

点金训练

教师用书

► 物理

《点金训练》编写组 编

选择性必修 第三册

配教科版



四川教育出版社

CONTENTS

目录

第一章 分子动理论

1 物体是由大量分子组成的	1
2 实验:用油膜法估测油酸分子的大小	6
3 分子的热运动	11
4 分子间的相互作用力	17
5 分子热运动的统计规律	24
单元活动构建	29

第二章 固体、液体和气体

1 固体和固体材料	33
2 液体	39
3 温度和温标	44
4 实验:探究气体等温变化的规律	50
5 气体的等容变化和等压变化	59
单元活动构建	69
章末质量评估(一)	75

第三章 热力学定律

1 热力学第一定律	79
2 能量守恒定律	79
3 热力学第二定律	86
单元活动构建	93
章末质量评估(二)	97



第四章 原子结构

1 电子的发现	102
2 原子的核式结构模型	102
3 光谱 氢原子光谱	109
4 玻尔的原子模型 能级	115
单元活动构建	122

第五章 原子核与基本粒子

1 原子核的组成	126
2 放射性元素的衰变	131
3 核反应 结合能	139
4 核裂变 核聚变	144
5 粒子物理学发展概况	144
单元活动构建	153

第六章 波粒二象性

1 量子论初步	158
2 光电效应	163
3 波粒二象性	170
单元活动构建	177
章末质量评估(三)	181
综合质量评估	185

第一章

分子动理论

1 物体是由大量分子组成的

学习任务目标

- 1.了解分子的大小,知道分子之间存在间隙。(物理观念)
- 2.理解阿伏伽德罗常量,并会进行相关计算。(科学思维)
- 3.知道分子的球形模型和立方体模型。(科学思维)

问题式预习

知识点 分子的大小 阿伏伽德罗常量 分子之间存在间隙

1.分子的大小

(1)分子:在热学范围内,由于分子、原子或离子遵循相同的热运动规律,故统称为分子。

(2)组成物质的分子很小,除了一些有机物的大分子外,多数分子大小的数量级为 10^{-10} m。

2.阿伏伽德罗常量

1 mol 的任何物质都含有相同的粒子数 N_A ,这个数量叫作阿伏伽德罗常量, $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 。

3.分子之间存在间隙

(1)液体分子间有间隙:水和酒精混合后总体积会减小,说明液体分子间存在着间隙。

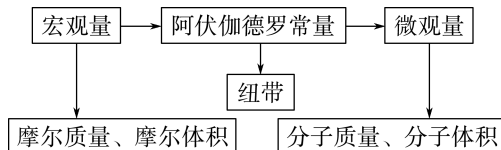
(2)气体分子间有间隙:气体很容易被压缩,说明气体分子之间存在很大的间隙。

(3)固体分子间有间隙:加压后油从钢筒壁上渗出。

4.理想化模型

在估算分子大小时,把固体、液体分子看作是一个挨着一个紧密排列的小球。

[科学思维]



[做一做]

酒精和水混合后的体积小于原来的酒精和水的体积之和,这个实验说明了 (D)

- 物体是由分子组成的
- 分子在永不停息地运动
- 分子间存在相互作用力
- 分子间有间隙

任务型课堂

任务一 阿伏伽德罗常量的理解和应用

[探究活动]

我们每时每刻都在呼吸,平均一人每天需要呼吸两万多次,每天至少要与环境交换一万多升的气体,可见空气质量的好坏与人的健康息息相关。

(1)标准状况下,气体的摩尔体积为多少?

提示: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,大约吸入 4.5 L 的空气,如果在标准状况下,该体积的空气物质的量是多少? 大约含有多少个分子?

提示:成年人做一次深呼吸吸入空气的物质的量

$$n = \frac{V}{V_{\text{mol}}} = \frac{4.5}{22.4} \text{ mol} \approx 0.2 \text{ mol}, \text{ 大约含有的分子数 } N = nN_A = 0.2 \text{ mol} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \approx 1.2 \times 10^{23} \text{ (个)}。$$

[评价活动]

1.假如 60 亿人同时数 1 g 水的分子个数,每人每小时可以数 5 000 个,不间断地数,则完成任务所需时间最接近(阿伏伽德罗常量 N_A 取 $6 \times 10^{23} / \text{mol}$)

- 10 年
- 100 年
- 10 万年
- 1 000 万年

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. 已知阿伏伽德罗常量为 N_A (单位为 mol^{-1})，某物质的摩尔质量为 M (单位为 kg/mol)，该物质的密度为 ρ (单位为 kg/m^3)，则下列叙述正确的是 ()

- A. 1 kg 该物质所含的分子数是 ρN_A
 B. 1 kg 该物质所含的分子数是 $\frac{\rho N_A}{M}$
 C. 该物质 1 个分子的质量是 $\frac{\rho}{N_A}$ (kg)
 D. 该物质 1 个分子占有的空间是 $\frac{M}{\rho N_A}$ (m^3)

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 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$ (m^3)，故 D 正确。

3. (多选) 石墨烯是由碳原子按六边形晶格整齐排布而成的碳单质，结构非常稳定。已知单层石墨烯的厚度约为 0.33 nm，每个六边形的面积约为 $5.2 \times 10^{-20} \text{m}^2$ ，碳的摩尔质量为 12 g/mol，阿伏伽德罗常量取 $6.0 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ 。对质量为 10 g 的单层石墨烯，下列说法正确的是 ()



- A. 含有 5.0×10^{22} 个碳原子
 B. 含有 5.0×10^{23} 个碳原子
 C. 所占有的空间体积约为 $4.3 \times 10^{-6} \text{m}^3$
 D. 所占有的空间体积约为 $8.6 \times 10^{-6} \text{m}^3$

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 的单层石墨烯所占有的空间体积约为 $V = \frac{1}{2} N S d \approx 4.3 \times 10^{-6} \text{m}^3$ ，故 C 正

确，D 错误。

4. 已知铜的摩尔质量 $M = 6.4 \times 10^{-2} \text{kg/mol}$ ，铜的密度 $\rho = 8.9 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ ，阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.0 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ 。(计算结果保留两位有效数字)

- (1) 试估算一个铜原子的质量。
 (2) 若每个铜原子可提供两个自由电子，则 $3.0 \times 10^{-5} \text{m}^3$ 的铜导体中有多少个自由电子？

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

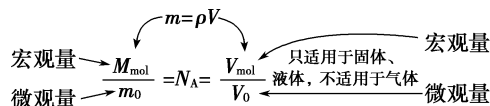
$$N = 2nN_A \approx 5.0 \times 10^{24} \text{个}.$$

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

任务总结

1. N_A 的桥梁和纽带作用

阿伏伽德罗常量是联系宏观世界和微观世界的一座桥梁。它把摩尔质量 M_{mol} 、摩尔体积 V_{mol} 、物体的质量 m 、物体的体积 V 、物体的密度 ρ 等宏观量，跟单个分子的质量 m_0 、单个分子的体积 V_0 等微观量联系起来，如图所示。



2. 注意

其中密度 $\rho = \frac{m}{V} = \frac{M_{\text{mol}}}{V_{\text{mol}}}$ ，但要切记对单个分子 $\rho = \frac{m_0}{V_0}$ 是没有物理意义的。

任务二 分子的两模型

1. (多选) 已知下列物理量，能算出氢气密度的是 ()

- A. 氢气分子的体积和氢气分子的质量
 B. 氢气的摩尔质量和氢气的摩尔体积
 C. 氢气分子的质量、氢气的摩尔体积及阿伏伽德罗常量
 D. 氢气分子的质量和氢气的摩尔质量

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. 已知在标准状况下,1 mol 氢气的体积为 22.4 L,氢气分子平均间距约为 ()

- A. 10^{-9} m B. 10^{-10} m
C. 10^{-11} m D. 10^{-8} m

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. 某物体(纯净物)的体积为 V ,质量为 m ,摩尔质量为 M ,阿伏伽德罗常量为 N_A ,则该物体所含有的分子数为 _____,分子直径为 _____。

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

$$\frac{m}{M} N_A;$$

$$\text{单个分子的体积 } V_1 = \frac{V_0}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{M}{\rho N_A} =$$

$$\frac{4}{3} \pi \left(\frac{1}{2} d \right)^3, \text{ 解得 } d = \sqrt[3]{\frac{6MV}{\pi m N_A}}.$$

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

4. 轿车中设有安全气囊以保障驾乘人员的安全,轿车在发生一定强度的碰撞时,安全气囊中的叠氮化钠会爆炸产生气体(假设都是氮气)并充入气囊。若氮气充入后安全气囊的容积 $V=70$ L,气囊中氮气密度 $\rho=2$ kg/m³。已知氮气摩尔质量 $M=0.028$ kg/mol,阿伏伽德罗常量 $N_A=6.02 \times 10^{23}$ /mol。试估算:(结果均保留两位有效数字)

- (1) 一个氮气分子的质量 m_0 ;
(2) 气囊中氮气分子的总个数 N ;
(3) 气囊中氮气分子间的平均距离。

解析: (1) 一个氮气分子的质量为

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

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

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

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) 4.7×10^{-26} kg (2) 3.0×10^{24} 个

(3) 2.9×10^{-9} m

任务总结

1. 球体模型

(1) 对于固体和液体,可认为分子是一个一个紧挨着的小球,分子间没有间隙,则一个分子的体积 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A}$ 。

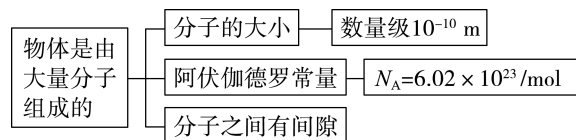
(2) 分子体积 $V_0 = \frac{4}{3} \pi r^3$, 分子直径 $d = 2r$, 则 $d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}}$ 。

2. 立方体模型

(1) 对于气体,由于分子间距较大,是分子直径的十倍甚至更多倍,可将每个分子占据的空间视为立方体,则 $\frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = V_0$, 算出的 V_0 是平均每个分子占据的体积,而不是一个分子的体积。

(2) 立方体体积 $V_0 = d^3$, 则 $d = \sqrt[3]{V_0}$, 算出的是分子之间的平均距离,而不是分子直径。

► 提质归纳



课后素养评价(一)

基础性·能力运用

知识点 1 分子的大小

1. 通过测量表明,除了一些有机物的大分子外,多数分子大小的数量级为 ()

- A. 10^{-8} m B. 10^{-10} m
C. 10^{-12} m D. 10^{-14} m

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

2. 某种病毒呈球形,有形似皇冠状突起,直径为 75~160 nm。将 1 nm 化为国际基本单位正确的是 (C)

- A. $1 \text{ nm} = 10^{-3}$ m B. $1 \text{ nm} = 10^{-6}$ m
C. $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m D. $1 \text{ nm} = 10^{-10}$ m

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

知识点 2 阿伏伽德罗常量

3. 某固体物质的摩尔质量为 M , 密度为 ρ , 阿伏伽德罗常量为 N_A , 则每个分子的质量和分子直径分别为 ()

- A. $\frac{N_A}{M}, \sqrt[3]{\frac{6M\pi}{\rho N_A}}$ B. $\frac{M}{N_A}, \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi\rho N_A}}$
C. $\frac{N_A}{M}, \sqrt[3]{\frac{6M\rho}{\pi N_A}}$ D. $\frac{M}{N_A}, \sqrt[3]{\frac{6M\pi}{\rho N_A}}$

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

$\frac{M}{\rho}$, 每个分子的体积 $V_0 = \frac{\rho}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$, 球形体积

$V_0 = \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{\pi D^3}{6}$, 所以分子的直径 $D = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi\rho N_A}}$,

故 A、C、D 错误, B 正确。

4. 只要知道下列哪一组物理量, 就可以估算气体分子间的平均距离? ()

- A. 阿伏伽德罗常量、该气体的摩尔质量和质量

B. 阿伏伽德罗常量、该气体的摩尔质量和密度

C. 阿伏伽德罗常量、该气体的质量和体积

D. 该气体的密度、体积和摩尔质量

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

$\sqrt[3]{\frac{M}{\rho N_A}}$ 。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。

知识点 3 分子之间存在间隙

5. 不能说明分子间有间隙的是 ()

A. 面包能被压缩

B. 水和酒精混合后体积变小

C. 高压密闭钢管内的油从管壁渗出

D. 气体被压缩

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。

综合性·创新提升

6. 纳米材料具有很多优越性能, 有着广阔的应用前景。已知 $1 \text{ nm} = 10^{-9}$ m, 半径为 1 nm 的球体可容纳的液态氢分子(其直径约为 10^{-10} m) 的个数最接近下面的哪一个数值? ()

A. 10^2

B. 10^3

C. 10^6

D. 10^9

B 解析:半径为 1 nm 的球体体积为 $\frac{4}{3}\pi \times$

$(1 \text{ nm})^3 = \frac{4}{3}\pi \times 10^{-27} \text{ m}^3$, 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} m^3 , 二者相除得到 10^3 , 故 B 正确, A、C、D 错误。

7. (多选) 某气体的摩尔体积为 22.4 L/mol , 摩尔质量为 32 g/mol , 阿伏伽德罗常量为 $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$, 由以上数据可以估算出这种气体 ()

- A. 每个分子的质量
B. 每个分子占据的空间
C. 每个分子的体积
D. 分子之间的平均距离

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. (多选) 已知地球大气层的厚度 h 远小于地球半径 R , 空气平均摩尔质量为 M , 阿伏伽德罗常量为 N_A , 地面大气压强为 p_0 , 重力加速度大小为 g 。由此可估算出 ()

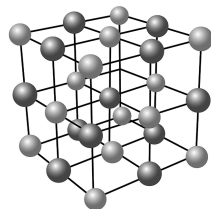
- A. 地球大气层空气的总重力为 $2\pi R^2 p_0$
B. 地球大气层空气分子总数为 $\frac{4\pi R^2 p_0 N_A}{Mg}$
C. 每个空气分子所占空间为 $\frac{Mgh}{p_0 N_A}$
D. 空气分子之间的平均距离为 $\sqrt[3]{\frac{Mgh}{p_0 N_A}}$

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; 大气层的体积为 $V = 4\pi R^2 h$, 每个空气分子所占空间为 $V_0 = \frac{V}{N} = \frac{Mgh}{p_0 N_A}$, 故 C 正确; 气体分子之间的距离为 $d = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{Mgh}{p_0 N_A}}$, 故 D 正确。

9. 食盐晶体由钠离子和氯离子构成, 其晶体结构可以用下图表示, 图中相邻离子的中心用线连起来组成一个个大小相等的正立方体。已知食盐的密度为

ρ , 摩尔质量为 M , 阿伏伽德罗常量为 N_A , 晶体中正方体数目为钠离子数的 2 倍。求:

- (1) 食盐晶体的摩尔体积 V_{mol} ;
(2) 相邻的钠离子与氯离子之间的平均距离 D 。

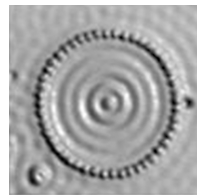


解析: (1) 食盐晶体的摩尔体积 $V_{\text{mol}} = \frac{M}{\rho}$ 。

(2) 相邻离子组成正立方体体积 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{2N_A}$, 则相邻的钠离子与氯离子之间的平均距离 $D = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{M}{2\rho N_A}}$ 。

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

10. 如图所示, 科学家在铜表面将 48 个铁原子排成圆圈, 形成半径为 7.13 nm 的“原子围栏”, 相邻铁原子间有间隙。已知铁的密度为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, 摩尔质量是 $5.6 \times 10^{-2} \text{ kg/mol}$, 阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$ 。试估算该铁原子平均间隙的大小。(结果保留两位有效数字)



解析: 根据题意, 一个铁原子的体积 $V = \frac{M}{\rho N_A}$, 将铁原子看作球形, 因此铁原子的直径为 $D = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi\rho N_A}}$, 围栏中相邻铁原子的平均间隙 $l = \frac{2\pi r}{n} - D$, 解得 $l \approx 6.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

答案: $6.5 \times 10^{-10} \text{ m}$

11. 估算法是根据生活和生产中的一些物理数据对所求物理量的数值和数量级大致推算的一种近似方法。在标准状况下, 水蒸气的摩尔体积 $V = 22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{mol}$, $N_A = 6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$, 水的摩尔质量 $M = 18 \text{ g/mol}$, 水的密度 $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。请进行下列估算(结果均保留一位有效数字):

- (1) 水蒸气分子的平均间距。

(2) 水分子的直径。

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

(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 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_{\text{A}}} = \frac{M}{\rho N_{\text{A}}}$, 设分子直径

为 d , 球体体积公式 $V_0 = \frac{1}{6} \pi d^3$, 所以 $d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_{\text{A}}}}$

$= \sqrt[3]{\frac{6 \times 18 \times 10^{-3}}{3.14 \times 1.0 \times 10^3 \times 6.02 \times 10^{23}}}$ $\text{m} \approx 4 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

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

2 实验: 用油膜法估测油酸分子的大小

学习任务目标

1. 理解油膜法估测油酸分子大小的原理, 并能利用有关公式估算分子的直径。(科学思维)
2. 会进行误差分析和数据处理。(科学思维)

问题式预习

「实验思路」

油酸的分子式为 $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$, 油酸分子可以看成由两部分组成, 一部分是烃基 ($-\text{C}_{17}\text{H}_{33}$), 不溶于水, 另一部分是羧基 ($-\text{COOH}$), 对水有很强的亲和力, 很容易形成单分子油膜。当把一滴用酒精稀释过的油酸滴在水面上后:

(1) 单分子油膜层是怎样形成的?

