素养评价(二十一)

1. ABD 解析: 根据光电效应实验得出的结论可知, 保持入射光的频率不变, 入射光的光强变大, 饱和光电流变大, 故 A 正确; 根据爱因斯坦光电效应方程得入射光的频率变高, 光电子的最大初动能变大, 故 B 正确; 截止电压的大小与入射光的频率有关, 与入射光的光强无关, 保持入射光的光强不变, 若频率低于截止频率, 则没有光电流产生, 故 C 错误, D 正确。

2. A 解析: 锌板原来不带电, 验电器的指针发生了偏转, 说明锌板在紫外线灯的照射下发生了光电效应, 发生光电效应时, 锌板向空气中发射电子, 所以锌板带正电, 验电器的指针也带正电, A 正确。金属的逸出功与金属本身的材料有关, 与照射光的频率无关, B 错误。增大紫外线灯照射的强度, 即单位时间内照在单位面积上的光子数增多, 所以单位时间内产生的光电子数增多, C 错误。能否发生光电效应与光照强度无关, 取决于照射光的频率和金属的截止频率间的关系, D 错误。

3. A 解析: 设该金属的逸出功为  $W_0$ , 若用能量为  $E_0$  的光子照射到该金属表面时, 产生光电子的最大初动能为  $E$ , 根据光电效应方程知  $E = E_0 - W_0$ , 则  $W_0 = E_0 - E$ ; 改用能量为  $2E_0$  的光子照射该金属表面时, 金属的逸出功不

变, 逸出的光电子的最大初动能为  $E_k = 2E_0 - W_0 = E_0 + E$ , 故 A 正确。

4. A 解析: 由题意可知, 遏止电压  $U_c = 1.7 \text{ V}$ , 最大初动能  $E_k = eU_c = 1.7 \text{ eV}$ , 故 B 错误; 根据光电效应方程  $E_k = E - W_0$ , 可知逸出功  $W_0 = E - E_k = 2.75 \text{ eV} - 1.7 \text{ eV} = 1.05 \text{ eV}$ , 故 A 正确; 开关 S 闭合, 当滑动触头向  $a$  端滑动时, 反向电压变大, 光电流减小, 则电流表 G 示数减小, 故 C 错误; 断开开关 S, 用光子能量为  $1.00 \text{ eV}$  的强光照射, 无法发生光电效应, 电流表 G 不偏转, 故 D 错误。

5. B 解析: 在康普顿效应中, 入射光子与晶体中的电子碰撞时, 把部分动量转移给电子, 则光子动量减小, 但速度仍为光速  $c$ , 根据  $p = \frac{h\nu}{c}$  知, 光子频率减小, 康普顿效应说明光子不仅具有能量而且具有动量, 证明了光的粒子性, 故 A、C、D 错误, B 正确。

6. C 解析: 已知三种光的波长关系为  $\lambda_a < \lambda_b < \lambda_c$ , 则由  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  可知, 频率关系为  $\nu_a > \nu_b > \nu_c$ , 用  $b$  光照射某金属板时, 能发生光电效应, 则用  $c$  光照射这个金属板时, 可能会发生光电效应, 用  $a$  光照射这个金属板时, 一定能发生光电效应, 故 A、B 错误; 相同时间内从金属表面逸出的光电子数目与入射光的强度有关,  $b$  光的照射强度越强, 相同时间内从金属表面逸出的光电子数目就会越多, 故 C 正确; 根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$  可知, 逸出的光电子的最大初动能与光的强度无关, 故 D 错误。

7. AD 解析: 由爱因斯坦光电效应方程  $\frac{1}{2}mv_0^2 = h\nu - W_0$ , 与  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , 可列出两个方程, 即  $\frac{1}{2}mv_0^2 = h \frac{c}{\lambda} - W_0$  与  $\frac{1}{2}mv_0'^2 = h \frac{c}{2\lambda} - W_0$ , 由于  $v_0 = 2v_0'$ , 解得  $W_0 = \frac{hc}{3\lambda}$ , 故 A 正确, B 错误; 根据发生光电效应现象的条件知,  $\frac{hc}{\lambda_0} \geq W_0 = \frac{hc}{3\lambda}$  时, 即  $\lambda_0 \leq 3\lambda$  时, 可发生光电效应现象, 故 C 错误, D 正确。

8. B 解析: 由题意可知, 电流表指针没有偏转, 是由于没有发生光电效应, 发生光电效应的条件为  $\nu > \nu_0$ , 即增大黄光的强度不能使电流表指针发生偏转, A 错误。换用频率高的蓝光照射, 可能发生光电效应, 导致电流表指针发生偏转, B 正确。当没有发生光电效应时,  $P$  向  $a$  滑动, 减小电压, 更不会形成光电流, C 错误。电源正、负极对调, 若能发生光电效应, 则逸出来的光电子反而做减速运

动,更不可能形成光电流,D错误。

9.解析:根据爱因斯坦光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$

由动能定理有  $eU_c = E_k$ ,而  $W_0 = h\nu_c$

$$\text{得 } U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_c$$

$$\text{结合图像知 } k = \frac{h}{e} = \frac{U_{c2} - U_{c1}}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{U_{c1}}{\nu_1 - \nu_c}$$

$$\text{解得普朗克常量 } h = \frac{e(U_{c2} - U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1}$$

$$\text{该金属的截止频率 } \nu_c = \frac{U_{c2}\nu_1 - U_{c1}\nu_2}{U_{c2} - U_{c1}}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{e(U_{c2} - U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1} \quad (2) \frac{U_{c2}\nu_1 - U_{c1}\nu_2}{U_{c2} - U_{c1}}$$

## 课后素养评价(二十二)

1.B 解析:爱因斯坦的“光子说”认为光是一份一份的,是不连续的,“光子说”并没有否定光的波动性,而牛顿的“微粒说”与“光子说”是对立的,选项 A 错误;根据爱因斯坦的“光子说”可知,光子的能量  $\epsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$ ,波长越长,光子的能量越小,选项 B 正确;某一单色光,其波长恒定,光子的能量也是恒定的,该束单色光的能量是不连续的,选项 C 错误;大量光子易表现出波动性,而少量光子易表现出粒子性,选项 D 错误。