提示: 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, 其中烃基 ($-\text{C}_{17}\text{H}_{33}$) 部分冒出水面, 而羧基 ($-\text{COOH}$) 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) 为什么不直接用纯油酸而是用被稀释过的油酸酒精溶液?

提示: 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) 为什么要在水面上撒痱子粉 (或滑石粉)?

提示: 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。

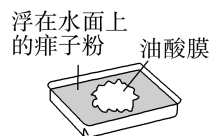
「原理启示」

1. 实验的基本思想——理想化模型

- (1) 把油酸分子视为球形模型。
- (2) 油酸膜视为单分子油膜层。

2. 实验原理

把一定体积的油酸酒精溶液滴在水面上使其形成单分子油膜, 如图所示。不考虑分子间的间隙, 把油酸分子看成球形模型, 计算出 1 滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积 V 并测出油膜面积 S , 求出油膜的厚度 d , $d = \frac{V}{S}$ 就是油酸分子的直径。



「实验器材」

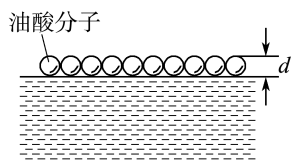
请根据实验原理写出所需的实验器材。

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. 如图所示为“用油膜法估测分子大小”实验的示意图。



(1) 油酸分子的形状真的是球形吗?

(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 _____;

② 把油酸分子简化成 _____;

③ 不考虑油酸 _____。

(3) 实验中为什么对油酸进行稀释?

(4) 实验中为什么在水面上撒痱子粉?

(5) 实验中可以采用什么方法测量油膜的面积?

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

在撒有痱子粉的水面上滴入油酸酒精溶液后能立即估测油膜的面积吗?

提示: 不能。要等油膜完全散开, 形状稳定后。

2. “用油膜法估测油酸分子的大小”实验的简要步骤如下:

A. 将画有油膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上, 数出轮廓内的方格数(不足半格的舍去, 多于半格的算一个格), 再根据方格的边长求出油膜的面积 S ;

B. 将一滴油酸酒精溶液滴在水面上, 待油酸薄膜的形状稳定后, 将玻璃板放在浅盘上, 用细彩笔将薄膜的轮廓描绘在玻璃板上;

C. 用浅盘装入约 2 cm 深的水;

D. 用公式 $d = \frac{V}{S}$, 求出薄膜的厚度, 即油酸分子的直径;

E. 根据油酸酒精溶液的浓度和已测出的一滴油酸酒精溶液的体积 V_0 , 算出一滴溶液中纯油酸的体积 V 。

(1) 上述步骤中有步骤遗漏或步骤不完整之处, 请指出:

① _____。

② _____。

(2) 上述实验步骤的合理顺序是 _____。

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。

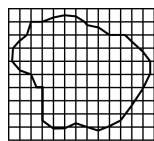
答案: (1) ① C 步骤中, 缺少在水面上撒痱子粉的操作

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. 某实验小组用油膜法估测油酸分子的大小, 实验中所用的油酸酒精溶液的体积浓度为 0.1%, 1 mL 上述溶液有 50 滴, 实验中用滴管吸取该油酸酒精溶液向浮有痱子粉的水面中央滴入一滴。

(1) 实验中描出的油膜轮廓如图所示, 已知每一个正方形小方格的边长为 2 cm, 则该油膜的面积为 _____ m^2 。(结果保留一位有效数字)



(2) 经计算, 油酸分子的直径为 _____ m。(结果保留一位有效数字)

解析: (1) 由于每个小方格的边长为 2 cm, 则每一个小方格的面积就是 4 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) 3×10^{-2} (2) 7×10^{-10}

「创新实验」

4.在“用油膜法估测油酸分子的大小”实验中:

(1)该实验中的理想化假设是_____。

- A. 将油膜看成单分子层油膜
- B. 不考虑各油酸分子间的间隙
- C. 不考虑各油酸分子间的相互作用力
- D. 将油酸分子看成球形

(2)实验中使用的是油酸酒精溶液,其中酒精的作用是_____。

- A. 可使油酸和爽身粉之间形成清晰的边界轮廓
- B. 对油酸起到稀释作用
- C. 便于测量一滴油酸的体积
- D. 使油酸的颜色更透明便于识别

(3)某老师为本实验配制了油酸酒精溶液,实验室配备的器材有:面积为 0.22 m^2 的蒸发皿、滴管、量筒(50滴溶液滴入量筒体积约为 1 mL)、纯油酸和无水酒精若干。已知分子直径数量级为 10^{-10} m ,则该老师配制的油酸酒精溶液浓度(油酸与油酸酒精溶液的体积比)至多为_____%。(结果保留两位有效数字)。

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

$$\frac{\frac{x}{50} \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-10}} = 0.22, \text{解得 } x = 0.0011, \text{所以体积比为 } 0.11\%。$$

答案:(1)ABD (2)B (3)0.11

任务总结

油膜法估测分子大小的实验要求

- 1.明确实验思路:通过宏观量的测量来估测微观量。
- 2.掌握实验方法:明确实验步骤,掌握物理量(一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V 及在水面上形成的单分子油膜的面积 S)的测量方法。
- 3.数据分析处理:根据一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V 和形成的油膜面积 S 得到油酸分子的直径 $d = \frac{V}{S}$ 。
- 4.用油膜法估测油酸分子大小的实验误差主要来自:
 - (1)油酸酒精溶液的实际浓度和理论值间存在偏差。
 - (2)一滴油酸酒精溶液的实际体积和理论值间存在偏差。
 - (3)油酸在水面上的实际分布情况和理想中的“均匀”“单分子纯油酸层”间存在偏差。
 - (4)通过计算轮廓范围内正方形的个数(不足半个的舍去,多于半个的算一个)获得的油膜面积和实际的油膜面积间存在偏差。

► 提质归纳

- 1.将油膜视为单分子油膜层,将油酸分子视为球形。
- 2.利用估测法测量油膜的面积。
- 3.数据处理与误差分析。

课后素养评价(二)

一、实验思路与操作

1.用油膜法估测油酸分子的直径,需测量的物理量是

()

- A. 一滴油酸酒精溶液中纯油酸的质量和它的密度
- B. 一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积和它的密度
- C. 一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积和它形成的油膜的最大面积
- D. 所形成的油膜的厚度和它的密度

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

2.(多选)“用油膜法估测油酸分子的大小”实验的假设前提是 ()

- A. 将油酸形成的膜看成单分子油膜
- B. 不考虑各油酸分子间的间隙
- C. 考虑了各油酸分子间的间隙
- D. 将油酸分子看成球形

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。

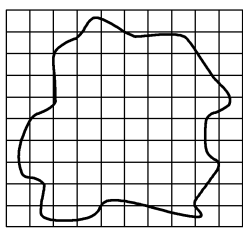
3. 下列选项中不是用油膜法粗略测定分子直径的实验基础的是 ()

- A. 把油酸分子视为球形,其直径即为油膜的厚度
B. 让油酸在水面上充分散开,形成单分子油膜
C. 油酸分子的直径等于滴到水面上的油酸体积除以油膜的面积
D. 油酸分子直径的数量级是 10^{-15} m

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. 在“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验中,某同学的操作如下:

- ①取 1.0 mL 油酸配成 250 mL 油酸酒精溶液;
- ②用滴管吸取 1.0 mL 油酸酒精溶液逐滴滴入量筒,全部滴完共 20 滴;
- ③在边长约 10 cm 的正方形浅盘内注入适量的水,将爽身粉均匀地撒在水面上,用滴管滴入一滴溶液;
- ④待油膜形状稳定后,将绘有方格的玻璃板放在浅盘上,绘出油膜的轮廓(如图所示),每个方格的边长为 1.0 cm。



(1) 该实验中一滴油酸酒精溶液含 _____ mL 油酸。

(2) 由上述数据估算得到油酸分子直径的数量级约为 _____ 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,由此估算得到的油酸分子直径数量级将 _____ (选填“偏大”“偏小”或“不变”)。

(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 _____。

(5) 用油膜法测出油酸分子的直径后,要测定阿伏

伽德罗常量,还需要知道油酸的 _____ (选填字母序号)。

- A. 摩尔质量 B. 摩尔体积
C. 质量 D. 体积

解析:(1) 该实验中一滴油酸酒精溶液含纯油酸的

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

(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 $d = \frac{V}{S} =$

$$\frac{2 \times 10^{-4} \times 10^{-6}}{5.5 \times 10^{-3}} \text{ m} \approx 3.6 \times 10^{-8} \text{ m}, \text{ 故油酸分子直径}$$

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) 2×10^{-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

二、实验数据分析与误差分析

5. 在“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验中,用 a mL 的纯油酸配制成 b mL 的油酸酒精溶液,再用滴管取 1 mL 油酸酒精溶液,让其自然滴出,共 n 滴。现滴一滴油酸酒精溶液到盛水的浅盘内,待油膜充分展开后,测得油膜的面积为 $S \text{ cm}^2$ 。

(1) 估算出油酸分子的直径大小是 $\frac{a}{bSn} \text{ cm}$ 。

(2) 用油膜法测出油酸分子的直径后,要测定阿伏伽德罗常量,还需要知道油酸的 B。

- A. 摩尔质量 B. 摩尔体积
C. 质量 D. 体积

6. (2024 · 上海卷,节选) 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

()

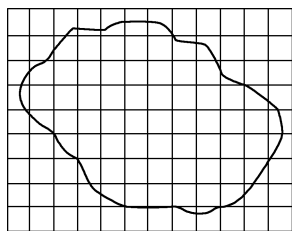
- A. 10^{-15} m B. 10^{-12} m
C. 10^{-9} m D. 10^{-6} m

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.(1)(多选)某同学在“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验中,计算结果明显偏大,可能是由于_____。

- A. 油酸未完全散开
- B. 油酸中含有大量的酒精
- C. 计算油膜面积时舍去了所有不足一格的方格
- D. 求每滴溶液体积时,1 mL 溶液的滴数多记了 10 滴

(2)油酸酒精溶液的浓度为 1×10^4 mL 溶液中有纯油酸 6 mL,用注射器测得 1 mL 上述溶液中有液滴 50 滴。把一滴该溶液滴入盛水的且均匀撒有痱子粉的浅盘里,待水面稳定后,将玻璃板放在浅盘上,在玻璃板上描出油膜的轮廓,然后把玻璃板放在坐标纸上,其形状如图所示,坐标纸上正方形小方格的边长为 20 mm。



- ①求油膜的面积;
- ②求每一滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积;
- ③根据上述数据,估测出油酸分子的直径(结果保留两位有效数字)。

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 $S = 58 \times (20 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = 2.32 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。

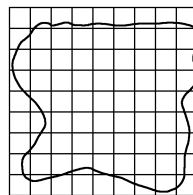
②因为 50 滴油酸酒精溶液的体积为 1 mL,且溶液含纯油酸的浓度为 $\frac{6}{1 \times 10^4} = 0.06\%$,所以每滴油酸

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.每 1 000 mL 油酸酒精溶液中有油酸 0.6 mL,用滴管向量筒内滴 50 滴上述溶液,量筒中的溶液体积增加 1 mL。若把一滴这样的溶液滴入盛水的且均匀撒有痱子粉的浅盘中,由于酒精溶于水,油酸在水面展开,稳定后形成的单分子油膜的形状如图所示。



(1)若每一小方格的边长为 30 mm,则油膜的面积为 _____ m^2 。

(2)每一滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积为 _____ m^3 。

(3)根据上述数据,估算出油酸分子的直径为 _____ m(结果保留两位有效数字)。

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) 5.13×10^{-2} (2) 1.2×10^{-11} (3) 2.3×10^{-10}

3 分子的热运动

学习任务目标

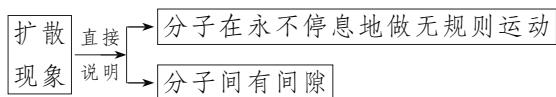
- 1.了解扩散现象是分子的热运动的宏观表现。(物理观念)
- 2.知道布朗运动的特点及产生原因。(科学思维)
- 3.通过对比,归纳扩散现象、布朗运动和分子的无规则运动之间的联系与区别。(科学思维)

问题式预习

知识点一 扩散现象

- 1.定义:不同物体相互接触时彼此进入的现象。
- 2.发生状态:物质处于固态、液态和气态时,都能发生扩散现象。
- 3.产生原因:由物质分子的无规则运动引起的。
- 4.特点:温度越高,扩散越快。
- 5.意义:证明了物质分子在永不停息地做无规则运动。

[科学思维]



[判一判]

- 1.只有气体才发生扩散现象。 (×)
- 2.温度越高,扩散进行得就越快。 (√)
- 3.扩散现象发生的快慢程度还与进入对方的分子浓度有关。 (√)

知识点二 布朗运动及其解释

- 1.定义:把悬浮在静止液体里的颗粒的无规则运动叫作布朗运动。
- 2.产生原因:由大量液体(气体)分子对悬浮微粒撞击的不平衡性造成的。
- 3.特点:永不停息、无规则。
- 4.影响因素:微粒越小,布朗运动越明显;温度越高,布朗运动越剧烈。
- 5.意义:布朗运动间接地反映了液体(气体)分子运动的无规则性。

[科学思维]

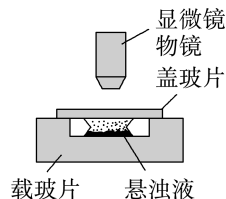
(1)布朗运动是无规则的 $\xrightarrow{\text{反映}}$ 分子运动是无规则的。

(2)布朗运动是永不停息的 $\xrightarrow{\text{反映}}$ 分子运动是永不停息的。

(3)温度越高,布朗运动越剧烈 $\xrightarrow{\text{反映}}$ 温度越高,分子的运动越剧烈。

[做一做]

把墨汁用水稀释后取出一滴放在光学显微镜下观察,如图所示。下列说法正确的是 ()



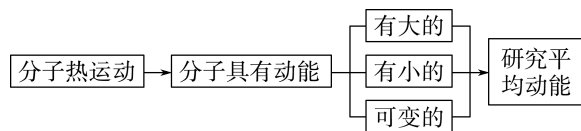
- A. 炭粒越大,布朗运动越明显
- B. 小炭粒在不停地做无规则运动,这种运动就是布朗运动
- C. 在光学显微镜下既能看到水分子,又能看到悬浮的小炭粒
- D. 温度越低,布朗运动越明显

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 热运动和分子动能

- 1.定义:分子的无规则运动。
- 2.宏观表现:扩散现象和布朗运动。
- 3.特点
 - (1)永不停息。
 - (2)运动无规则。
 - (3)温度越高,分子的热运动越剧烈。
- 4.温度是分子热运动平均动能的标志。

[科学思维]



[判一判]

- 1.温度越高,某个分子的动能一定越大。 (×)
- 2.温度升高,分子的动能一定变大。 (×)
- 3.温度不变,分子的动能不变。 (×)

任务型课堂

任务一 对扩散现象的理解

[探究活动]

通常把青菜腌成咸菜需要几天时间,而把青菜炒熟,使之具有咸味,仅需几分钟。

(1)“腌”和“炒”使青菜具有咸味所需时间有差别的主要原因是什?

提示:炒菜时温度高,分子无规则运动得快,扩散现象明显。

(2)分子热运动的特点有哪些?

提示: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.扩散现象说明了 ()

- A. 气体没有固定的形状和体积
- B. 分子间相互排斥
- C. 分子在不停地运动着
- D. 不同分子间可相互转化

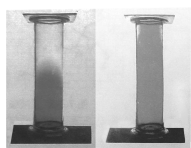
C 解析:扩散现象是不同种物体相互接触时彼此进入的现象,可以发生在固体、液体、气体任何两种物质之间,直接反映了分子的无规则热运动,C正确;气体没有固定的形状和体积是因为气体分子间距离很大,分子间作用力很小,气体分子可以自由地向各个方向运动,A错误;扩散现象不能说明分子相互排斥,B错误;转化是一种化学反应或原子核反应,D错误。

2.(多选)关于扩散现象,下列说法正确的是 ()

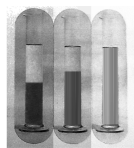
- A. 扩散现象是指相互接触的物质彼此进入对方的现象
- B. 扩散现象只能在液体中进行
- C. 扩散现象说明分子在做无规则运动且分子之间是有间隙的
- D. 扩散的快慢与温度有关

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.如图甲、乙所示为研究溴蒸气的扩散、硫酸铜溶液的扩散现象的实验图。



溴蒸气的扩散
甲



硫酸铜溶液的扩散
乙

(1)甲、乙两个实验现象的产生是由外界作用(如对流、重力作用等)引起的吗?

(2)甲实验说明了气体分子能发生扩散现象,乙实验说明了液体分子能发生扩散现象,扩散现象能在固体中发生吗?试举例说明。

(3)若将硫酸铜溶液倒入热水中,溶质扩散快慢与在冷水中一样吗?这说明了什么?