2.B 解析:爱因斯坦的“光子说”并没有否定“电磁说”,只是说在一定条件下光是表现粒子性的,A 错误;光电效应说明光具有粒子性,说明光的能量是一份一份的,B 正确,D 错误;光的波动性和粒子性不是对立的,而是有机统一的,C 错误。

3.D 解析:电子是实物粒子,能发生衍射现象,该实验说明物质波理论是正确的,这种波可称为物质波、德布罗意波或概率波,故选 D。

4.D 解析:物质波与机械波是两个不同的概念,二者的本质不同,A 错误;德布罗意认为,任何一个运动着的物体,都有一种波和它对应,即物质波,B 错误;电子是实物粒子,电子的衍射现象表明运动着的实物粒子具有波动性,证实了德布罗意的假设是正确的,C 错误;宏观物体运动时,对应的德布罗意波长非常小,不容易观察到它的衍射或干涉现象,但不能否定其波动性,D 正确。

5.C 解析:由题知,粒子速度为  $v$  时, $\lambda_1 = \frac{h}{mv}$ ,粒子速度为  $2v$  时, $\lambda_2 = \frac{h}{m \cdot 2v} = \frac{1}{2}\lambda_1$ ,故 C 正确。

6.AC 解析:波长为  $\lambda = cT = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{p}$  ( $c$  为光速),波的量为  $E = h\nu = pc$ ,可得  $c = \frac{E}{p} = \frac{E\lambda}{h}$ ,A、C 正确。

7.A 解析:根据光子的能量为  $E = h\nu$ ,因蓝光频率大于红光的频率,故蓝光光子的能量大于红光光子的能量,故 A 正确;根据光子的动量为  $p = \frac{h}{\lambda}$ ,因蓝光的波长小于红光的波长,故蓝光光子的动量大于红光光子的动量,故 B 错误;因蓝光频率大于红光的频率,故玻璃对蓝光的折射率大于红光的,根据光在介质的传播速度  $v = \frac{c}{n}$ ,所以在玻璃中传播时,蓝光的速度小于红光的速度,故 C 错误;光的频率与传播的介质无关,蓝光在玻璃中传播时的频率与它在空气中传播时的频率是相同的,故 D 错误。

8.B 解析:普朗克认为黑体辐射的能量是一份一份的,是量子化的,并不连续,故 A 错误;紫光的频率高于红光,红光能使某金属产生光电效应,则紫光也能使该金属产生光电效应,故 B 正确;石墨对 X 射线的散射过程遵循动量守恒,光子和电子碰撞后,电子获得一定动量,光子动量变小,根据波长  $\lambda = \frac{h}{p}$  可知波长变长,故 C 错误;德布罗意认为物质都具有波动性,包括质子和电子,故 D 错误。

9.B 解析:衍射现象说明光具有波动性,光电效应说明光具有粒子性,该实验说明光具有波粒二象性;光照射锌板后,与锌板相连的验电器的指针有张角,说明锌板带电,但不能确定带何种电,故选 B。

10.D 解析:当波通过尺寸与其波长相近的障碍物或狭缝时,会发生明显的衍射现象。对于粒子而言,德布罗意波长  $\lambda$  决定了其波动性,衍射的明显程度通常与波长  $\lambda$  和狭缝宽度  $d$  的比值相关,当  $\frac{\lambda}{d}$  接近或大于 1 时,衍射现象非常明显,则可知电子的衍射现象最明显,故选 D。

11.D 解析:由德布罗意波长  $\lambda = \frac{h}{p}$  知, $p$  是电子的动量,则  $p = mv = \sqrt{2meU}$ ,而  $\lambda = \frac{d}{n}$ ,代入得  $U = \frac{n^2 h^2}{2med^2}$ 。故正确答案为 D。

12.解析:小汽车的动量为  $p = mv = 1\,000 \times 40 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 4 \times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$  小汽车的德布罗意波长为

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 10^4} \text{ m} = 1.7 \times 10^{-38} \text{ m}.$$

答案:  $1.7 \times 10^{-38} \text{ m}$

## 章末质量评估(一)

- 1.C
- 2.B 解析:清水变红是扩散现象,说明分子不停地做无规则运动,A、C、D错误,B正确。
- 3.B 解析:曲线下的面积表示分子速率从 $0 \rightarrow \infty$ 所有区间内分子数的百分比之和,显然其数值应等于1,当温度升高时,分子的速率普遍增大,所以曲线的峰值向右移动,曲线变宽,但由于曲线下总面积恒等于1,所以曲线的高度相应降低,可知 $T_{III} > T_{II} > T_I$ ,B正确。
- 4.C 解析:晶体的外形、物理性质是由晶体的微观结构决定的,A、B、D正确;各向同性的物质不一定是非晶体,多晶体也具有这样的性质,C错误。
- 5.D 解析:表面张力是液体表面层内分子引力的宏观表现,不能说表面张力就是分子间作用力,故A选项错误;液体表面张力的方向总是与液面相切,故B选项错误;表面张力的方向与液面上的分界线垂直,且表面张力有使液面收缩的趋势,故C选项错误,D选项正确。
- 6.C 解析:由题图可知,气体由状态A变化到状态B的过程为等容变化,由查理定律得 $\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$ , $p_A > p_B$ ,故 $T_A > T_B$ ;气体由状态B变化到状态C的过程为等压变化,由盖-吕萨克定律得 $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$ , $V_B < V_C$ ,故 $T_B < T_C$ 。选项C正确。
- 7.C 解析:因为温度不变,由玻意耳定律可得 $p_1 \Delta V = p \Delta V'$ , $p(V+n\Delta V') = p'V$ ,代入数据解得 $n=15$ 次。故选C。
- 8.BD
- 9.AB 解析:对于一定质量的理想气体,根据理想气体状态方程有 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ , $p_A V_A > p_D V_D$ ,所以 $T_1 > T_2$ ,选项A正确;气体的压强由气体分子的数密度和分子的平均动能共同决定,选项B正确;若气体状态沿题图中虚线由A→B,等温线离原点越远,温度越高,A、B两点在同一条等温线上,则气体的温度先升高后降低,选项C错误;B→C过程,气体体积不变,所以分子的数密度不变,压强降低是由温度降低,气体分子的平均速率减小引起的,选项D错误。
- 10.AB 解析:液晶既具有流动性,又具有光学各向异性,液晶显示器利用液晶的光学各向异性显示不同颜色,A