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

任务总结

1.影响扩散现象是否明显的因素

(1)物态:扩散现象发生时,气态物质的扩散现象最快、最显著,液态物质次之,固态物质的扩散现象最慢,并且短时间内非常不明显。

(2)温度:在两种物质一定的前提下,扩散现象发生的明显程度与物质的温度有关,温度越高,扩散现象越显著。

(3)浓度差:扩散现象发生的明显程度还与两种物质的浓度差有关,浓度差越大,扩散现象越明显。

2.产生扩散现象的原因

扩散现象不是外界作用引起的,而是分子无规则运动的直接结果,是分子无规则运动的宏观反映。

任务二 布朗运动和热运动

1.下列关于布朗运动与分子热运动的说法正确的是 ()

- A. 微粒的无规则运动就是分子的运动
- B. 微粒的无规则运动是固体微粒分子无规则运动的反映
- C. 微粒的无规则运动是液体(或气体)分子无规则运动的反映
- D. 因为布朗运动的剧烈程度跟温度有关,所以布朗运动也可以叫作热运动

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. 下列关于布朗运动的说法正确的是 ()

- A. 布朗运动是液体分子的无规则运动
 B. 布朗运动是指悬浮在液体中的固体分子的无规则运动
 C. 布朗运动主要反映了液体分子与悬浮微粒之间存在着相互作用力
 D. 观察布朗运动会看到,悬浮微粒越小,温度越高,布朗运动越明显

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. 在春暖花开的季节,游客抛洒花粉于静水中,花粉微粒会做布朗运动,下列说法正确的是 ()

- A. 布朗运动是花粉分子的无规则运动
 B. 布朗运动可以反映单个水分子的运动速率
 C. 人可以闻到花香是化学反应的结果
 D. 悬浮在水中的颗粒越小,温度越高,布朗运动越明显

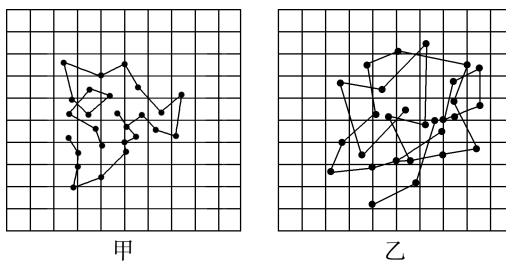
D 解析: 悬浮在水中的花粉颗粒的运动是布朗运动,是由于受到水分子的不平衡撞击而发生的,故反映了水分子的永不停息的无规运动,但不能反映单个水分子的运动速率,A、B错误。人可以闻到花香是分子做无规则运动的结果,不是化学反应的结果,C错误。悬浮在水中的颗粒越小,碰撞作用的不平衡性越大,布朗运动越明显;温度越高,水分子无规则运动越剧烈,布朗运动越明显,D正确。

4. (多选) $PM_{2.5}$ 是指空气中直径等于或小于 $2.5 \mu\text{m}$ 的悬浮颗粒物,其悬浮在空中做无规则运动,很难自然沉降到地面,吸入后对人体产生危害。矿物燃料燃烧排放的废气是形成 $PM_{2.5}$ 的主要原因。下列关于 $PM_{2.5}$ 的说法正确的是 ()

- A. $PM_{2.5}$ 的直径与空气中氧分子的直径的数量级相当
 B. $PM_{2.5}$ 在空气中的运动属于布朗运动
 C. 温度越低, $PM_{2.5}$ 运动越剧烈
 D. 倡导低碳生活,减少煤和石油等燃料的使用能有效降低 $PM_{2.5}$ 在空气中的浓度

BD 解析: $PM_{2.5}$ 是指直径小于或等于 $2.5 \mu\text{m}$ 的颗粒物, $PM_{2.5}$ 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; $PM_{2.5}$ 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; $PM_{2.5}$ 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 $PM_{2.5}$ 的运动越剧烈,故选项 C 错误;导致 $PM_{2.5}$ 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 $PM_{2.5}$ 在空气中的浓度,故选项 D 正确。

5. 在观察布朗运动时,甲、乙两同学分别在高倍显微镜下每隔 30 s 追踪记录水中小炭粒的运动位置,其连线图如图甲和图乙所示,两方格纸每格均为边长相等的正方形。比较两图可知:若水温相同, _____ (选填“甲”或“乙”)中炭粒的颗粒较大;若炭粒大小相同, _____ (选填“甲”或“乙”)中水分子的热运动较剧烈。水中小炭粒的运动 _____ (选填“是”或“不是”)水分子的运动。



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

任务总结 ■■■■

1. 关于布朗运动的三点提醒

- (1) 能做布朗运动的都是固体微粒,肉眼看不见,必须借助显微镜。肉眼看见的微粒的运动一定不是布朗运动。
- (2) 布朗运动反映了液体分子或气体分子运动的无规则性,不是反映了固体微粒内部分子运动的无规则性。
- (3) 在布朗运动实验中,记录的折线不是微粒的运动轨迹,也不是周围液体分子的运动轨迹。

2. 扩散现象、布朗运动与热运动的比较

项目	扩散现象	布朗运动	分子热运动
活动主体	分子	固体微小颗粒	分子
区别	分子的运动发生在固体、液体、气体等任何两种物质之间。本质：气体、液体、固体中分子的运动	是比分子大得多的微小颗粒的运动。本质：固体小颗粒的运动是液体(气体)分子无规则运动的反映	分子无论大小都做热运动，热运动不能通过光学显微镜直接观察到
观察	肉眼可见	光学显微镜	电子显微镜或扫描隧道显微镜
共同点	都在永不停息地做无规则运动，都随温度的升高而变得更加剧烈		
联系	扩散现象和布朗运动都证实了分子在永不停息地做无规则运动		

任务三 分子热运动的平均动能

[探究活动]

一般分子的热运动速率很大，大多在 200~600 m/s，但是，对于放在一个宽度只有几米的房间里的香水，打开瓶塞后，房间里的人要过一会儿才能闻到香味，为什么？

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. 对分子的热运动，以下叙述正确的是 ()

- A. 分子的热运动就是布朗运动
- B. 热运动是分子的无规则运动，同种物质的分子的热运动剧烈程度相同
- C. 气体分子的热运动不一定比液体分子剧烈
- D. 物体运动的速度越大，其内部分子热运动就越剧烈

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. 氧气和二氧化碳的质量和温度相同，则 ()

- A. 分子运动的平均速率相同
- B. 分子运动的平均动能相同
- C. 二氧化碳分子的总动能较大
- D. 二者分子动能总和相同

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。

任务总结

1. 对热运动的理解

(1) 所谓分子的“无规则运动”，是指由于分子之间的相互碰撞，每个分子的运动速度无论是方向还是大小都在不断地变化，因此大量分子的运动是十分混乱的，也就是无规则的。

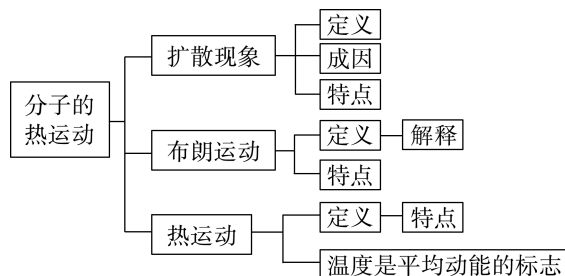
(2) 热运动是对大量分子而言的，对个别分子无意义。

(3) 分子热运动的剧烈程度虽然受到温度影响，温度越高，运动越剧烈，但无论温度高低，分子的运动永远不会停息。

2. 分子动能

单个分子的动能	(1) 物体由大量分子组成，每个分子都有动能且不为零。 (2) 分子在永不停息地做无规则热运动，每个分子的动能大小不同，并且时刻在变化。 (3) 热现象是大量分子无规则运动的统计结果，个别分子的动能没有实际意义
分子的平均动能	(1) 温度升高，分子的平均动能增大，但不是每一个分子的动能都增大，个别分子的动能可能增大，也可能减小，但总体上所有分子的动能之和一定是增大的。 (2) 虽然同一温度下，不同物质的分子热运动的平均动能相同，但由于不同物质的分子质量不尽相同，平均速率大小一般不相同

► 提质归纳



课后素养评价(三)

基础性·能力运用

知识点 1 扩散现象

1. 下列现象能说明分子不停地做无规则运动的是 ()

- A. 在皮肤上擦点酒精,立即就能闻到酒精的味道
 B. 鱼苗池中的小鱼在不停地游动
 C. 教室里大扫除时,灰尘满屋飞扬
 D. 落叶在河水中顺流而下

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。

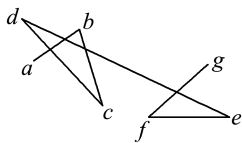
2. 关于扩散现象,下列说法正确的是 ()

- A. 只有气体和液体才能发生扩散现象
 B. 扩散现象使人们直接看到了分子的运动
 C. 扩散现象说明分子是整体定向移动的
 D. 气体、液体、固体都会发生扩散现象,其中气体扩散现象最显著

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。

知识点 2 布朗运动

3. 在观察布朗运动时,从微粒在 a 点时开始计时,每隔 30 s 记下微粒的一个位置,得到 b 、 c 、 d 、 e 、 f 、 g 等点,然后用线段依次连接各点,如图所示,则微粒在 75 s 末时的位置 ()



- A. 一定在 cd 的中点
 B. 在 cd 的连线上,但不一定在 cd 的中点
 C. 一定不在 cd 连线的中点
 D. 可能在 cd 连线以外的某一点

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. 关于花粉颗粒在液体中的布朗运动,下列说法正确的是 ()

- A. 液体温度越低,布朗运动越显著
 B. 花粉颗粒越大,布朗运动越显著
 C. 布朗运动是由液体分子的无规则运动引起的
 D. 布朗运动是由花粉颗粒内部分子无规则运动引起的

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。

知识点 3 分子热运动

5. 分子的热运动是指 ()

- A. 分子被加热后的运动
 B. 分子的无规则运动
 C. 物体的热胀冷缩现象
 D. 物体做机械运动的某种情况

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。

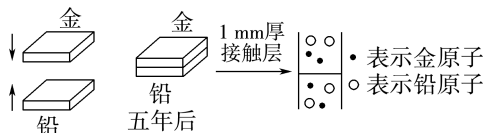
6. (多选)下列说法正确的是 ()

- A. 只要温度相同,任何物体分子的平均动能都相同
 B. 分子动能指的是由于分子做无规则运动而具有的能
 C. 物体中 10 个分子的动能很大,这 10 个分子的温度很高
 D. 温度低的物体中的每一个分子的运动速率一定小于温度高的物体中的每一个分子的运动速率

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。

综合性·创新提升

7. 如图所示,把一块铅和一块金的接触面磨平、磨光后紧紧压在一起,五年后发现金中有铅、铅中有金。对此现象的说法正确的是 ()



- A. 属于扩散现象,原因是金原子和铅原子相互吸引
 B. 属于扩散现象,原因是金原子和铅原子在运动
 C. 属于布朗运动,小金粒进入铅块中,小铅粒进入金块中
 D. 属于布朗运动,由于外界压力使小金粒、小铅粒彼此进入对方中
- 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. (多选)下列关于布朗运动和扩散现象的说法正确的是 ()

- A. 布朗运动和扩散现象都能在气体、液体和固体中发生
 B. 布朗运动和扩散现象都是分子的运动
 C. 布朗运动和扩散现象都是温度越高,现象越明显
 D. 布朗运动和扩散现象都能说明分子的运动是永不停息的

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. (多选)关于布朗运动,下列说法不正确的是 ()
- A. 布朗运动是微观粒子的运动,牛顿运动定律不再适用
 B. 布朗运动是微粒内分子做无规则运动的反映
 C. 强烈的阳光射入较暗的房间内,在光束中可以看到有浮在空气中的微尘不停地运动,这不是布朗运动
 D. 因为布朗运动的剧烈程度跟温度有关,所以布朗运动也叫作热运动

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;热运动是分子的永不停息的无规则运动,布朗运动不是热运动,D项错误。

10. 关于布朗运动及其原因,以下说法不正确的是 ()

- A. 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
 B. 布朗运动是液体分子的运动,它说明分子在永不停息地做无规则运动
 C. 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
 D. 液体的温度越高,布朗运动越剧烈

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. (多选)下列现象属于热运动的是 ()

- A. 把一块平滑的铅板叠放在平滑的铝板上,经过相当长的一段时间后再把它们分开,会看到它们相接触的面都是灰蒙蒙的
 B. 把胡椒粉放入菜汤中,最后胡椒粉会沉在汤碗底,而我们喝汤时尝到了胡椒的味道
 C. 含有泥沙的水经一定时间后会澄清
 D. 用砂轮打磨而使零件的温度升高

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. 气溶胶微粒是悬浮在大气中的肉眼不可见的微小颗粒。关于封闭环境中的气溶胶微粒,下列说法正确的是 ()

- A. 温度升高,气溶胶微粒运动会减慢
 B. 气溶胶微粒在空气中的无规则运动可以看作布朗运动
 C. 气溶胶微粒受到的空气中分子的作用力的合力始终为零
 D. 气溶胶微粒越大,运动越明显

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。

4 分子间的相互作用力

学习任务目标

- 1.知道分子间作用力及其随分子间距离变化的定性规律。(物理观念)
- 2.理解分子势能随分子间距离变化的规律。(科学思维)
- 3.会比较内能、机械能的区别。(科学思维)
- 4.知道物体的内能和分子动理论的内容。(物理观念)

问题式预习

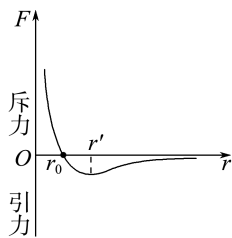
知识点一 分子间存在相互作用力及其与距离的关系

1.分子间存在相互作用力

大量分子能聚集在一起形成固体或液体,说明分子间存在着引力;分子间有间隙却很难被压缩,说明分子间存在着斥力。

2.分子间作用力与距离的关系

如图所示,表示了分子间斥力和引力随分子间距离 r 变化的情况(r_0 的数量级为 10^{-10} m),由图可知:



(1)当 $r < r_0$ 时,分子间作用力 $F > 0$,即表现为斥力,并且距离 r 越小,力 F 越大。

(2)当 $r > r_0$ 时,分子间作用力 $F < 0$,即表现为引力。当距离 r 从 r_0 处开始增大时,引力 F 先增大,然后逐渐减小;当距离 r 增大到 $10r_0$ 左右时,引力 F 已经很微弱,一般可以忽略不计了。

(3)固体、液体分子间的距离通常在 r_0 附近;气体分子间的距离更大,一般达到 $10r_0$ 以上,所以气体分子间的作用力很小,通常可以忽略不计。

[科学思维]

压缩气体需要力,这个力克服的是分子间的斥力吗?

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.分子间距离较小时只存在斥力,距离较大时只存在引力。 (×)
- 2.当物体被压缩时,分子间只有斥力,没有引力。 (×)
- 3.分子间的引力随分子间距离的增大而增大,分子间的斥力随分子间距离的增大而减小。 (×)

知识点二 内能 分子动理论

1.物体的内能

(1)分子势能:分子系统具有的势能。

(2)内能:物体中所有分子的热运动的动能与分子势能的总和。

(3)内能的普遍性:组成任何物体的分子都在做无规则的热运动,所以任何物体都具有内能。

(4)决定因素

①物体所含的分子总数由物质的量决定;

②分子的热运动平均动能由温度决定;

③分子势能与物体的体积有关。物体的内能由物质的量、温度、体积共同决定,同时受物态变化的影响。

2.分子动理论

内容: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,分子之间存在着引力、斥力。

[科学思维]

当温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,物体内的分子平均动能为零吗?

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]

下列关于物体内能的说法正确的是 ()

- A. 一个分子的动能和分子势能的总和叫作该分子的内能
- B. 物体中所有分子热运动的动能与分子势能的总和叫作物体的内能
- C. 当一个物体的机械能发生变化时,其内能也一定发生变化
- D. 温度高的物体一定比温度低的物体内能大

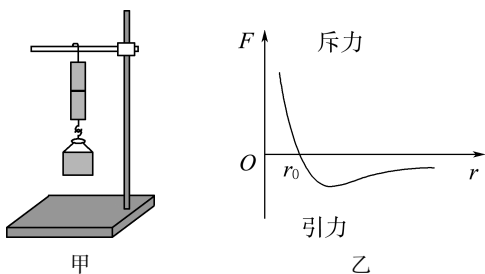
B 解析:内能是物体中所有分子热运动的动能与分子势能的总和,A 错误,B 正确;机械能与内能是两种不同形式的能,物体的机械能发生变化,内能不一定变化,C 错误;温度高的物体比温度低的物体的分子平均动能大,但内能不一定大,D 错误。

任务型课堂

任务一 分子间的作用力

[探究活动]

如图甲所示,把两块纯净的铅块压紧,它们会“粘”在一起,下面吊一个重物也不能把它们拉开。如图乙所示为分子间作用力与分子间距离的关系图像。



(1)图甲所示的实验说明了什么?