正确;扩散现象、布朗运动都反映分子在做无规则的热运动,B正确;气体温度升高时,气体热运动变得剧烈,但气体的体积变化未知,所以压强变化无法判断,C错误;若表面层的液体分子比液体内部的分子分布稀疏,分子间表现为引力,所以液体与固体之间表现为不浸润,D错误。

- 11.解析:(1)为了显示油膜的形状,需要在水面上撒痱子粉。

(2)一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积

$$V' = \frac{V_0}{n} \times \frac{V_{\text{油}}}{V_{\text{总}}} = \frac{1}{100} \times \frac{1}{500} \text{ mL} = 2 \times 10^{-5} \text{ mL}.$$

(3)根据大于半个方格的算一个,小于半个方格的舍去的计数法,数出小方格的个数,油膜轮廓占据的方格数大约为115个,故面积 $S = 115 \times 20 \times 20 \text{ mm}^2 \approx 4.6 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$$\text{油酸分子的直径 } d = \frac{V'}{S} = \frac{2 \times 10^{-5} \times 10^{-6}}{4.6 \times 10^4 \times 10^{-6}} \text{ m} = 4.3 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

答案:(1)痱子粉 (2) $2 \times 10^{-5}$  (3) $4.3 \times 10^{-10}$

- 12.解析:(1)根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{t+273 \text{ K}} = C$ 得, $p = \frac{C}{V}(t+273 \text{ K})$ ,可知当 $p=0$ 时, $t=-273 \text{ }^\circ\text{C}$ ,即绝对零度。

(2)根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{t+273 \text{ K}} = C$ 得 $p = \frac{C}{V}(t+273 \text{ K})$ ,可知斜率越大,体积越小,所以斜率不同的原因是气体体积不同。

(3)根据等容变化规律得 $\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T} = C$ ,又 $\Delta T = \Delta t$ ,得 $\Delta p = \frac{p}{T} \Delta t = C \Delta t$ ,即 $\Delta p$ 与 $\Delta t$ 成正比,故A、B、D错误,C正确。

答案:(1)绝对零度 (2)气体体积不同 (3)C

- 13.解析:(1)气体做等容变化,由等容变化规律得

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

其中 $T_1 = t_1 + 273 \text{ K} = 300 \text{ K}$

$T_2 = t_2 + 273 \text{ K} = 360 \text{ K}$

解得 $p_2 = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(2)气体体积不变,分子数密度不变,温度升高,分子平均动能增大,分子单位时间内撞击轮胎壁单位面积的次

数和作用力都增大,导致气体压强增大。

答案:(1) $3 \times 10^5$  Pa (2)见解析

- 14.解析:在乙分子靠近甲分子的过程中,分子间作用力先做正功,后做负功,分子势能先减小后增大,分子动能和分子势能之和不变。又因为无穷远处分子势能为0,当 $r=r_3$ 时可认为分子间作用力为0,分子势能为0,故当乙分子的速度为0时,分子势能最大,即

$$E_{\text{pm}} = -\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-26} \times 100^2 \text{ J} = 5 \times 10^{-23} \text{ J}.$$

答案: $5 \times 10^{-23}$  J

- 15.解析:(1)设U形管横截面积为 $S$ ,A侧空气柱长度 $l=10.0$  cm时的压强为 $p$ ;当两侧水银面的高度差为 $h_1=10.0$  cm时,空气柱的长度为 $l_1$ ,压强为 $p_1$

由等温变化规律得  $plS = p_1l_1S$

$$p_h = \rho_{\text{水银}}gh, p_{h1} = \rho_{\text{水银}}gh_1$$

由力学平衡条件得  $p = p_0 + p_h, p_1 = p_0 - p_{h1}$

联立以上各式,并代入题给数据得  $l_1 \approx 12.0$  cm。

(2)当A、B两侧的水银面达到同一高度时,设A侧空气柱的长度为 $l_2$ ,压强为 $p_2$ 。

由等温变化规律得  $plS = p_2l_2S$

由力学平衡条件有  $p_2 = p_0$

代入数据得  $l_2 \approx 10.4$  cm

设注入的水银在管内的长度为 $\Delta h$ ,依题意得

$$\Delta h = 2(l_1 - l_2) + h_1$$

解得  $\Delta h = 13.2$  cm。

答案:(1)12.0 cm (2)13.2 cm

## 章末质量评估(二)

- 1.C 解析:晶体在熔化过程中要吸热,且没有对外做功,内能增加,A错误;一定质量的气体在体积膨胀过程中,可能吸热,也可能不吸热,还有可能放热,但一定对外做功,由 $\Delta U = Q + W$ 不能确定内能是否增加,B错误;物体热膨胀会获得能量(吸热或外界做功),但对外做的功不一定小于获得的能量,故内能不一定增加,C正确;物体体积不变,温度可能改变,内能随之变化,D错误。
- 2.C 解析:在一定条件下,热量也能从低温物体传到高温物体,选项A错误;功、热、内能三者只是单位相同,但是本质不同,选项B错误;根据热力学第二定律可知,选项C正确;不违反能量守恒定律的过程也不一定能实现,也

可能违反热力学第二定律,选项D错误。

- 3.D 解析:气体的膨胀过程没有热交换,可以判断 $Q=0$ ;由于容器B内为真空,所以气体是自由膨胀,虽然体积变大,但是气体并不对外做功,即 $W=0$ ;根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ ,由以上可以判断该过程 $\Delta U=0$ ,即气体的内能不变,选项A、B错误。由于气体分子间的作用力表现为引力,所以气体体积变大时分子引力做负功,分子势能增加,由此进一步推断分子动能减小,温度降低;体积变大,温度降低,则气体压强变小,选项C错误。宏观的热现象都是不可逆的,选项D正确。
- 4.D 解析:由题知气体由a状态至b状态过程中发生等温变化,内能不变,气体的体积减小,外界对气体做功,根据热力学第一定律可知,气体放出热量,故A错误;由b状态至c状态过程中,气体的体积增大,气体对外做功,温度升高,内能增大,故B错误;c状态与a状态相比,体积相同,分子平均距离相等,故C错误;b状态与a状态相比,b状态体积小,分子平均距离较小,温度相等,分子平均动能相等,故D正确。
- 5.D 解析:以活塞为研究对象,设初态时气体压强为 $p_1$ ,活塞质量为 $m$ ,横截面积为 $S$ ,末态时气体压强为 $p_2$ 。初态时有 $F_{\text{弹}} > mg + p_1S$ ,则末位置一定高于初位置,否则不能平衡,因而外界对气体做功,由 $\Delta U = W$ (绝热)知,内能增加,温度升高,活塞重力势能增加;末态时由力的平衡条件知 $F'_{\text{弹}} = mg + p_2S$ ,弹簧仍然具有一部分弹性势能,D正确。
- 6.C 解析:活塞移动过程中,气缸内的气体对外界做的功 $W = Fl = pSh = 10$  J,根据热力学第一定律有 $\Delta U = Q + (-W) = 60 \text{ J} - 10 \text{ J} = 50 \text{ J}$ ,故选C。
- 7.A 解析:皮球体积变大,气体膨胀,对外界做功,故A正确;太阳曝晒使气体温度升高,是外界对气体传热(气体吸热),而非气体向外界传递热量,故B错误;皮球未漏气,分子总数不变,体积变大,分子的数密度减小,故C错误;温度升高,分子平均动能增大,但并非每个分子的速率都增大,只是“平均”情况,故D错误。
- 8.AD 解析:气体膨胀对外做正功,而缸内气体与外界无热交换,由热力学第一定律知,其内能一定减小,温度降低,故分子的平均动能减小,A、D正确,B、C错误。
- 9.BC 解析:海水温度自动下降时释放的内能不可能全部被收集起来用以做功,A错误;根据能量守恒定律可知,空调机在制冷过程中,从室内吸收的热量少于向室外放

出的热量, B 正确; 物体的机械能可以转化为物体的内能, C 正确; D 选项违背了热力学第二定律, D 错误。

10. CD 解析: 质量相同的氢气和氧气, 氢气的分子数多, 温度相同表明两气体分子的平均动能相同, 则氢气的压强强大, 提起插销后, 活塞右移, 氢气体积变大, 同时对氧气做功, 氧气的内能变大, 温度升高, 氢气的压强减小, 故选 C、D。

11. 解析: (1) 物质的内能是分子总动能与分子总势能之和, 在区间 II, 温度不变, 分子的平均动能不变, 吸收热量用来增加分子势能, 物质的内能增大, A 错误; 理想气体分子间的作用力为零, 不考虑分子势能, B 正确; 自然过程中, 物质的熵总是增加的, C 正确; 在区间 I (物质处于液态), 温度随着时间的增加而升高, 物质分子的平均动能也随着时间的增加而增大, D 正确。

(2) 根据热力学第一定律  $\Delta U = Q + W$  和理想气体的状态方程  $\frac{pV}{T} = C$  可知, 在吸收相同的热量  $Q$  时, 若压强不变, 体积增加,  $W < 0$ ,  $\Delta U_1 = Q - |W|$ ; 若体积不变,  $W = 0$ ,  $\Delta U_2 = Q$ , 所以  $\Delta U_1 < \Delta U_2$ , 体积不变的条件下温度升高变快。

答案: (1) BCD (2) 变快 理由见解析

12. 解析: (1) 气体在等压 (大气压) 状态下膨胀做功

$$W = p(V_2 - V_1) = 1.013 \times 10^5 \times (1.676 - 1.043) \times 10^{-6} \text{ J} \approx 169.7 \text{ J}.$$

(2) 根据热力学第一定律有

$$\Delta U = -W + Q = (-169.7 \text{ J}) + 2263.8 \text{ J} = 2094.1 \text{ J}.$$

答案: (1) 169.7 J (2) 2094.1 J

13. 解析: (1) 由热力学第一定律有

$$\Delta U = Q + W = 420 \text{ J} - 400 \text{ J} = 20 \text{ J}$$

$\Delta U$  为正, 则气体内能增加了 20 J。

(2) 由理想气体状态方程有

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_C V_C}{T_C}$$

解得  $T_C = 240 \text{ K}$ 。

答案: (1) 增加了 20 J (2) 240 K

14. 解析: (1) 状态 1 气体的温度  $T_1 = (77 + 273) \text{ K} = 350 \text{ K}$

$$\text{压强 } p_1 = p_0 = 1.05 \times 10^5 \text{ Pa}$$

状态 2 气体的温度  $T_2 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

气体做等容变化, 根据  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

可得  $p_2 = 9 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。

(2) 气体做等容变化, 外界对气体不做功, 气体吸收的热量为  $Q = -7.35 \text{ J}$

根据热力学第一定律  $\Delta U = W + Q$

可得从状态 1 到状态 2 罐内气体内能的变化  $\Delta U = -7.35 \text{ J}$

即气体内能减少了 7.35 J。

(3) 状态 2 时罐内外的压强差  $\Delta p = p_0 - p_2 = 1.5 \times 10^4 \text{ Pa}$

此时皮肤受到的吸力大小  $F = \Delta p S = 24 \text{ N}$ 。

答案: (1)  $9 \times 10^4 \text{ Pa}$  (2) 减少了 7.35 J

(3) 24 N

15. 解析: (1) 根据题意可知, 气体由状态 A 变化到状态 B 的过程中, 封闭气体的压强不变, 则有

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$$

解得  $T_B = \frac{V_B}{V_A} T_A = 330 \text{ K}$ 。

(2) 从状态 A 到状态 B 的过程中, 活塞缓慢上升, 则

$$p_B S = p_0 S + mg$$

解得  $p_B = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

根据题意可知, 气体由状态 B 变化到状态 C 的过程中, 气体的体积不变, 则有

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$$

解得  $p_C = \frac{T_C}{T_B} p_B = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(3) 根据题意可知, 从状态 A 到状态 C 的过程中气体对外做的功为