提示:分子间存在引力。

(2)试根据图乙分析分子间的作用力随分子间距离变化的情况。

提示: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.关于分子间作用力,下列说法正确的是 ()

- A. 碎玻璃不能拼合在一起,说明玻璃分子间的作用力表现为斥力
- B. 用打气筒给自行车车胎打气需用力向下压活塞,说明气体分子间的作用力表现为斥力
- C. 固体很难被压缩,说明分子间的作用力表现为斥力
- D. 水和酒精混合后的总体积小于原来二者的体积之和,说明分子间存在作用力

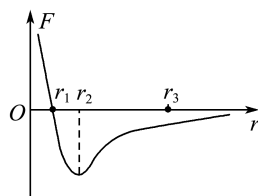
C 解析:分子间作用力发生作用的距离很小,打碎的碎片间的距离远大于分子间作用力的作用距离,在这个距离处,分子的作用力基本趋于零,所以碎玻璃不能拼合在一起,故 A 错误;用打气筒给自行车车胎打气需用力向下压活塞,需要克服打气筒内外气体的压力差,不能说明气体分子间的作用力表现为斥力,故 B 错误;固体很难被压缩,说明分子间的作用力表现为斥力,故 C 正确;水和酒精混合后的总体积小于原来二者的体积之和,说明分子间存在间隙,故 D 错误。

2.(多选)下列关于分子间相互作用力的说法正确的是 ()

- A. 当分子间的距离 $r = r_0$ 时,分子间的作用力为零
- B. 当分子间的距离 $r < r_0$ 时,分子间的作用力表现为斥力
- C. 当分子间的距离 $r > r_0$ 时,分子间的作用力表现为引力
- D. 当分子间的距离 $r = 10^{-9}$ m 时,分子间的作用力不可以忽略不计

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.(多选)如图所示,假设把甲分子固定在坐标原点 O,乙分子位于 r 轴上,甲、乙两分子间的作用力与分子间距离的关系图像如图所示。现把乙分子从 r_3 处由静止释放,则 ()



- A. 乙分子从 r_3 运动到 r_1 的过程中一直加速
- B. 乙分子从 r_3 运动到 r_2 的过程中分子间的作用力表现为引力,从 r_2 运动到 r_1 的过程中分子间的作用力表现为斥力
- C. 乙分子从 r_3 运动到 r_1 的过程中,两分子间的作用力先增大后减小
- D. 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减小后增大

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。

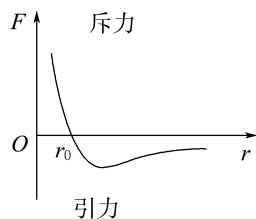
任务总结

1. 对分子间作用力与分子间距离变化关系的理解

(1) r_0 (数量级为 10^{-10} m) 的意义

分子间距离 $r=r_0$ 时, 分子间的作用力 F 为 0, 所以分子间距离等于 r_0 的位置叫平衡位置。

(2) 分子间的作用力随分子间距离变化的图像如图所示。



在 r 轴上方, 分子间的作用力表现为斥力; 在 r 轴下方, 分子间的作用力表现为引力。

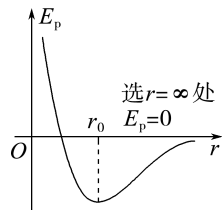
(3) 当 $r < r_0$ 时, 分子间的作用力随分子间距离的增大而减小; 当 $r > r_0$ 时, 分子间的作用力随分子间距离的增大先增大后减小。

2. 分子间的作用力是短程力

分子间的距离超过分子直径的 10 倍, 即 1 nm 的数量级时, 分子间的作用力十分微弱, 可以认为等于零, 例如, 气体分子间的作用力可以忽略不计。

- A. 分子势能最小, 且小于零
 B. 分子间作用力为零
 C. 分子间势能等于零
 D. 分子势能大于零

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. 甲分子固定在坐标原点 O , 乙分子位于 x 轴上, 甲分子对乙分子的作用力与两分子间距离的关系如图 1 所示, $F > 0$ 表示斥力, $F < 0$ 表示引力, a 、 b 、 c 、 d 为 x 轴上四个特定的位置。取两分子间距离趋近于无穷大时, 分子间势能 E_p 为零, 两分子间势能 E_p 随分子间距离 x 变化的图像如图 2 所示。现把乙分子从 a 处由静止释放, 则下列说法正确的是

()

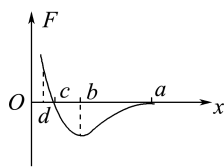


图1

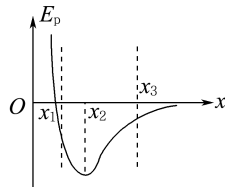


图2

- A. 乙分子由 a 到 b 做加速运动, 由 b 到 c 做减速运动
 B. 乙分子由 a 到 d 的过程中, 加速度先增大后减小
 C. $x_1 > c$
 D. $x_2 = c$
 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。

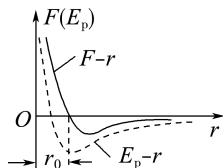
3. 有甲、乙两个分子, 甲分子固定不动, 乙分子由无穷远处逐渐向甲靠近, 直到不能再靠近为止。在整个过程中, 分子势能的变化情况是 ()

- A. 不断增大
 B. 不断减小
 C. 先增大后减小
 D. 先减小后增大

任务二 分子势能与分子间距离的关系

[探究活动]

分子力 F 、分子势能 E_p 与分子间距离 r 的关系图像如图所示(取无穷远处分子势能 $E_p = 0$)。



(1) 当 $r > r_0$ 时, 分子间作用力表现为什么力? 若 r 继续增大, 分子力做什么功? 分子势能怎么变化?

提示: 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什么力? 若 r 继续减小, 分子力做什么功? 分子势能怎么变化?

提示: 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) 当 $r = r_0$ 时, 分子势能有什么特点?

提示: 分子势能最小。

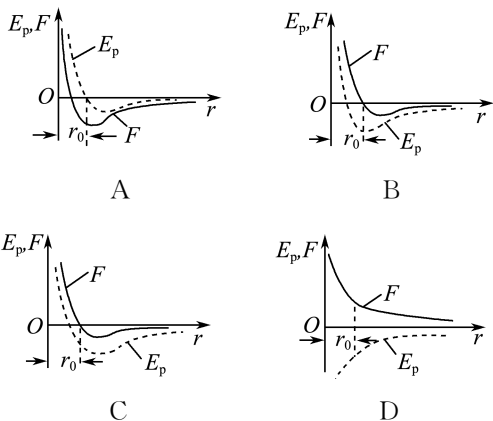
[评价活动]

1. (多选) 若取无穷远处分子势能为零, 当处于平衡状态的两分子间距离为 r_0 时, 下列说法正确的是

()

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. 下列四幅图中,能正确反映分子间作用力 F 和分子势能 E_p 随分子间距离 r 变化关系的图像是 ()



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。

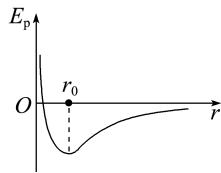
任务总结

1. 分子势能是由相互作用的分子间的相对位置决定的,同样遵循“分子力做正功,分子势能减小;分子力做负功,分子势能增大”的规律。

2. 分子力、分子势能与分子间距离的关系

分子间距离	$r = r_0$	$r > r_0, r$ 增大	$r < r_0, r$ 减小
分子力	等于零	表现为引力	表现为斥力
分子力做功	—	分子力做负功	分子力做负功
分子势能	最小	随分子间距离增大而增大	随分子间距离减小而增大

3. 分子势能与分子间的距离的关系图像



- (1) 分子势能是标量,正、负表示的是大小,具体的值与零势能点的选取有关。一般取两分子相距无穷远时分子势能为零。
- (2) 当 $r = r_0$ 时,分子势能最小。

4. 分子势能的影响因素

微观上分子势能跟分子间距离有关,宏观上跟物体的体积有关。

任务三 物体的内能与机械能

1. 下列说法正确的是 ()

- A. 物体温度降低,其分子热运动的平均动能增大
- B. 物体温度升高,其分子热运动的平均动能增大
- C. 物体温度降低,其内能一定增大
- D. 物体温度不变,其内能一定不变

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. 当 1 mol 的氢气和 1 mol 的氧气(均不考虑分子间作用力)温度相同时,下列说法正确的是 ()

- A. 两种气体的分子平均动能相同
- B. 氢气的内能大于氧气的内能
- C. 两种气体分子热运动的总动能不相同
- D. 两种气体分子热运动的平均速率相同

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. (多选)关于内能和机械能,下列说法正确的是 ()

- A. 机械能越大的物体,其内能一定越大
- B. 物体的机械能损失时,内能可能增加
- C. 物体的内能损失时,机械能必然会减小
- D. 物体的机械能可以为零,内能不可能为零

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.(多选)关于分子动理论和物体的内能,下列说法正确的是 ()

- A. 某种物体的温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,说明该物体中分子的平均动能为零
- B. 物体的温度升高时,分子的平均动能一定增大,但内能不一定增大
- C. 当分子间的距离增大时,分子间的引力和斥力都减小,但斥力减小得更快,所以分子间作用力总表现为引力
- D. $10\text{ g }100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水的内能小于 $10\text{ g }100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水蒸气的内能

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.(多选)一辆运输瓶装氧气的货车,由于某种原因,司机紧急刹车,最后停了下来。下列说法正确的是 ()

- A. 汽车机械能减小,氧气内能增大
- B. 汽车机械能减小,氧气内能减小
- C. 汽车机械能减小,氧气内能不变
- D. 汽车机械能减小,汽车轮胎内能增大

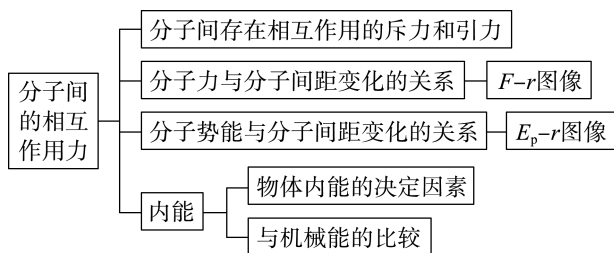
CD **解析**:氧气温度不变,体积不变,则内能不变, A、B 错误;汽车轮胎与地面摩擦,机械能减小,转化为内能, C、D 正确。

任务总结

内能和机械能的区别与联系

项目	内能	机械能
对应的运动形式	微观分子的热运动	宏观物体的机械运动
常见的能量形式	分子动能、分子势能	物体的动能、重力势能及弹性势能
影响因素	物质的量、物体的温度、体积及物态	物体的质量、物体做机械运动的速度、相对于零势能面的高度及弹性形变量
大小	永远不等于零	一定条件下可以等于零
联系	在一定条件下可以相互转化	

► 提质归纳



课后素养评价(四)

基础性·能力运用

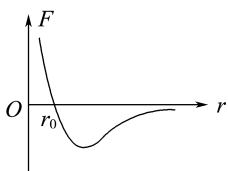
知识点 1 分子间的作用力

1.(多选)下列说法正确的是 ()

- A. 水的体积很难被压缩,这是分子间的作用力为斥力的宏观表现
- B. 气体总是很容易充满容器,这是分子间的作用力为斥力的宏观表现
- C. 两个相同的半球壳吻合接触,中间抽成真空(马德堡半球),用力很难拉开,这是分子间的作用力为引力的宏观表现
- D. 用力拉铁棒的两端,铁棒没有断,这是分子间的作用力为引力的宏观表现

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.(多选)如图所示为两分子间的作用力 F 与分子间距离 r 的关系曲线。下列说法正确的是 (AC)



- A. 当 $r > r_0$ 时,分子间作用力表现为引力
- B. 当 $r > r_0$ 时,随着分子间距离的增大,分子间作用力先减小后增大
- C. 当 $r < r_0$ 时,随着分子间距离的增大,分子间作用力逐渐减小
- D. 当 $r < r_0$ 时,分子间作用力随分子间距离的增大而增大

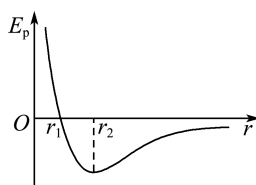
知识点 2 分子势能

3.分子间距离增大时,分子势能将 ()

- A. 增大
- B. 减小
- C. 不变
- D. 不能确定

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.如图所示为分子势能随分子间距离变化的图线,从图中分析可得到 ()



- A. r_1 处为分子的平衡位置
- B. r_2 处为分子的平衡位置
- C. $r \rightarrow \infty$ 处,分子间的势能为最小值,分子间无相互作用力
- D. 若 $r < r_1$, r 越小,分子间势能越大,分子间的作用力表现为引力

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。

知识点 3 内能

5.关于物体的内能,下列说法正确的是 ()

- A. 水分子的内能比冰分子的内能大
- B. 物体所在的位置越高,分子势能就越大,内能越大
- C. 一定质量的 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的水结成 $0\text{ }^\circ\text{C}$ 的冰,内能一定减少
- D. 相同质量的两个同种物体,运动物体的内能一定大于静止物体的内能

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。

- 6.关于物体的内能,以下说法正确的是 ()
- A. 不同物体,温度相等,内能也相等
- B. 分子势能增大,物体内能也增大
- C. 温度不变,分子平均动能不变,但内能可能变化
- D. 只要两物体的质量、温度、体积相等,两物体的内能一定相等

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。

综合性·创新提升

- 7.一定质量的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水在凝结成 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冰的过程中,其内能的变化是 ()

- A. 分子平均动能增大,分子势能减小
- B. 分子平均动能减小,分子势能增大
- C. 分子平均动能不变,分子势能增大
- D. 分子平均动能不变,分子势能减小

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.(多选)对于分子动理论和物体内能的理解,下列说法正确的是 ()

- A. 温度高的物体内能不一定大,但分子平均动能一定大
- B. 当分子间作用力表现为斥力时,分子势能随分子间距离的减小而增大
- C. 花粉的布朗运动反映了花粉分子的热运动的规律
- D. 当分子间的距离增大时,分子间的作用力一直减小

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.已知水的密度会随温度的变化而变化。现在体积相同的玻璃瓶甲、乙中分别装满温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的热水和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷水,如图所示。下列说法正确的是 ()

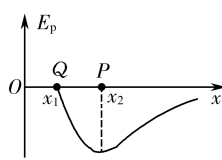


- A. 温度是分子平均动能的标志,所以甲瓶中水分子的平均动能比乙瓶中水分子的平均动能大

- B. 温度越高,布朗运动越明显,所以甲瓶中水分子的布朗运动比乙瓶中水分子的布朗运动更明显
- C. 甲瓶中水的内能与乙瓶中水的内能一样大
- D. 由于甲、乙两瓶中水的体积相同,因此甲、乙两瓶中水分子间的平均距离相等

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。

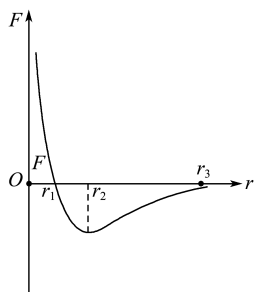
- 10.(多选)有甲、乙两个分子,甲分子固定在坐标原点 O ,只受两分子间的作用力,乙分子沿 x 轴方向运动,两分子间的分子势能 E_p 与两分子间距离 x 的变化关系如图所示。设乙分子在移动过程中所具有的总能量为零,则下列说法正确的是 ()



- A. 乙分子在 P 点时加速度为零
- B. 乙分子在 Q 点时分子势能最小
- C. 乙分子在 Q 点时处于平衡状态
- D. 乙分子在 P 点时动能最大

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. (多选) 如图所示, 甲分子固定在坐标原点 O , 乙分子位于 r 轴上距原点 r_3 的位置。图线表示分子间的作用力 F 的变化情况。若把乙分子由静止释放, 则乙分子 ()



- A. 从 r_3 到 r_2 做加速运动, 从 r_2 到 r_1 做减速运动
 B. 从 r_3 到 r_2 做加速运动, 从 r_1 到 O 点做减速运动
 C. 从 r_3 到 r_1 的过程中, 分子势能先减小再增大
 D. 从 r_3 到 r_1 的过程中, 分子势能一直在减小
- 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。

5 分子热运动的统计规律

学习任务目标

1. 了解统计规律, 知道分子运动速率分布的特点。(物理观念)
2. 理解分子运动速率分布图像的物理意义和气体压强的微观解释, 会运用其分析解决相关问题。(科学思维)

问题式预习

知识点一 统计规律

1. 伽尔顿板的原理

对于少量的小球, 从漏斗口落下, 到达哪一条狭槽完全是随机的, 但对于大量的小球, 在各狭槽中的分布满足一定的统计规律。

2. 统计规律

统计规律是大量偶然事件的整体性规律, 它不是单个随机事件的简单叠加, 而是系统所具有的必然性。

[科学思维]

各个分子的运动都是无序的, 带有偶然性, 但从总体来看, 大量分子的运动却有一定的规律。

单个气体分子的运动是 $\xrightarrow[\text{(宏观)}]{\text{类比 (微观)}}$ 四枚硬币, 投掷一次, 正面朝上的硬币数是不确定的

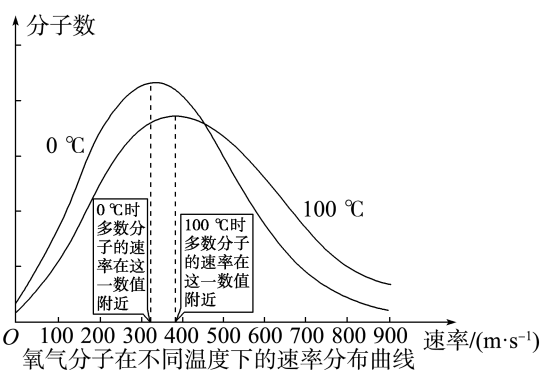
大量气体分子的运动存在 $\xrightarrow[\text{(宏观)}]{\text{类比 (微观)}}$ 投掷很多次后, 正面朝上的硬币数存在着一定的统计规律

[判一判]

1. 某一时刻, 一个分子的速度大小和方向是偶然的。 (✓)
2. 某一时刻, 大量气体分子中向任意一个方向运动的分子数目近似相等。 (✓)
3. 在一定条件下可能出现, 也可能不出现的事件叫随机事件。 (✓)

知识点二 分子运动速率分布

1. 分子运动速率分布图像



2. 分布规律

大量分子速率分布曲线接近“正态”分布, 即两边低, 中间高, 左右对称。

3. 温度的意义

- (1) 温度越高, 分子热运动越剧烈。
- (2) 温度与分子热运动的平均动能成正比。
- (3) 温度是大量分子无规则热运动的宏观表现。

[科学思维]

温度越高, 分子的热运动越剧烈, 是指温度升高时, 所有分子运动的速率都增大了吗?