$$W_0 = p_B S d = 30 \text{ J}$$

由热力学第一定律有

$$\Delta U = -W_0 + Q$$

解得  $Q = \Delta U + W_0 = 188 \text{ J}$ 。

答案: (1) 330 K (2)  $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$  (3) 188 J

## 章末质量评估(三)

1. B 解析:  $\alpha$  粒子与金原子核带同种电荷, 两者相互排斥, 故 A、C 错误, B 正确;  $\alpha$  粒子在靠近金原子核时斥力做负功, 速度减小, 在远离金原子核时斥力做正功, 速度增大, 故 D 错误。

2. C 解析: 氦离子的跃迁过程类似于氢原子, 从高能级向低能级跃迁过程中要以光子的形式放出能量, 氦离子从

$n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级,需要放出能量,故 A 错误;大量处在  $n=5$  能级的氦离子向低能级跃迁的过程中,辐射的光子种类为  $C_5^2=10$  种,故 B 错误;氦离子处于  $n=1$  能级时,能吸收  $60\text{ eV}$  的能量发生电离,剩余的能量为电离后光电子的动能,故 C 正确;氦离子从  $n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级比从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级辐射出光子的能量小,根据  $E=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$  可知,氦离子从  $n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级比从  $n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级辐射出光子的波长长,故 D 错误。

3.D 解析:在放射性元素的原子核中,2 个质子和 2 个中子结合得较紧密,有时作为一个整体放出,这就是  $\alpha$  粒子的来源,不能据此认为  $\alpha$  粒子是原子核的组成部分;原子核里是没有电子的,但 1 个中子可以转化成 1 个质子,并向核外释放 1 个电子,这就是  $\beta$  粒子的来源;发生衰变后产生的新原子核处于高能级,在回到低能级时多余的能量以  $\gamma$  光子的形式辐射出来,形成  $\gamma$  射线,故原子核里也没有  $\gamma$  粒子。故 D 正确。

4.D

5.B 解析:设采集时大气中有  $x$  个  ${}^7_4\text{Be}$  原子和  $y$  个  ${}^{10}_4\text{Be}$  原子,由于  ${}^{10}_4\text{Be}$  的半衰期为 139 万年,故经过 106 天后  ${}^{10}_4\text{Be}$  原子的衰变个数可以忽略不计,  ${}^7_4\text{Be}$  的半衰期为 53 天,故经过 106 天后剩余数量为  $x \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2$ ,故可得

$$\frac{x \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 + y}{x + y} = \frac{3}{4}, \text{解得 } \frac{x}{y} = \frac{1}{2}, \text{故选 B.}$$

6.B

7.D 解析:根据  $c=\lambda\nu$ ,  $E=h\nu$  和  $\lambda=\frac{h}{p}$  可得, X 射线每个光子的能量为  $E=\frac{hc}{\lambda}$ , 每个光子的动量为  $p=\frac{h}{\lambda}$ , 选项 D 正确。

8.BC

9.AD 解析:氢原子的核外电子从低能级跃迁到高能级时,吸收光子,电子的轨道半径增大,动能变小,电势能变大,选项 A 正确;B 选项中的方程式属于  $\alpha$  衰变,不是核裂变方程,选项 B 错误;根据光电效应方程  $E_k=h\nu-W_0$  知,光电子的最大初动能与光子的频率成一次函数关系,不是正比关系,选项 C 错误;根据质量数守恒和核电荷数守恒知,  ${}^{210}_{84}\text{Po}$  发生一次  $\alpha$  衰变和一次  $\beta$  衰变后产生的新核的核电荷数即质子数为 83,新核的质量数为 206,则新

核的中子数为 123,所以新核的中子数比质子数多 40,选项 D 正确。

10.BC 解析:氢原子从  $n=4,6$  的能级向  $n=2$  的能级跃迁时分别发出光 P、Q,则 P 光对应的光子能量较小,光子的频率较小,P 光的折射率较小,则经过甲图装置时 P 光的偏折程度较小,则 P、Q 在屏上的谱线分别为 1、2,A 错误;根据  $\sin C=\frac{1}{n}$  可知,P 光折射率较小,则发生全反射的临界角较大,若乙图玻璃棒能导出 P 光,则一定也能导出 Q 光,B 正确;若丙图是 P 入射时的干涉条纹,因 P 光波长大于 Q 光,则 Q 入射时条纹间距减小,C 正确;因 P 光频率小于 Q 光,根据  $E_k=h\nu-W_{\text{逸出功}}$  可知,丁图中的点 1、2 分别对应 Q、P 光,D 错误。

11.解析:(1)核反应方程为  ${}^6_3\text{Li}+{}^1_0\text{n}\longrightarrow{}^4_2\text{He}+{}^3_1\text{H}$ 。

(2)因为 1 g 氚为  $\frac{1}{3}$  mol,根据核反应方程,实现核转变的  ${}^6_3\text{Li}$  也为  $\frac{1}{3}$  mol,所以有  $2.0 \times 10^{23}$  个  ${}^6_3\text{Li}$  实现了核转变。