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. 气体分子的速率大小基本上是均匀分布的, 每个速率区间的分子数大致相等。 (×)

2. 气体内部所有分子的速率都随温度的升高而增大。 (×)
3. 温度相同时, 各种气体分子的平均速率都相同。 (×)

任务型课堂

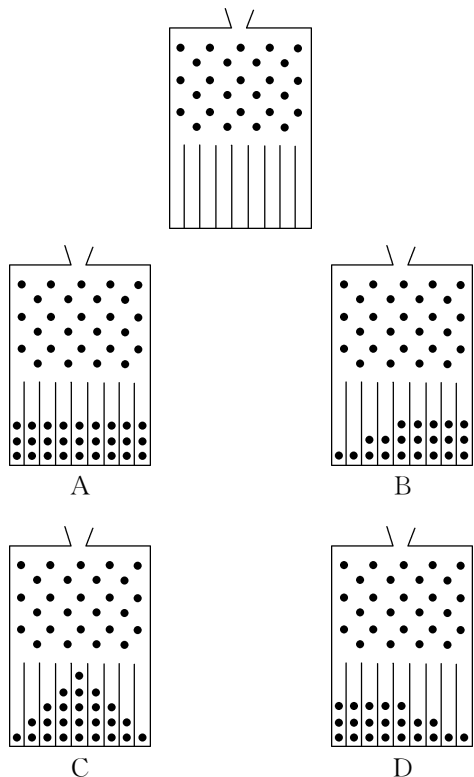
任务一 统计规律

1. (多选) 对大量气体分子统计发现, 其运动的特点是 ()

- A. 分子除相互碰撞或跟容器壁碰撞外, 可在空间里自由移动
B. 分子的频繁碰撞致使它做杂乱无章的热运动
C. 分子沿各方向运动的概率相等
D. 分子的速率分布毫无规律

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. 伽尔顿板可以演示某种统计规律。如图所示, 让大量小球从上方漏斗形入口落下, 则下列图中能正确反映最终落在槽内小球的分布情况的是 ()



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. (多选) 下列对气体分子热运动服从统计规律的理解正确的是 ()

- A. 大量无序运动的气体分子组成的系统在总体上所呈现的规律性, 称为统计规律
B. 统计规律对所含分子数极少的系统仍然适用
C. 统计规律可以由数学方法推导出来
D. 对某些量进行统计平均时, 分子数越多, 出现的涨落现象越明显

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。

任务总结

对统计规律的理解

1. 从宏观角度看, 个别事件的出现具有偶然性, 但大量偶然事件出现的概率, 却遵从一定的统计规律。
2. 从微观角度看, 很多物体是由数量庞大的分子组成的, 而单个分子的热运动都是不规则的, 且每一时刻的运动情况完全是偶然的, 但从整体来看, 大量分子的运动却有一定的规律。

任务二 气体分子运动的特点

1. (多选) 下列关于气体分子速率分布的说法正确的是 ()

- A. 分子的速率大小与温度有关, 温度越高, 所有分子的速率都越大
B. 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
C. 气体分子的速率分布总体呈现出“中间多、两边少”的正态分布特征
D. 气体分子的速率分布遵循统计规律, 适用于大量分子

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

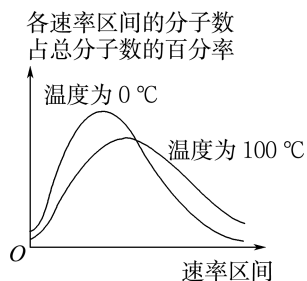
项 B 正确;气体分子的速率分布总体呈现出“中间多、两头少”的正态分布特征,选项 C 正确;气体分子的速率分布遵循统计规律,适用于大量分子,选项 D 正确。

2.(多选)对于气体分子的运动,下列说法正确的是 ()

- A. 一定温度下某气体分子的碰撞虽然十分频繁,但同一时刻每个分子的速率都相等
- B. 一定温度下某气体分子的速率一般不等,但速率很大和速率很小的分子数目相对较少
- C. 一定温度下某气体分子做杂乱无章的运动,可能会出现某一时刻所有分子都朝同一方向运动的情况
- D. 一定质量下某气体,当温度升高时,其中某 10 个分子的平均速率可能减小

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.(多选)根据分子动理论,气体分子运动的剧烈程度与温度有关,氧气分子在 0 °C 和 100 °C 温度下的运动速率分布图像如图所示,下列说法正确的是 ()



- A. 不论温度有多高,速率很大和很小的分子总是多数分子
- B. 温度升高时,速率大的分子数增多
- C. 温度升高时,每一个分子的速率都会增大
- D. 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

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.(多选)根据气体分子动理论,气体分子运动的剧烈程度与温度有关,依据下表中的数据研究氧气分子速率分布规律。

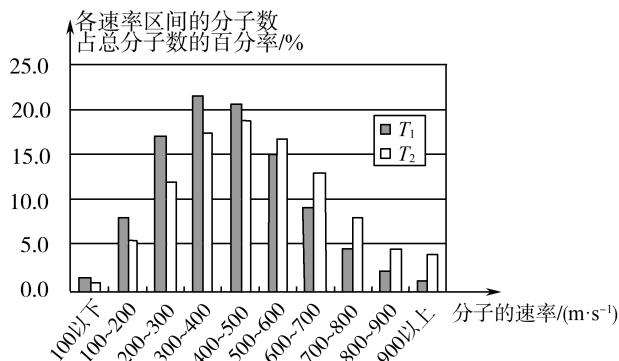
按速率大小划分的区间/(m·s ⁻¹)	各速率区间的分子数占总分子数的百分率/%	
	0 °C	100 °C
100 以下	1.4	0.7
100~200	8.1	5.4
200~300	17.0	11.9
300~400	21.4	17.4
400~500	20.4	18.6
500~600	15.1	16.7
600~700	9.2	12.9
700~800	4.5	7.9
800~900	2.0	4.6
900 以上	0.9	3.9

依据表格内容,以下是由四位同学总结的规律,其中正确的是 ()

- A. 不论温度多高,速率很大和很小的分子总是少数
- B. 温度变化时,表现出的“中间多、两头少”的分子分布规律要改变
- C. 某一温度下,速率都在某一数值附近,离这个数值越远,分子越少
- D. 温度升高时,速率小的分子数减少了

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.密闭钢瓶中的气体分子在 T₁、T₂ 两个不同温度下的速率分布情况的柱形图如图所示。由图可知 ()



- A. T₂ 时,气体中每个分子的速率都比 T₁ 时的大
- B. T₁ 对应于气体分子平均速率较大的情形

C. 分别将 T_1 、 T_2 柱形图顶端用平滑的曲线连接起来,则两条曲线下的面积相等

D. 与 T_1 时相比, T_2 时气体分子速率在 $0 \sim 400 \text{ m/s}$ 的分子数占总分子数的百分率较大

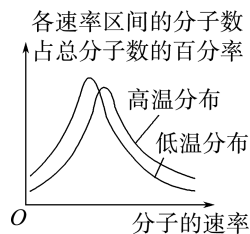
C 解析:由题图可知, T_2 时,气体中不是每个分子的速率都比 T_1 时的大,故 A 错误;由题图可知,两种温度下气体分子速率都呈现“中间多、两头少”的分布规律,由于 T_1 时速率较低的气体分子所占比例较大,则说明 T_1 温度下气体分子的平均速率小于 T_2 温度下气体分子的平均速率,故 B 错误;由题图可知,在 T_1 、 T_2 两种不同温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分率与分子速率间的关系图线与横轴所围面积都应该等于 1,即相等,故 C 正确;由题图可知,与 T_1 时相比, T_2 时气体分子速率在 $0 \sim 400 \text{ m/s}$ 的分子数占总分子数的百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

任务总结

气体分子运动速率分布规律

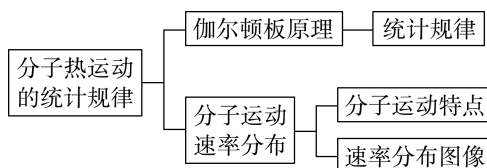
1. 气体分子速率分布规律是大量气体分子遵从的统计规律,个别分子的运动具有不确定性。

2. 气体分子的速率各不相同,但遵循速率分布规律,即“中间多、两头少”,如图所示。当温度升高时,速率大的分子数增多,速率小的分子数减少,分子的平均速率增大。



3. 对一定质量的封闭气体,其分子运动速率的低温分布图像和高温分布图像与坐标轴所围的面积应相等。分子运动的速率不能为零,也不能为无穷大。

► 提质归纳



课后素养评价(五)

基础性·能力运用

知识点 1 统计规律

1. 关于气体分子的运动情况,下列说法正确的是 (B)

- A. 某一时刻具有任意速率的分子数目是相等的
- B. 某一时刻一个分子速度的大小和方向是偶然的
- C. 某一温度下,大多数气体分子的速率不会发生变化
- D. 分子的速率分布毫无规律

知识点 2 气体分子运动的特点

2. (多选)关于大量气体分子运动的统计特点,下列说法正确的有 ()

- A. 气体分子间除碰撞外,相互作用力微弱,可在空间自由运动
- B. 分子的热运动杂乱无章,是因为分子间的碰撞具有随机性
- C. 从统计角度看,气体分子向各个方向运动的概率均等
- D. 气体分子的速率分布遵循“中间少、两头多”的

规律

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. 在一定温度下,某种气体的分子速率分布应该是 ()

- A. 每个气体分子速率都相等
- B. 每个气体分子速率一般都不相等,速率很大和速率很小的分子数目很少

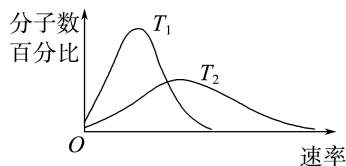
C. 每个气体分子速率一般都不相等,但在不同速率范围内,分子数的分布是均匀的

D. 每个气体分子速率一般都不相等,但速率很大和速率很小的分子数目很多

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.(多选)我们知道,气体分子的运动是无规则的,每个分子运动的速率一般是不同的,但大量分子的速率分布却有一定的统计规律。如图所示描绘了某种气体在不同温度下分子数百分比按速率分布的曲线,两条曲线对应的温度分别为 T_1 和 T_2 ,则下

列说法正确的是 ()



- A. $T_1 < T_2$
- B. $T_1 > T_2$
- C. 两曲线与横轴所围图形的“面积”相等
- D. 两曲线与横轴所围图形的“面积”不相等

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。

综合性·创新提升

5.(多选)下列关于气体分子运动的特点,说法正确的是 ()

- A. 气体分子运动的平均速率与温度有关
- B. 当温度升高时,气体分子的速率不再是“中间多、两头少”的分布规律
- C. 气体分子的运动速率可由牛顿运动定律求得
- D. 气体分子的平均速率随温度升高而增大

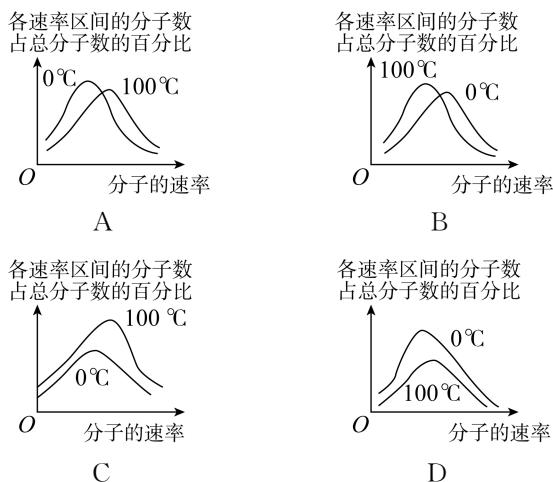
AD 解析:气体分子的平均速率与温度有关,温度升高时,气体分子的平均速率增大,但仍遵循“中间多、两头少”的统计规律,A、D 正确,B 错误;由于气体分子的运动是无规则的,而且牛顿运动定律仅适用于物体的宏观运动,不能用它来求微观分子运动的速率,C 错误。

6.(多选)容积不变的容器内封闭着一定质量的气体,当温度升高时 ()

- A. 每个气体分子的速率都增大
- B. 单位时间内气体分子撞击单位面积器壁的次数增多
- C. 气体分子密度增大
- D. 气体分子在单位时间内,作用于器壁的作用力增大

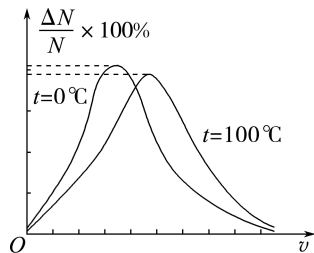
BD 解析:气体温度升高时,气体分子的热运动加剧,但并不是每个分子的速率都增大,故选项 A 错误;气体的温度升高,分子的热运动加剧,使分子单位时间内与单位面积的器壁碰撞的次数增多,因分子平均速率增大,所以分子在单位时间内对器壁的作用力也增大,故选项 B、D 正确;因气体质量不变,体积不变,所以气体分子的密度不变,故选项 C 错误。

7.下图描绘的是一定质量的氧气分子分别在 0°C 和 100°C 两种情况下速率分布的情况,其中符合统计规律的是 ()



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.(多选)如图是一定质量的氧气分子分别在 0°C 和 100°C 下的速率分布图线,由图可知 ()



续表

速率区间 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	各速率区间的分子数占总分子数的百分比	
	温度 T_1	温度 T_2
100~200	5.4%	8.1%
200~300	11.9%	17.0%
300~400	17.4%	21.4%
400~500	18.6%	20.4%
500~600	16.7%	15.1%
600~700	12.9%	9.2%
700~800	7.9%	4.5%
800~900	4.6%	2.0%
900 以上	3.9%	0.9%

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

- A. 随着温度升高,氧气分子的平均速率变大
 B. 随着温度升高,每一个氧气分子的速率都增大
 C. 随着温度升高,氧气分子中速率小的分子所占比例增大
 D. 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

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. 一定质量的氧气贮存在密封容器中,在 T_1 和 T_2 温度下其分子速率分布的情况如表所示,则 T_1 _____ T_2 。若约 10% 的氧气从容器中泄漏,泄漏前后容器内温度均为 T_1 ,则在泄漏后的容器中,速率为 400~500 m/s 的氧气分子数占总分子数的百分比 _____ 18.6%。(均选填“大于”“小于”或“等于”)

速率区间 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	各速率区间的分子数占总分子数的百分比	
	温度 T_1	温度 T_2
100 以下	0.7%	1.4%

单元活动构建

单元活动 1 从分子理论到物体的内能

「单元任务」

任务内容	
任务一	宏观到微观的桥梁——阿伏伽德罗常量
任务二	分子间作用力与分子势能随分子间距离变化的图像的比较
任务三	物体的内能

「任务引导」

资料 1: 现代科学认为,物体是由大量微观粒子组成的,这些微观粒子是肉眼看不到的。随着科学技

术的进步,人们的视野已深入物质的内部,科学家甚至可利用扫描隧道显微镜来操纵单个原子,将其排列成各种文字,如可在在一根大头针的针尖上写下一部《红楼梦》的全部内容。

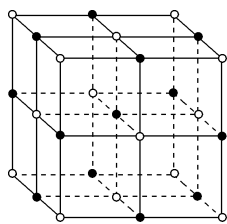
资料 2: 物质能够聚在一起而不散开,这是分子间作用力的表现。分子间作用力也叫范德华力。分子间作用力随着分子极性、相对分子质量的增大而增大。分子间作用力的大小对物质的熔点、沸点和溶解度都有影响。

资料 3: 原子与原子通过化学键相互结合,这些化学键如同弹簧,使原子能在其平衡位置附近发生振动(如伸缩振动、弯曲振动),这种振动是分子内部运

动的基本形式之一。温度在宏观上体现了分子、原子等粒子热运动的剧烈程度,其微观本质与粒子的平均动能相关。当物质从外界获得能量时,其内部粒子的振动、转动和平动等运动通常会加剧,表现为温度的升高。因此,在通常意义上,粒子运动的存在是温度产生的基础。根据热力学第三定律,绝对零度(0 K,约 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$)是一个只能无限逼近而无法达到的理论下限。在趋近绝对零度的过程中,粒子的热运动能量趋于最低,但根据量子力学,即使在此极限下,粒子仍具有无法消除的“零点能”,维持着“零点运动”,这意味着粒子永远不会完全静止。

任务一 宏观到微观的桥梁——阿伏伽德罗常量

活动 1 如图所示为食盐晶体结构示意图,食盐的晶体是由钠离子(图中空心圆)和氯离子(图中实心圆)构成的,这两种离子在空间中三个互相垂直的方向上,都是等距离地交错排列的。已知食盐的摩尔质量是 58.5 g/mol ,食盐的密度是 2.2 g/cm^3 ,阿伏伽德罗常量为 $6.0\times 10^{23}/\text{mol}$ 。试估算食盐晶体中两个相距最近的钠离子中心间的距离。



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 与物质密度 ρ 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 $r \approx 3.97 \times 10^{-10}\text{ m}$ 。

活动 2 地球表面覆盖着一层大气,我们就生活在大气底部,感受着来自大气的压强。已知大气压强是由大气的重力产生的,某校物理兴趣小组的同学,通

过查找资料知道:大气层厚度为 h ,比地球半径小得多。已知地球半径为 R ,地球表面重力加速度为 g ,地球表面附近的大气压强为 p_0 ,空气的平均摩尔质量为 M ,阿伏伽德罗常量为 N_A 。

(1)试求地球表面覆盖的大气层中的总质量 m 。

提示: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

$$mg = p_0 S$$

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

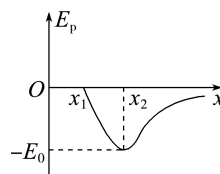
(2)试求地球表面大气层的分子数 n 。

提示: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 分子间作用力与分子势能随分子间距离变化的图像的比较

活动 将分子 a 固定在 x 轴上的 O 点,另一分子 b 只在分子间作用下由无穷远处沿 x 轴的负方向运动,分子 b 的分子势能随两分子间距离变化的规律如图所示。



(1)分子 b 只在分子间作用下由无穷远处沿 x 轴的负方向运动的过程中,分子 b 做什么运动?其加速度、速度如何变化?

提示: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 只在分子间作用力的作用下由无穷远处沿 x 轴的负方向运动的过程中,分子间作用力做什么功?能量如何变化?

提示: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)分子 b 可能运动到 $x = x_1$ 的左侧吗?

提示: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 物体的内能

活动 分子动理论是把物质的热学性质和规律看作微观粒子热运动的宏观表现而建立的理论。物体的内能是一种与分子热运动及分子间相互作用相关的能量形式。

(1) 分子动理论的内容包括哪些?

提示: 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) 物体的内能包括什么形式的能? 从微观角度看, 物体的内能由什么因素决定?

提示: 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。

「知识链接」

1. 阿伏伽德罗常量是联系微观物理量和宏观物理量的桥梁

(1) 常用宏观量: 摩尔质量 M 、摩尔体积 V_{mol} 、物体的质量 m 、物体的体积 V 、物质的密度 ρ 。

(2) 常用微观量: 单个分子的质量 m_0 、单个分子的体积 V_0 (或单个气体分子所占空间的体积 V_0)。

2. 分子的理想模型

(1) 对于固体和液体, 设分子体积为 V_0 , 分子直径 (所占空间边长) 为 d , 则 $V_0 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{1}{6}\pi d^3$ (球体模型) 或 $V_0 = d^3$ (立方体模型)。

(2) 对于气体, 设每个气体分子所占空间的体积为 V_0 , 分子间距为 d , 则 $V_0 = d^3$ 。

3. 分子间作用力和分子势能随分子间距离变化图像的比较

项目	分子间作用力	分子势能
图像		
坐标轴	纵坐标表示分子间作用力, 横坐标表示分子间距离	纵坐标表示分子势能, 横坐标表示分子间距离

续表

项目	分子间作用力	分子势能
图像的意义	横轴上方的曲线表示斥力, 为正值; 横轴下方的曲线表示引力, 为负值	横轴上方的曲线表示分子势能为正值; 横轴下方的曲线表示分子势能为负值, 且正值一定大于负值
分子距离 $r = r_0$ 时	分子间作用力为零	分子势能最小, 但不一定为零

4. 内能是物体中所有分子热运动的动能与分子势能的总和。温度变化时, 物体内分子的平均动能变化; 体积变化时, 分子势能变化。内能也与物体的物态有关。

「活动达标」

1. 对于分子势能与体积的关系, 下列说法正确的是 ()

- A. 物体体积增大, 分子势能增大
- B. 气体分子的距离增大, 分子势能减小
- C. 物体体积增大, 分子势能有可能增大
- D. 物体体积减小, 分子势能增大

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. (多选) 质量相等的氢气和氧气温度相同, 若不考虑分子间的势能, 则 ()

- A. 氢气的内能较大
- B. 氧气的内能较大
- C. 两者的内能相等
- D. 氢气分子和氧气分子的平均动能相等

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. 根据下列选项中的物理量, 可以计算出氧气的摩尔质量的是 ()

- A. 氧气分子的质量和阿伏伽德罗常量
- B. 氧气分子的体积和阿伏伽德罗常量
- C. 氧气的密度和阿伏伽德罗常量

D. 氧气分子的体积和氧气分子的质量

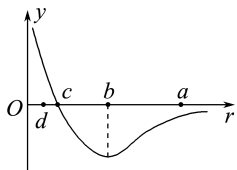
A 解析: 1 mol 氧气分子的质量是氧气的摩尔质量, 1 mol 氧气含有的分子个数等于阿伏伽德罗常量的值, 已知氧气分子的质量和阿伏伽德罗常量, 可以求出氧气的摩尔质量, A 正确; 已知氧气分子的体积和阿伏伽德罗常量无法求出氧气的摩尔质量, B 错误; 已知氧气的密度和阿伏伽德罗常量, 可以求出单位体积内氧气的质量, 但求不出氧气的摩尔质量, C 错误; 已知氧气分子的体积和氧气分子的质量, 求不出氧气的摩尔质量, D 错误。

4. (多选) 容器中盛有冰水混合物, 冰的质量和水的质量相等且保持不变, 则容器内 ()

- A. 冰的分子平均动能大于水的分子平均动能
- B. 水的分子势能大于冰的分子势能
- C. 水的内能大于冰的内能
- D. 冰的内能大于水的内能

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. 如图所示的图像, 既可表示分子间作用力随分子间距离变化的关系, 又可表示分子势能随分子间距离变化的关系, 则下列说法错误的是 ()



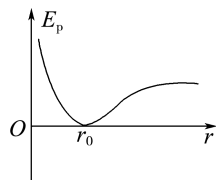
- A. 若 y 表示分子之间的作用力, 则 c 点对应受力平衡的位置
- B. 若 y 表示分子之间的作用力, 则分子之间的距离由 r_d 增大到 r_b 的过程中, 分子间作用力一直减小
- C. 若 y 表示分子势能(以无穷远处为零势能点), 则分子之间的距离由 r_d 增大到 r_b 的过程中, 分子势能一直减小
- D. 若一个分子固定在坐标原点, 另一个分子由 a 点释放, 则这个分子由 a 到 b 的过程中, 动能一直增加

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. 如果取分子间距离 $r=r_0$ (r_0 为平衡位置) 时为分子势能的零势能点, 则 $r < r_0$ 时, 分子势能为正值; $r > r_0$ 时, 分子势能为正值。(均选填“正值”“负值”或“零”)

试着在图中画出 E_p-r 图像。



7. 2024 年 6 月 25 日, 嫦娥六号返回器带着 1 935.3 g 的月球土壤顺利在内蒙古预定区域着陆。月球土壤中的氦-3 蕴藏量较大, 氦-3 是一种目前已被世界公认的高效、清洁、安全的核聚变原料。若每千克月球土壤中含有氦-3 的质量为 m , 氦-3 的摩尔质量为 M , 阿伏伽德罗常量为 N_A (均为国际单位)。求:

- (1) 每个氦-3 分子的质量 m_0 。
- (2) 嫦娥六号返回器带回的 1 935.3 g 月球土壤中含有的氦-3 分子总个数。

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

学习任务目标

- 1.知道什么是晶体和非晶体、单晶体和多晶体。(物理观念)
- 2.用云母片和玻璃片探究晶体的各向异性,知道各向异性现象和各向同性现象。(科学探究)
- 3.会用晶体的微观结构特点来解释晶体外形的规则性和物理性质的各向异性。(科学思维)
- 4.通过了解液晶、半导体材料和纳米材料在生产生活中的应用,增强社会责任感。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 晶体和非晶体及晶体的微观结构

- 1.固体分类:晶体和非晶体。
- 2.有些晶体沿不同方向的导热或导电性能不同,有些晶体沿不同方向的光学性质不同,这类现象叫作各向异性。非晶体沿各个方向的物理性质都是一样的,这叫作各向同性。
- 3.单晶体:天然具有规则几何形状且各向异性的大块晶体,如石英、明矾等。
- 4.多晶体:由许多晶粒构成的晶体,如金属、岩石等。
- 5.点阵结构:晶体的分子、原子、离子在晶体内部形成的规则的、周期性排列的结构。
- 6.各向异性的微观解释:同一种物质微粒在不同方向上的排列情况不同。
- 7.同一种物质微粒也可形成不同的晶体结构,从而表现出不同的物理性质。

[科学思维]

观察食盐颗粒和松香的外观,它们的外形各有怎样的特征?若把食盐颗粒研磨成粉末破坏其外形,用显微镜观察,你有什么发现?

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.食盐、橡胶都是非晶体。 (×)
- 2.多晶体和单晶体都有确定的熔点,而非晶体没有确定的熔点。 (√)
- 3.晶体都具有各向异性,只有非晶体才显示各向同性。 (×)

知识点二 液晶和半导体材料、纳米材料

1.液晶

(1)液晶是介于晶体和液体之间的一种物质状态。液晶既具有液体的流动性,又保留着部分晶体物质各向异性的特性。

(2)应用:显示元件、指示温度。

2.半导体材料:是指电阻率为 $10^{-5} \sim 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$,介于金属和绝缘体之间的材料。半导体材料在光、热、磁、电等作用下会引起相应的物理效应和现象。

3.纳米材料:人们把三维空间中至少有一组处于纳米尺度范围的固体材料,称为纳米材料。纳米是长度单位, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ 。

[科学思维]

液晶是液体与晶体的混合物吗?

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]

- 1.一些物质在特定的温度范围内具有液晶态。 (√)
- 2.液晶对不同颜色的光的吸收强度与液晶所处电场的强弱无关。 (×)
- 3.液晶的各向异性是有条件的,只有达到这一条件时,才会表现出各向异性。 (√)

任务型课堂

任务一 晶体和非晶体

1.(多选)下列说法正确的是 ()

- A. 常见的金属材料都是多晶体
- B. 只有非晶体才显示各向同性
- C. 凡是具有天然规则的几何形状的物体必定是单晶体
- D. 多晶体不显示各向异性

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.(多选)大自然中存在许多绚丽夺目的晶体,由于化学成分和结构各不相同,这些晶体呈现出千姿百态,璀璨如钻石,独特如雪花。关于晶体与非晶体,下列说法正确的是 ()

- A. 晶体沿不同方向的导热或导电性能不同,但沿不同方向的光学性质一定相同
- B. 单晶体有确定的熔点,非晶体没有确定的熔点
- C. 有的物质在不同条件下能够生成不同晶体,是因为组成它们的微粒能够按照不同规则在空间分布
- D. 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

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。

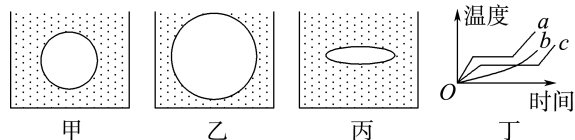
3.人们在夏季喜欢佩戴水晶饰品,天然的水晶具有规则的几何外形,如图所示。关于天然水晶,下列说法正确的是 ()



- A. 是单晶体
- B. 没有固定的熔点
- C. 微观粒子的空间排列不规则
- D. 在光学性质上表现为各向同性

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.在 a 、 b 、 c 三种固体薄片上涂上石蜡,用烧热的针尖接触薄片背面的一点,石蜡熔化区域的形状分别如图甲、乙、丙所示。 a 、 b 、 c 三种固体在熔化过程中温度随加热时间变化的关系图像如图丁所示,则下列说法正确的是 ()



- A. a 一定是单晶体
- B. b 可能是金属薄片
- C. c 在一定条件下可能转化成 b
- D. a 内部的微粒排列是规则的, c 内部的微粒排列是无规则的

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。

任务总结

1.判断晶体与非晶体、单晶体与多晶体的方法

(1)区分晶体与非晶体的方法:看其有无确定的熔点,晶体具有确定的熔点,而非晶体没有确定的熔点,仅从各向同性或者几何形状不能判断某一固体是晶体还是非晶体。

(2)区分单晶体和多晶体的方法:看其是否具有各向异性,单晶体表现出各向异性,而多晶体表现出各向同性。

2. 微观结构理论对晶体特性的解释

(1) 各向异性的微观解释

在不同方向上物质微粒的排列情况不同,引起晶体在不同方向上的物理性质不同。

(2) 熔点的微观解释

给晶体加热到一定温度时,一部分微粒有足够的动能克服微粒间的作用力,离开平衡位置,使规则的排列被破坏。晶体开始熔化,熔化时晶体吸收的热量全部用来破坏规则的排列,温度不发生变化。

(3) 对同种物质能形成不同晶体的解释

有的物质有几种晶体,是因为它们的物质微粒能形成不同的晶体结构,从而表现出不同的物理性质。

任务二 液晶

[探究活动]

现在液晶已被应用在人类生活和生产中的方方面面。许多彩电、电脑显示器都使用液晶屏幕。



液晶可以作为显示元件,这利用了液晶的什么性质?

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.(多选)关于液晶,下列说法正确的有 ()

- A. 液晶是一种晶体
- B. 液晶分子的空间排列是稳定的,具有各向异性
- C. 液晶的光学性质随温度的变化而变化
- D. 液晶的光学性质随外加电压的变化而变化

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.(多选)关于液晶,下列说法正确的是 ()

- A. 并非所有的物质都具有液晶态
- B. 液晶内部的分子排列很稳定,不受外界因素的影响
- C. 液晶是一些特殊化合物在任何环境下表现出的固有状态
- D. 有一种液晶随着温度逐渐升高,其颜色按顺序改变,利用这种性质,可用来探测温度

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.关于液晶,下列说法正确的是 ()

- A. 液晶是液体和晶体的混合物
- B. 液晶分子在特定方向排列比较整齐,但不稳定
- C. 液晶是一种特殊的物质,具有光学的各向同性
- D. 所有物质在一定条件下都能成为液晶

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。

任务总结

1. 液晶特点

液晶既具有液体的流动性,又具有光学上的各向异性。

2. 液晶应用

液晶不仅可以用作显示元件,还可以指示温度。

3. 天然存在的液晶很少,多数液晶是人工合成的。

任务三 新型材料

[探究活动]

随着纳米科技的发展,纳米商品开始进入市场。然而有的商家为了促销不含纳米技术的商品,打着纳米材料的幌子进行虚假宣传,夸大商品的功能。

你知道什么是“纳米”吗?你知道纳米材料有哪些良好的性能吗?