(3)核聚变反应中有 5 个核子参加了反应,5 个核子释放的总能量

$$\Delta E = 5 \times 5.6 \times 10^{-13} \text{ J} = 2.8 \times 10^{-12} \text{ J}$$

根据爱因斯坦质能方程  $\Delta E = \Delta mc^2$ ,得质量亏损为

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{2.8 \times 10^{-12}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 3.1 \times 10^{-29} \text{ kg}.$$

答案:(1) ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$  (2) $2.0 \times 10^{23}$  (3) $3.1 \times 10^{-29}$

12.解析:设电子的质量为  $m_e$ ,  $\alpha$  粒子的质量为  $m_\alpha$ ,碰撞后  $\alpha$  粒子的速度为  $v_\alpha$ ,电子的速度为  $v_e$ 。

由于  $\alpha$  粒子与电子发生弹性正碰,因此

$$\frac{1}{2} m_\alpha v^2 = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 + \frac{1}{2} m_e v_e^2$$

$$m_\alpha v = m_\alpha v_\alpha + m_e v_e$$

考虑到  $m_\alpha = 7\,300 m_e$ ,解得  $v_\alpha \approx v$

可见原子中的电子不能使  $\alpha$  粒子发生明显偏转。

答案:见解析

13.解析:(1)核外电子绕原子核做匀速圆周运动,静电引力

提供向心力,则:  $\frac{ke^2}{r_1^2} = \frac{mv_1^2}{r_1}$

又知  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

故电子在基态轨道上运动时的动能为:

$$E_k = \frac{ke^2}{2r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{2 \times 0.528 \times 10^{-10}} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}.$$

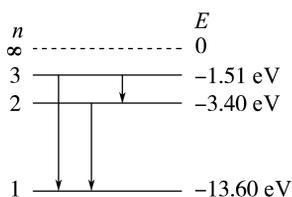
(2) 当  $n=1$  时, 能级值为

$$E_1 = \frac{-13.6}{1^2} \text{ eV} = -13.6 \text{ eV}$$

当  $n=2$  时, 能级值为  $E_2 = \frac{-13.6}{2^2} \text{ eV} = -3.40 \text{ eV}$

当  $n=3$  时, 能级值为  $E_3 = \frac{-13.6}{3^2} \text{ eV} = -1.51 \text{ eV}$

能发出的光谱线分别为  $3 \rightarrow 2$ 、 $2 \rightarrow 1$ 、 $3 \rightarrow 1$  共三种, 能级图如图所示。



答案: (1) 13.6 eV (2) 见解析

14. 解析: (1) 根据质量数和电荷数守恒可得该核反应方程为



(2) 质量亏损为

$$\Delta m = (235.0439 + 1.0087 - 140.9139 - 91.8973 - 3 \times 1.0087) \text{ u} = 0.2153 \text{ u}$$

释放的核能为

$$\Delta E = \Delta m \times 931 \text{ MeV} = 0.2153 \times 931 \text{ MeV} \approx 200 \text{ MeV}.$$

(3) 1 g  ${}_{92}^{235}\text{U}$  中  ${}_{92}^{235}\text{U}$  的物质的量为  $n = \frac{1}{235} \text{ mol}$

1 g  ${}_{92}^{235}\text{U}$  中  ${}_{92}^{235}\text{U}$  的个数为  $N = nN_A$

1 g  ${}_{92}^{235}\text{U}$  全部反应释放的能量为

$$E = N\Delta E = nN_A\Delta E = \frac{1}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \times 200 \text{ MeV} \approx 5.1 \times 10^{23} \text{ MeV}.$$

答案: (1)  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$

(2) 200 MeV (3)  $5.1 \times 10^{23} \text{ MeV}$

15. 解析: 题目中的光电流达到饱和是指光电流达到最大值。因为光电流未达到最大值之前, 其值大小不仅与入射光强度有关, 还跟光电管两极间的电压有关, 只有在光电流达到最大值以后才和入射光的强度成正比。

(1) 光电流达到饱和时, 阴极发射的光电子全部到达阳极 A, 所以阴极每秒发射的光电子的个数

$$n = \frac{It}{e} = \frac{0.64 \times 10^{-6} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ 个} = 4.0 \times 10^{12} \text{ 个}$$

根据光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$ ,  $W_0 = \frac{hc}{\lambda_c}$ ,  $\nu = \frac{c}{\lambda}$

代入数据解得  $E_k = 9.6 \times 10^{-20} \text{ J}$ 。

(2) 若入射光的频率不变, 光的强度加倍, 则阴极每秒发射的光电子数也加倍, 即  $n' = 2n = 8.0 \times 10^{12}$  个。

根据  $E_k = h\nu - W_0$  可知, 光电子的最大初动能不变, 由于 A、K 之间的电势差是 2.5 V, 因此电子由 K 运动到 A 时, 电场力做正功, 电子到达 A 极时的最大动能为

$$E'_k = E_k + eU = 4.96 \times 10^{-19} \text{ J}.$$

(3) 由  $E_k = eU_c$  得截止电压

$$U_c = \frac{E_k}{e} = \frac{9.6 \times 10^{-20}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ V} = 0.6 \text{ V}.$$

答案: (1)  $4.0 \times 10^{12}$  个  $9.6 \times 10^{-20} \text{ J}$

(2)  $8.0 \times 10^{12}$  个  $4.96 \times 10^{-19} \text{ J}$  (3) 0.6 V

## 综合质量评估

1.B 解析:  $\alpha$  粒子散射实验与核式结构模型的建立有关, 通过该实验, 否定了枣糕模型, 建立了原子的核式结构模型, 选项 B 正确。

2.B 解析: 光子的能量是由光的频率决定的, 与光强无关, 入射光的频率越大, 发生光电效应时产生的光电子的最大初动能越大, C 错误; 要使电子离开金属, 必须使电子具有足够的动能, 而电子增加的动能来源于照射光的光子能量, 金属内的电子吸收一个光子, 获取能量, 若能量足够时, 就会逸出, 电子不能吸收多个光子积累能量, A 错误; 根据光电效应的条件可知, 入射光子的能量小于脱离某种金属所做功的最小值时, 不能发生光电效应, B 正确; 不同的金属逸出功不同, 截止频率不同, 则发生光电效应的入射光的最低频率不同, D 错误。