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. 下列关于半导体的说法, 错误的是 ()

- A. 半导体的电阻随温度的升高而增大
- B. 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
- C. 半导体材料可以制成晶体二极管和晶体三极管
- D. 半导体的导电性能介于导体和绝缘体之间

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. 下列关于纳米材料的说法正确的是 ()

- A. 很小的材料就是纳米材料
- B. 纳米材料就是“纳米”物质做成的材料
- C. 纳米材料只是近几年才开始被人们利用, 不存在天然的纳米材料
- D. 纳米材料的基本单元很小

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. (多选) 纳米材料的奇特效应使纳米材料表现出不同于传统材料的良好性能, 以下关于纳米材料的性能的说法, 正确的是 ()

- A. 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
- B. 在热学性能方面, 纳米超细微粒的熔点比常规粉体低得多
- C. 在电学性能方面, 纳米金属在低温时会呈现超导电性
- D. 在化学性能方面, 纳米材料的化学活性低, 因此化学稳定性强

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。

任务总结 ■■■■■

1. 半导体材料的各种特性及应用

特性名称	特性内容	用途	应用实例
热敏特性	某些半导体材料受热后, 电阻随温度升高而迅速减小	热敏电阻	热敏温度计
光敏特性	半导体材料受到光照时, 电阻大大减小	光敏电阻	光电计时器
压敏特性	半导体材料受到压力时会改变电阻值	压敏元件	称重计
掺杂特性	掺入极微量的杂质可使其导电性能剧增	晶体管	发光二极管

2. 纳米材料

(1) 纳米是长度单位: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ 。

(2) 纳米技术: 在纳米尺度 ($1 \sim 100 \text{ nm}$) 上制造材料和器件的技术, 即重新排列原子而制造具有新分子结构的技术。

(3) 纳米材料有纳米金属、纳米磁场材料、纳米陶瓷材料、有机-无机纳米复合物、纳米传感材料、纳米医用材料等。

(4) 纳米材料特性

力学性能: 强度高、硬度大和良好塑性。

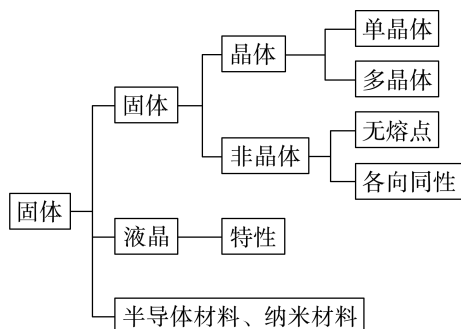
热学性能: 熔点较低。

电学性能: 低温时会呈现电绝缘性。

化学性能: 具有相当高的化学活性。

(5) 纳米材料应用领域: 能源、环保、通信、航空航天、医疗、日常生活等。

► 提质归纳

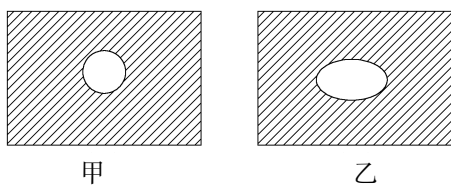


课后素养评价(六)

基础性·能力运用

知识点1 晶体与非晶体

- 1.(多选)在云母薄片和玻璃片上分别涂一层很薄的石蜡,然后用烧热的钢针分别去接触云母薄片和玻璃片的反面中央,石蜡熔化,如图甲、乙所示,那么 ()



- A. 熔化的石蜡呈圆形的是玻璃片
B. 熔化的石蜡呈圆形的是云母片
C. 实验说明玻璃片表现为各向同性,可能是非晶体
D. 实验说明云母片表现为各向同性,是晶体

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.下列关于晶体和非晶体的说法正确的是 ()

- A. 所有晶体都表现为各向异性
B. 晶体一定有规则的几何形状,形状不规则的金属一定是非晶体
C. 大粒盐磨成细盐,就变成了非晶体
D. 所有晶体都有确定的熔点,而非晶体没有确定的熔点

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。

知识点2 液晶和新型材料

- 3.(多选)关于液晶,下列说法正确的是 ()

- A. 因为液晶是介于晶体与液体之间的中间态,所以液晶实际上是一种非晶体
B. 液晶具有液体的流动性,是因为液晶分子虽然有序排列,但是位置无序,可自由移动
C. 晶体熔化后的状态为液晶态
D. 天然存在的液晶很少,多数液晶是人工合成的

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.(多选)关于液晶的分子排列,下列说法正确的是 ()

- A. 液晶分子在特定方向上排列整齐
B. 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
C. 液晶分子的排列整齐且稳定
D. 液晶的物理性质稳定

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.“新材料”是相对于传统材料而言的。新材料的使用对推动社会的进步起着越来越大的作用。下列对新材料的描述错误的是 ()

- A. “超导材料”可以应用于任何用电器并使其效率提高
B. “超导材料”“半导体材料”和“纳米材料”都属于新材料
C. “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
D. “半导体材料”广泛应用于手机、电视机、电脑的元素及芯片

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、电脑的元素及芯片都应用了“半导体材料”,这一说法正确,故 D 不符合题意。

综合性·创新提升

6. 下列说法正确的是 ()

- A. 可以根据各向同性或各向异性来鉴别晶体和非晶体
 B. 一块均匀薄片, 沿各个方向对它施加拉力, 发现其强度一样, 则此薄片一定是非晶体
 C. 一个固体球, 如果沿其各条直径方向的导电性不同, 则该球一定是单晶体
 D. 一块晶体, 若其各个方向的导热性相同, 则一定是多晶体

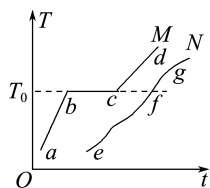
C 解析: 多晶体和非晶体都显示各向同性, 只有单晶体显示各向异性, 所以选项 A、B 错误, C 正确; 单晶体具有各向异性的特性, 仅是指某些物理性质, 并不是所有的物理性质都是各向异性的, 换言之, 某一物理性质显示各向同性, 并不意味着该晶体一定不是单晶体, 所以选项 D 错误。

7. 某球形的固体物质, 其各个方向导热性能相同, 则该物体 ()

- A. 一定是非晶体
 B. 可能具有确定的熔点
 C. 一定是单晶体, 因为它有规则的几何外形
 D. 一定不是单晶体, 因为它具有各向同性的物理性质

B 解析: 导热性能各向同性的物体可能是非晶体, 还可能是多晶体, 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. 如图所示, 曲线 M 、 N 分别表示晶体和非晶体在一定压强下的熔化过程, 图中横轴表示时间 t , 纵轴表示温度 T 。从图中可以确定的是 ()



A. 晶体和非晶体均存在固定的熔点 T_0 。

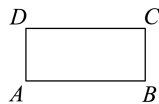
B. 曲线 M 的 bc 段表示固液共存状态

C. 曲线 M 的 ab 段、曲线 N 的 ef 段均表示固态

D. 曲线 M 的 cd 段、曲线 N 的 fg 段均表示液态

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. 如图所示, 一块密度、厚度均匀的长方体被测样品, 长 AB 为宽 BC 的 2 倍。若用多用电表沿该平面两对称轴测其电阻, 所得阻值均为 R , 则这块样品是 ()



- A. 金属
 B. 多晶体
 C. 单晶体
 D. 非晶体

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. 清华大学研究团队成功制备出单根长度为半米以上的碳纳米管, 并在碳纳米管耐疲劳性能研究方面取得重大突破。碳纳米管有着极高的拉伸强度 σ_b (大于 10^5 N/mm^2), 单位质量上的拉伸强度是钢铁的 276 倍, 远远超过其他材料, 其熔点是已知材料中最高的。下列说法正确的是 ()

- A. 碳纳米管是非晶体
 B. $1 \text{ N/mm}^2 = 10^3 \text{ Pa}$
 C. 拉伸强度可用公式表示为 $\sigma_b = FS$, 其中 F 为材料拉断时所承受的最大力, S 为材料原始横截面积
 D. 若在地球与同步卫星之间搭建一座天梯, 目前碳纳米管是最佳材料

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。

2 液体

学习任务目标

- 1.知道液体的表面张力、浸润和不浸润、毛细现象。(物理观念)
- 2.能利用液体的表面张力解释日常生活中的现象。(科学思维)
- 3.能通过观察和实验了解浸润和不浸润、毛细现象及它们产生的原因。(科学探究)

问题式预习

知识点 表面张力及其微观解释和毛细现象

1.表面张力

- (1)定义:液体表面存在的收缩力叫作液体的表面张力。
- (2)作用效果:使液体的表面积趋向最小。
- (3)微观解释:液体表面层的分子之间间距较大,分子间的相互作用力表现为引力。

2.浸润和不浸润及毛细现象

- (1)一种液体会润湿某种固体并附着在固体的表面,这种现象叫作浸润;一种液体不会润湿某种固体,也就不会附着在这种固体的表面,这种现象叫作不浸润。
- (2)浸润液体在细管中上升的现象,以及不浸润液体在细管中下降的现象,称为毛细现象。

[科学思维]

液面对水黾的作用是液体的表面张力吗?

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.液体表面张力具有使液体表面收缩的趋势。(√)
- 2.一种液体可能浸润某种固体,也可能不浸润另一种固体。(√)
- 3.液体与固体附着层之间的作用力表现为引力时,液体与固体之间浸润。(×)
- 4.对浸润液体,毛细管内径越细,液体上升的高度越高。(√)

任务型课堂

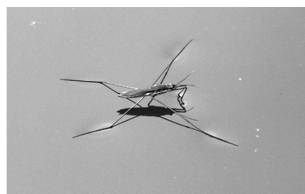
任务一 液体的表面张力

[探究活动]

如图甲、乙所示,早晨草叶上的露珠晶莹剔透,水黾在水面上能够静止不动。



甲



乙

这两件看上去毫无关联的事情有什么本质上的联系?仔细观察,露珠的形状并不是标准的球形,而是稍微呈扁球状,原因是什么?

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.关于液体的表面张力,下列说法正确的是 ()
 - A.液体的表面张力使液体表面层内的分子间的平均距离小于 r_0 。
 - B.液体的表面张力使液体表面层内的分子间的平均距离大于 r_0 。
 - C.产生表面张力的原因是液体表面层内的分子间只有引力没有斥力
 - D.表面张力使液体的表面有收缩的趋势

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.关于液体的表面张力,下列说法正确的是 ()

- A. 液体表面层的分子分布比内部密
- B. 液体有使其体积收缩到最小的趋势
- C. 液体表面层分子之间只有引力而无斥力
- D. 液体表面层的张力有使其表面积收缩到最小的趋势

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.(多选)以下说法正确的是 ()

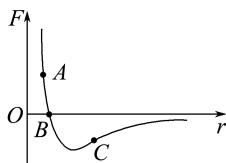
- A. 小昆虫能在水面上自由活动而不陷入水中是液体表面张力在起作用
- B. 小木块能够浮于水面上是液体表面张力与其重力平衡的结果
- C. 缝衣针浮在水面上不下沉是重力和水的浮力平衡的结果
- D. 喷泉喷射到空中的水形成一个个球形的小水珠是表面张力作用的结果

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.“天宫课堂”中,王亚平将分别挤有水球的两块板慢慢靠近,直到两个水球融合在一起,再把两块慢慢拉开,水在两块板间形成了一座“水桥”。如图甲所示,王亚平为我们展示了微重力环境下液体表面张力的特性。“水桥”表面与空气接触的薄层叫表面层,已知分子间作用力 F 和分子间距 r 的关系如图乙所示。下列说法正确的是 ()



甲



乙

- A. 能总体反映水的表面层内的水分子之间相互作用的是 B 位置

- B. “水桥”表面层中两水分子间的分子势能与其内部水分子相比偏小
- C. “水桥”表面层中水分子距离与其内部水分子相比偏小
- D. 王亚平放开双手,两块板吸引到一起,该过程分子力做正功

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。

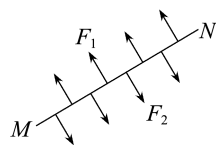
任务总结

1.液体表面张力的成因分析

液体表面层分子比较稀疏,分子间作用力表现为引力,该引力使液面产生了表面张力,使液体表面形成一层绷紧的膜。

2.表面张力的特点

- (1)表面张力是液体分子间作用力的宏观表现。
- (2)表面张力的方向与液面相切,垂直于分界线。



- (3)表面张力的大小由分界线的长度、液体的种类、液体的纯净度和温度等因素决定。
- (4)表面张力的作用是使液体表面积有收缩到最小的趋势。

任务二 浸润和不浸润及毛细现象

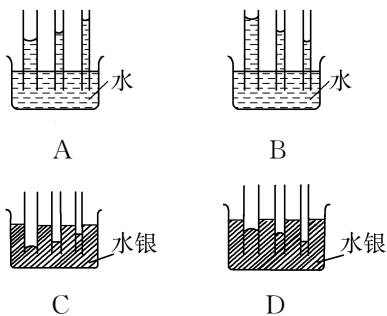
1.(多选)下列关于浸润、不浸润现象以及毛细现象的说法正确的是 ()

- A. 水可以浸润玻璃但不能浸润蜂蜡
- B. 浸润液体和不浸润液体都能发生毛细现象
- C. 浸润液体都能发生毛细现象,不浸润液体都不能发生毛细现象
- D. 浸润液体和不浸润液体在细管中都上升

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.(多选)水对玻璃是浸润液体,而水银对玻璃是不浸润液体,它们在毛细管中将分别产生上升或下降的现象。现把不同粗细的三根毛细管分别插入水和水银中,如图所示,其中正确的现象应是 ()



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.汽车玻璃防水膜遇水后的效果类似于荷叶外表,水滴在贴膜的后视镜面上呈椭球形,不易停留。在遇到雨水的时候,雨水会自然流走,保持视野清晰。下列说法正确的是 ()

- A. 水滴呈椭球形是水的表面张力与重力共同作用的结果
B. 水滴呈椭球形是水和防水膜发生了浸润现象
C. 与未贴膜的玻璃表面接触的那层水分子间的作用力表现为引力
D. 与未贴膜的玻璃表面接触的那层水分子的分布比水滴的内部稀疏

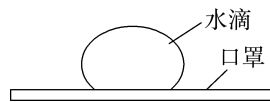
A 解析:由于水的表面张力作用使得水滴呈现球形,由于重力作用使水滴呈现椭球形,即水滴呈椭球形是水的表面张力与重力共同作用的结果,选项 A 正确;水滴呈椭球形是水和防水膜发生了不浸润现象,选项 B 错误;水与未贴膜的玻璃表面接触时发生浸润,与未贴膜的玻璃表面接触的那层水分子比水滴内部密集,接触面的水分子间的作用力表现为斥力,使水有面积扩大的趋势,选项 C、D 错误。

- 4.(多选)如果某液体对某种固体是浸润的,当该液体装在由这种固体物质做成的细管中时,下列说法正确的是 ()

- A. 附着层里分子的密度大于液体内部分子的密度
B. 附着层分子的作用力表现为引力
C. 管中的液面一定是凹形的
D. 液面跟固体接触的面积有缩小的趋势

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.水对合格的医用防护口罩内侧所用材料都是不浸润的。如图所示为一水滴落在某防护口罩内侧的示意图,以下说法正确的是 ()



- A. 图中的口罩为不合格产品
B. 图中水滴形状的成因与液体表面张力有关
C. 图中水滴与口罩间附着层内的水分子比水滴内部分子密集
D. 所有的液体对该材料都是不浸润的

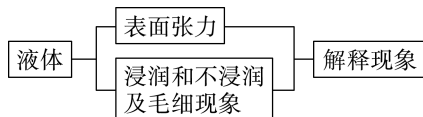
B 解析:根据题意,水对合格的医用防护口罩内侧所用材料都是不浸润的,如题图所示,水没有浸润口罩内侧,所以不能判定题图中的口罩为不合格产品,选项 A 错误;如题图所示,小水滴为球形是液体表面张力造成的,附着层内水分子比内部稀疏,表面张力具有使液体表面绷紧,即减小表面积的作用,选项 B 正确,C 错误;浸润与不浸润现象是相对的,所以并非所有的液体对该材料都是不浸润的,选项 D 错误。

任务总结

浸润和不浸润现象的判断方法

- (1)液体盛放在玻璃容器中,液面与器壁接触的位置是弯曲的,浸润时向上弯曲,不浸润时向下弯曲,这也是浸润和不浸润两种现象的区别。
(2)浸润和不浸润是液体相对于某种固体而言,孤立地说某种液体浸润或不浸润都没有意义。同一种液体对不同的固体可能浸润,也可能不浸润。

► 提质归纳

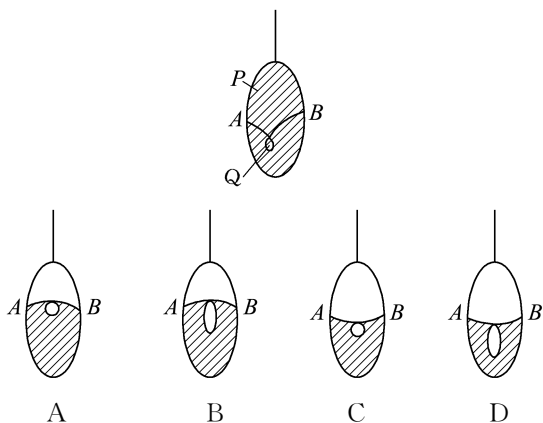


课后素养评价(七)

基础性·能力运用

知识点 1 液体的表面张力

1. 如图所示, 金属框架的 A 、 B 两点间系一个棉线圈, 先使框架布满肥皂膜, 然后将 P 和 Q 两部分的肥皂膜刺破, 线的形状将变成下列图中的 ()



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. 下列关于表面张力及与表面张力有关现象的成因解释正确的是 (C)
- A. 表面张力产生在液体表面层, 它的方向跟液面垂直
 - B. 缝衣针浮在水面上不下沉是重力和水的浮力平衡的结果
 - C. 作用在任何一部分液面上的表面张力, 总是跟这部分液面的分界线垂直
 - D. 喷泉喷射到空中形成一个个球形的小水珠, 这是表面张力作用使其表面具有扩张趋势引起的结果

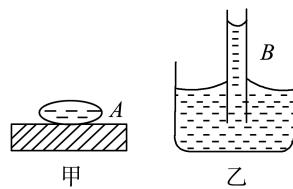
知识点 2 浸润和不浸润 毛细现象

3. (多选) 下列说法正确的是 ()
- A. 因为水银滴在玻璃板上形成椭球状, 所以水银是一种不浸润液体

- B. 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
- C. 在人造卫星上的容器中装有浸润其器壁的液体时, 必须用盖子盖紧, 否则液体会沿器壁流散
- D. 液体和固体接触时, 能否发生浸润现象取决于固体分子对液体表面层中分子的吸引力和液体内的分子对液体表面层分子的吸引力大小

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. (多选) 同一种液体, 滴在固体 A 的表面时, 出现如图甲所示的情况; 当把毛细管 B 插入这种液体中时, 液面又出现如图乙所示的情况。若固体 A 和毛细管 B 都很干净, 则 ()



- A. 固体 A 和毛细管 B 可能是同种材料
- B. 固体 A 和毛细管 B 一定不是同种材料
- C. 该液体对固体 A 不浸润
- D. 该液体对毛细管 B 不浸润

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。

综合性·创新提升

5. (多选) 关于下列现象的叙述正确的是 ()
- A. 由于液体表面张力的作用, 叶片上的小露珠呈现球形
 - B. 液体与大气相接触时, 表面层内分子所受其他分子的作用力表现为吸引力
 - C. 生产雨伞时, 应选择容易被水浸润的伞布, 以便更好地防水