3.B 解析: 若  $r < r_0$ , 分子间距减小时分子间作用力做负功, 分子势能增大, A 错误; 温度越高, 运动速率大的分子数占总分子数的比例越大, 分子的无规则运动越剧烈, B 正确, C 错误; 多晶体的物理性质具有各向同性, D 错误。

4.D 解析: 氢原子从高能级向低能级跃迁时会放出光子, 光子的能量等于两个能级的能量差。氢原子能级公式为

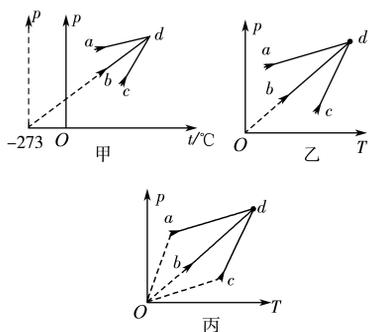
$$E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}, \text{ 光子的能量 } E = h\nu, \text{ 根据巴尔末-里德伯}$$

$$\text{公式 } \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ 又因为 } \nu = \frac{c}{\lambda}, \text{ 可得 } \nu =$$

$$cR_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ 其中 } n \text{ 是跃迁前的能级, } m \text{ 是跃迁后的}$$

能级。氢原子从  $n=4$  跃迁到  $n=2, n=4, m=2$ , 根据  $\nu = cR_H \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$  可得  $\nu = R_H c \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$ , 且是从高能级向低能级跃迁, 放出光子, D 正确。

5.A 解析: 由  $\frac{pV}{T} = C$  得  $p = \frac{C}{V}T$ , 可见等容过程的  $p-T$  图线的反向延长线过坐标原点, 由于  $T/K = t/^\circ\text{C} + 273$ , 与  $p-t$  图像对应的  $p-T$  图像如图乙所示。



如图丙所示, 连接  $aO, cO$ , 则  $aO, cO, dO$  均可表示气体发生等容变化, 由理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$  可知, 由状态  $a$  到状态  $d$  的过程中,  $\frac{p}{T}$  减小, 则气体的体积增大, 故 A 正确, D 错误; 由状态  $b$  到状态  $d$  的过程中,  $\frac{p}{T}$  不变, 气体发生等容变化, 气体的体积不变, 故 B 错误; 由状态  $c$  到状态  $d$  的过程中,  $\frac{p}{T}$  增大, 由理想气体状态方程知, 气体的体积减小, 故 C 错误。

6.A 解析: 因为在温度降低的过程中, 被封闭气柱的压强恒等于大气压强与水银柱产生的压强之和, 故封闭气柱均做等压变化, 并由此推知, 封闭气柱下端的水银面高度不变。根据盖-吕萨克定律有  $\Delta V = \frac{V}{T} \Delta T$ , 因 A、B 管中的封闭气柱, 初温  $T$  相同, 温度降低量  $\Delta T$  也相同, 且  $\Delta T < 0$ , 所以  $\Delta V < 0$ , 即 A、B 管中的气柱体积都减小; 又因为  $H_1 > H_2$ , 故 A 管中气柱的体积较大, 则  $|\Delta V_1| > |\Delta V_2|$ , 即 A 管中气柱的体积减小得较多, 故 A、B 两管气柱上方的水银柱均向下移动, 且 A 管中的水银柱下移得较多, A 正确。

7.B 解析: 根据题意, 设往桶内压入压强为  $p_0$ 、体积为  $V_0$  的空气后, 桶内气体压强增大到  $p$ , 根据玻意耳定律有  $p_0 SH + p_0 V_0 = pSH$ , 按压一次泵水器恰能出水满足  $p = p_0 + \rho g(H+l)$ , 联立解得  $V_0 = \frac{\rho g S}{p_0} H(H+l)$ , 故

选 B。

8.BC 解析: 在光的波粒二象性中, 频率越大的光, 光子的能量越大, 粒子性越显著, 频率越小的光, 其波动性越显著, A 错误; 干涉现象是波的特有属性, 电子束通过双缝实验装置后可以形成干涉图样, 说明电子具有波动性, B 正确; 根据  $\lambda = \frac{h}{p}$  可得, 动量相同的质子和电子, 它们的德布罗意波长相等, C 正确; 光波是概率波, 个别光子的行为是随机的, 往往表现为粒子性, 大量光子的行为往往表现为波动性, 光的波动性不是由光子间的相互作用形成的, D 错误。

9.AB

10.ABC 解析: 由核反应方程质量数守恒和电荷数守恒可得  $100 = A + 0, 42 = 44 - y$ , 解得  $A = 100, y = 2$ , A、B 正确; 由题可得  $\gamma_1$  光子的能量大于  $\gamma_2$  光子的能量, 光子的能量公式  $\epsilon = h\nu$ , 波长  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , 可得  $\gamma_1$  的频率大于  $\gamma_2$  的频率,  $\gamma_1$  的波长小于  $\gamma_2$  的波长, C 正确, D 错误。

11.解析: (1) 由题图所示油膜轮廓可知, 油膜的面积为

$$S = 64 \times 2 \times 2 \text{ cm}^2 = 2.6 \times 10^2 \text{ cm}^2$$

2 滴油酸溶液所含纯油酸的体积为

$$V = 2 \times \frac{1}{100} \times \frac{0.25}{250} \text{ mL} = 2 \times 10^{-5} \text{ mL} = 2 \times 10^{-5} \text{ cm}^3$$

$$\text{油酸分子的直径为 } d = \frac{V}{S} \approx 7.7 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

(2) 计算油酸分子直径的公式为  $d = \frac{V}{S}$ , 痱子粉撒得过多, 油酸未完全散开,  $S$  偏小, 得到的分子直径将偏大, 故 A 正确; 勾画油膜轮廓时面积圈大了, 所得到的分子直径将偏小, 故 B 错误; 计算每滴油酸酒精溶液的体积时, 若多记了几滴, 则纯油酸的体积偏小, 得到的分子直径偏小, 故 C 错误; 在滴入量筒之前, 配制的溶液在空气中搁置了较长时间, 酒精挥发使溶液的浓度变大, 将导致计算结果偏小, 故 D 错误。

答案: (1)  $2.6 \times 10^2$   $7.7 \times 10^{-10}$  (2) A

12.解析: (1) 设状态 A 的温度、体积、压强分别为  $T_1, V_1, p_1$ , 状态 B 的温度、体积、压强分别为  $T_2, V_2, p_2$ , 由题可得  $T_1 = 300 \text{ K}, V_1 = 3 \text{ m}^3, p_1 = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}, V_2 = 6 \text{ m}^3, p_2 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

从状态 A 到状态 B, 由理想气体状态方程有

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{解得 } T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1} = 240 \text{ K}$$

$$\text{故 } t_2 = T_2 - 273 \text{ }^\circ\text{C} = -33 \text{ }^\circ\text{C}.$$

(2) 从状态  $A$  到状态  $M$  是等容变化, 气体不对外做功;

从状态  $M$  到状态  $B$  是等压变化, 气体对外做的功为

$$W = p \Delta V = 1.0 \times 10^5 \times 3 \text{ J} = 3.0 \times 10^5 \text{ J}$$

所以从状态  $A$  到状态  $B$  气体对外做的功为

$$W_{AB} = W = 3.0 \times 10^5 \text{ J}.$$

**答案:** (1)  $-33 \text{ }^\circ\text{C}$  (2)  $3.0 \times 10^5 \text{ J}$

**13. 解析:** 由爱因斯坦质能方程, 可求得一个铀核裂变时放出的能量为

$$\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV} = 0.2153 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 200.6 \text{ MeV}$$

铀核中含有 235 个核子, 所以平均每个核子放出的能量为

$$\frac{200.6 \text{ MeV}}{235} \approx 0.85 \text{ MeV}.$$

**答案:** 200.6 MeV 0.85 MeV

**14. 解析:** (1) 设气体在状态  $B$  时的体积为  $V_B$ , 由等压变化规律得

$$\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$$

代入数据得  $V_B = 0.4 \text{ m}^3$ .

(2) 气体体积不变, 分子数密度不变, 温度降低, 气体分子平均动能减小, 导致气体压强减小。

(3)  $Q_1$  大于  $Q_2$ 。因为  $T_A = T_C$ , 所以  $A \rightarrow B$  增加的内能与  $B \rightarrow C$  减少的内能相同, 而  $A \rightarrow B$  过程气体对外做功,  $B \rightarrow C$  过程气体不做功, 由热力学第一定律可知  $Q_1$  大于  $Q_2$ 。

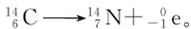
**答案:** (1)  $0.4 \text{ m}^3$  (2) 见解析

(3)  $Q_1$  大于  $Q_2$ , 原因见解析

**15. 解析:** (1) 中子与  ${}^{14}_7\text{N}$  发生核反应生成  ${}^{14}_6\text{C}$  的核反应方程式为



${}^{14}_6\text{C}$  发生  $\beta$  衰变生成  ${}^{14}_7\text{N}$  的核反应方程式为



(2) 在加速电场中, 由动能定理得

$$qU = \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}}$$

磁场中, 洛伦兹力提供向心力

$$qvB = \frac{mv^2}{R}$$

联立解得

$$v = \frac{qBR}{m}, U = \frac{qB^2R^2}{2m}$$

相比  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{12}_6\text{C}$  的比荷更大, 通过圆形管道所需要的电压更大, 通过题图乙可知当电压为  $1.93 \times 10^6 \text{ V}$  时,  ${}^{12}_6\text{C}$  与

${}^{13}_6\text{C}$  的离子数百分比为 100%, 故只含  ${}^{12}_6\text{C}$  的  $\text{C}^{3+}$  所对应的  $U$  值为  $1.93 \times 10^6 \text{ V}$ , 根据  $U = \frac{qB^2R^2}{2m}$  整理得

$$B = \sqrt{\frac{2mU}{qR^2}} = \sqrt{\frac{2 \times 12u \times U}{3eR^2}} \approx 2.0 \text{ T}.$$

(3) 由题意知,  ${}^{14}_6\text{C}$  在板间做类斜抛运动, 水平方向有

$$v_x = \frac{\sqrt{2}}{2}v, L = v_x t$$

竖直方向有

$$v_{y0} = \frac{\sqrt{2}}{2}v, a = \frac{qU_1}{md}, v_{y0} = a \frac{t}{2}$$

联立解得

$$U_1 = \frac{qB^2R^2d}{mL} = \frac{3eB^2R^2d}{14uL} \approx 1.65 \times 10^6 \text{ V}.$$

(4) 古木中含  ${}^{14}_6\text{C}$  与  ${}^{12}_6\text{C}$  的  $\text{C}^{3+}$  的数目的比值是活木头中的  $\frac{1}{3}$ , 说明经过衰变后  ${}^{14}_6\text{C}$  只剩下  $\frac{1}{3}$ , 已知经过一个

半衰期剩下  $\frac{1}{2}$ , 设经过  $n$  个半衰期, 则有

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{3}$$

解得

$$n = \log_2 3 = \frac{\ln 3}{\ln 2} = \frac{11}{7}$$

则砍伐时间

$$t = n \times 5700 \approx 8957 \text{ (年)}.$$

**答案:** (1)  ${}_0^1\text{n} + {}^{14}_7\text{N} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + {}^1_1\text{H}$   ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$

(2)  $1.93 \times 10^6 \text{ V}$  2.0 T (3)  $1.65 \times 10^6 \text{ V}$

(4) 8957 年