- D. 液晶具有液体的流动性, 同时具有单晶体的各向异性的特性

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. 以下与液体有关的自然现象中,对其分析正确的是 ()

- A. 鸭子从池塘中出来,羽毛并未湿,这属于毛细现象
- B. 唐诗《观荷叶露珠》中的“霏微晓露成珠颗”表明荷叶和露水之间是浸润的
- C. 小昆虫能在水面上自由走动与表面张力无关
- D. 保存地下的水分要把地面的土壤锄松,这是为了破坏土壤中的毛细管

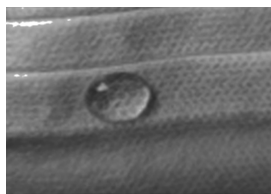
D 解析:鸭子从池塘中出来,羽毛未湿,是不浸润现象,故 A 错误;唐诗《观荷叶露珠》中的“霏微晓露成珠颗”表明荷叶和露水是不浸润的,故 B 错误;小昆虫能在水面上自由走动是由于表面张力的作用,故 C 错误;农田里如果要保存地下的水分,就要把地面的土壤锄松,这是为了破坏毛细管使地下水不容易上升,故 D 正确。

7. 下列对浸润与不浸润现象的认识正确的是 ()

- A. 水是浸润液体,水银是不浸润液体
- B. 浸润现象中,附着层里分子比液体内部稀疏
- C. 不浸润现象中,附着层里的分子受到固体分子的吸引较液体内部分子的吸引更强
- D. 不浸润现象中,附着层里的分子间表现出吸引力;浸润现象中,附着层里的分子间表现出排斥力

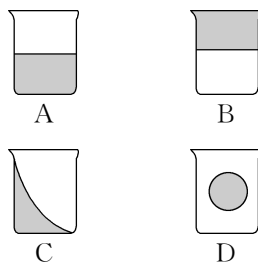
D 解析:一种液体是否浸润某种固体,与这两种物质的性质均有关,只能说哪种液体对哪种固体浸润或不浸润,选项 A 错误;在浸润现象中,附着层内分子受到固体分子吸引力较液体内部分子吸引力大,分子分布比液体内部更密,因而在附着层里液体分子间表现出相互排斥的力,附着层有扩展的趋势,选项 B、C 错误,选项 D 正确。

8. 戴一次性医用防护口罩是预防传染病的有效措施之一。合格的一次性医用防护口罩内侧所用材料对水都是不浸润的,图为一滴水滴在某一次性防护口罩内侧的照片。对此,以下说法正确的是 (B)



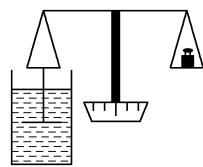
- A. 照片中的口罩一定为不合格产品
- B. 照片中水滴附着层内分子比内部稀疏
- C. 照片中水滴表面层分子比内部密集
- D. 水对所有材料都是不浸润的

9. 由于海水表面有表面张力的作用,水珠之间相互吸引着,这样使得风很难把水珠刮起,只能形成海浪,因此海洋上的风中只带有少量的水沫;而沙漠中的沙子却不一样,沙粒之间几乎没有作用力,所以风很容易刮起大量的沙子……根据以上规律联系所学知识,请你设想:如果玻璃杯中盛有少量水银,放入在太空轨道上运动的宇宙飞船内,则水银在杯子中将呈现的形状是下图中的 ()



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. 如图所示,在天平的左盘挂一根 T 形铁丝,右盘放一砝码,且铁丝浸于液体中,此时天平平衡。现将左端液体缓缓下移,使铁丝下端刚刚露出液面,则 ()



- A. 天平仍然平衡
- B. 由于铁丝离开水面沾上液体,重力增加而使天平平衡被破坏,左端下降
- C. 由于铁丝下端刚刚露出液面,和液面间形成一层液膜,此液膜的表面张力使天平左端下降
- D. 以上说法都不对

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。

3 温度和温标

学习任务目标

- 1.知道平衡态及系统的状态参量,明确温度的概念,知道热平衡定律及其与温度的关系。(物理观念)
- 2.了解温度计的原理,掌握摄氏温标与热力学温度的关系,能进行相关的计算。(科学思维)

问题式预习

知识点一 热平衡定律和温度

- 1.状态参量:为了描述气体的状态所需要的一些宏观物理量,如:体积、压强、温度等。
- 2.温度:是处于热平衡系统的微观粒子热运动强弱的量度,是系统自身分子热运动性质的宏观表现。
- 3.热力学系统:由大量分子组成并与周围环境发生相互作用的宏观客体,称为热力学系统,简称系统,系统的周围环境简称外界。
- 4.热平衡:两个热接触的系统状态不再变化时,对热传递来说这两个系统已经达到平衡,叫作热平衡。此时两个系统的温度相同。
- 5.热平衡定律:如果两个系统分别与第三个系统处于热平衡,则这两个系统彼此也必定处于热平衡,这个规律称为热平衡定律。

[科学思维]



[判一判]

- 1.系统的宏观性质不再随时间变化,这种情况说明系统达到了平衡态。 (✓)
- 2.两个相互接触的热力学系统达到热平衡的标志是温度相同。 (✓)
- 3.温度是决定两个系统是否达到热平衡状态的唯一物理量。 (✓)
- 4.处于热平衡状态的系统内的分子仍在不停地做无规则运动,热平衡是一种动态平衡。 (✓)

知识点二 温标

- 1.温标:温度数值的标定方法。
- 2.分类

(1)摄氏温标:一种常用的表示温度的方法,规定标准大气压下冰的熔点为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 水的沸点为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 刻度与 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 刻度之间均匀分成 100 等份,每一份算作 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

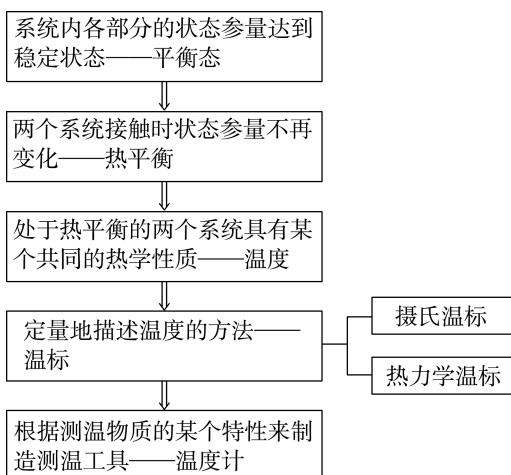
(2)热力学温标:一种不依赖于任何测温物质及测温属性的温标,称为热力学温标,其表示的温度叫作热力学温度或绝对温度,单位是开尔文,符号是 K 。

3.摄氏温度与热力学温度

$$(1) t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15。$$

(2)在表示温度变化时,有 $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$ 。

[科学思维]



[做一做]

关于热力学温标和摄氏温标,下列说法正确的是

- ()
- A. 热力学温标中的每 1 K 与摄氏温标中每 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 大小相等
 - B. 热力学温度升高 1 K 大于摄氏温度升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - C. 热力学温度升高 1 K 小于摄氏温度升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - D. 某物体的摄氏温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即热力学温度为 10 K

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 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 大小相等,且两者满足 $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$ 。

任务型课堂

任务一 状态参量与平衡态

1. 下列关于系统是否处于平衡态的说法正确的是 ()

- A. 开空调(制热)2 min 内教室内的气体处于平衡态
 B. 两个温度不同的物体相互接触,这两个物体组成的系统处于非平衡态
 C. 0 °C 的冰水混合物放入 1 °C 的环境中,冰水混合物处于平衡态
 D. 压缩密闭容器中的空气,空气处于平衡态

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 °C 的冰水混合物放入 1 °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. 如果一个系统达到了平衡态,那么这个系统各处的 ()

- A. 温度、压强、体积都必须达到稳定的状态不再变化
 B. 温度一定达到了某一稳定值,但压强和体积仍是可变化的
 C. 温度一定达到了某一稳定值,并且分子不再运动,达到了“凝固”状态
 D. 温度、压强就会变得稳定,但体积仍可变化

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. (多选) 下列说法正确的是 ()

- A. 状态参量是描述系统状态的物理量,故当系统的状态变化时,其各个状态参量都会改变
 B. 若系统不受外界影响,且经过足够长的时间后,其内部各部分的状态参量将会达到稳定
 C. 只有处于平衡态的系统才有状态参量
 D. 两个物体间发生热传递时,它们组成的系统处于非平衡态

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。

任务总结

对平衡态的理解

- (1) 平衡态是一种理想情况,因为任何系统完全不受外界影响是不可能的。
 (2) 类似于化学平衡,热力学系统达到平衡状态也是一种动态平衡,组成系统的分子仍在不停地做无规则运动,只是分子运动的平均效果不随时间变化,表现为系统的宏观性质不随时间变化。
 (3) 处于平衡态的系统各处温度相等,但温度各处相等的系统未必处于平衡态。

任务二 热平衡与温度

[探究活动]

某工人在拿铁棒和木头时感觉到铁棒明显比木头凉,由于表示物体冷热程度的物理量是温度,因此这位工人得出当时“铁棒比木头温度低”的结论,你认为他的结论对吗? 请说明理由。

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. 下列有关热平衡的说法正确的是 ()

- A. 如果两个系统在某时刻处于热平衡状态,则这两个系统永远处于热平衡状态
 B. 热平衡定律只能研究三个系统的问题
 C. 如果两个系统彼此接触而不发生状态参量的变化,这两个系统又不受外界影响,那么这两个系统一定处于热平衡状态
 D. 两个处于热平衡状态的系统,温度可以有微小的差别

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.(多选)下列说法正确的是 ()

- A. 两个系统处于热平衡时,它们一定具有相同的热量
- B. 如果两个系统分别与第三个系统达到热平衡,那么这两个系统也必定处于热平衡
- C. 温度是决定两个系统是否达到热平衡状态的唯一物理量
- D. 热平衡定律是温度计能够用来测量温度的基本原理

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.关于平衡态和热平衡,下列说法正确的是 ()

- A. 只要温度不变且处处相等,系统就一定处于平衡态
- B. 两个系统在接触时,它们的状态参量不发生变化,说明这两个系统原来的温度是相同的
- C. 热平衡就是平衡态
- D. 处于热平衡的几个系统的压强一定相等

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.下列对热平衡的理解,正确的是 ()

- A. 标准大气压下冰水混合物与 0 °C 的水未达到热平衡
- B. 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
- C. 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,则甲、丙是处于热平衡的状态
- D. 热平衡时,两系统的温度相同,压强、体积也一定相同

B **解析:**标准大气压下,冰水混合物的温度为 0 °C,与 0 °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。

任务总结

平衡态与热平衡的区别和联系

比较项目		平衡态	热平衡
区别	研究对象	一个系统	两个接触的系统
	判断依据	系统不受外界影响,状态参量不再变化	两个系统的温度相同
联系		处于热平衡的两个系统都处于平衡态	

任务三 温度和温标

[探究活动]

如图甲所示为水银体温计,图乙为电子体温计,图丙为热电偶温度计。



(1)确定一个温标时首先要选择一种测温物质,根据这种物质的某个特性来制造温度计,上述三种温度计的测温物质分别是什么?是根据物质的什么特性来制造的?

提示: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)除了摄氏温标外,还有热力学温标,你知道摄氏温标和热力学温标的关系吗?

提示:摄氏温标和热力学温标的关系为 $T/K = t/°C + 273.15$ 。

[评价活动]

1.(多选)下列有关温标的说法正确的是 ()

- A. 温标不同,测量时得到同一系统的温度数值可能是不同的
- B. 不同温标表示的温度数值不同,则说明温度不同
- C. 温标都是人为规定的,没有什么理论依据
- D. 热力学温标是从理论上作出规定的

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. 关于热力学温度和摄氏温度, 下列说法正确的是 ()

- A. 某物体的摄氏温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 即热力学温度为 10 K
 B. 热力学温度升高 1 K 等于摄氏温度升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
 C. 摄氏温度升高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对应热力学温度升高 283 K
 D. 热力学温度和摄氏温度的温标不同, 两者表示的温度无法比较

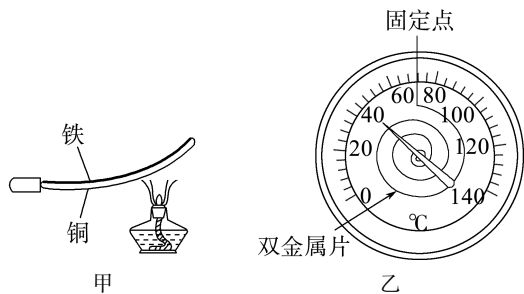
B 解析: 热力学温度与摄氏温度的关系是 $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$, 两者表示的温度可以比较, 所以 A、D 错误; 由 $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$, 可得 $\Delta T = T_2 - T_1 = t_2 - t_1 = \Delta t$, 即用摄氏温度表示的温差等于用热力学温度表示的温差, 所以 B 正确, C 错误。

3. 关于温度与温标, 下列说法正确的是 ()

- A. 温度与温标是一回事, 所以热力学温标也称为热力学温度
 B. 摄氏温度与热力学温度都可以取负值
 C. 温度升高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 在热力学温标中升高 276.15 K
 D. 热力学温度每一开尔文的大小与摄氏温度每一摄氏度的大小相等

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 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. (多选) 实际应用中, 常用到一种双金属温度计, 它是利用铜片与铁片铆合在一起的双金属片的弯曲程度随温度变化的原理制成的, 如图所示。已知双金属片被加热时, 其弯曲程度会增大, 则下列相关叙述正确的有 ()



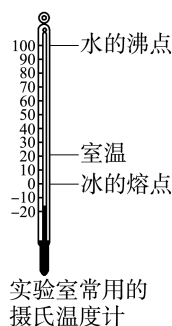
- A. 该温度计的测温物质是铜、铁两种热膨胀系数不同的金属
 B. 双金属温度计是利用测温物质热胀冷缩的性质来工作的

C. 由图可知, 铜的热膨胀系数大于铁的热膨胀系数

D. 由图可知, 铜的热膨胀系数小于铁的热膨胀系数

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. 摄氏温标(以前称为百分温标)是由瑞典天文学家摄尔修斯设计的。如图所示, 把冰的熔点定为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 水的沸点定为 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, 将这两个固定点之间共分为 100 等份, 每一等份算作 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 用摄氏温标表示的温度叫作摄氏温度。摄氏温标用摄氏度作单位, 常用 t 表示。热力学温标由英国物理学家开尔文创立, 把 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为零度的温标, 叫作热力学温标(或绝对温标)。热力学温标用开尔文作单位, 常用 T 表示。



(1) 热力学温标与摄氏温标之间的关系为 _____。

(2) 如果可以粗略地取 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为绝对零度, 在标准大气压下, 冰的熔点为 _____ $^{\circ}\text{C}$, 即 _____ K , 水的沸点是 _____ $^{\circ}\text{C}$, 即 _____ K 。

(3) 如果物体的温度升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 那么物体的温度相当于升高 _____ K 。

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 K , 用 T 表示, 故它们之间的关系为 $T/\text{K} = t/^{\circ}\text{C} + 273.15$ 。

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

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

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

(2) 0 273 100 373

(3) 1

任务总结

1. 确定温标的方法

- (1) 选择某种具有测量属性的测温物质。
- (2) 了解测温物质随温度变化的情况。
- (3) 确定温度零点和分度值。

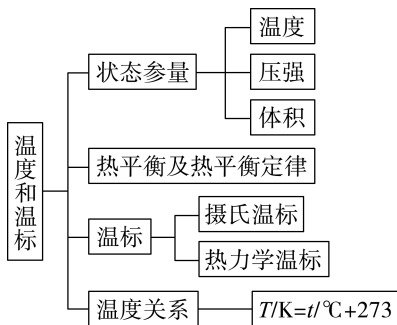
2. 摄氏温标与热力学温标的对比

项目	摄氏温标	热力学温标
提出者	瑞典天文学家摄尔修斯	英国物理学家开尔文
零度的规定	标准大气压下冰的熔点	-273.15 °C
温度名称	摄氏温度	热力学温度
温度符号	t	T
单位名称	摄氏度	开尔文
单位符号	°C	K

续表

项目	摄氏温标	热力学温标
关系	(1) $T/K = t/°C + 273.15$, 粗略表示为 $T/K = t/°C + 273$; (2) 每一开尔文的大小与每一摄氏度的大小相等	

► 提质归纳



课后素养评价(八)

基础性·能力运用

知识点 1 状态参量与平衡态

1. (多选) 在热学中, 要描述一定气体的宏观状态, 需要确定下列哪些物理量? ()

- 每个气体分子的运动速率
- 压强
- 体积
- 温度

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. (多选) 下列各个状态中处于平衡态的是 ()

- 将冰水混合物放在 0 °C 的房间里
- 将铜块放在沸水中加热足够长的时间
- 电影院开空调 5 分钟内放映厅内的气体
- 一个密闭绝热匀速运动的容器突然停止时, 容器内的气体

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 °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。

知识点 2 热平衡与温度

3. (多选) 下列关于热平衡定律的理解, 正确的是 ()

- 两系统的温度相同时, 才能达到热平衡
- 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
- 甲、乙、丙三个物体的温度不相同, 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, 则甲、丙是处于热平衡的
- 热平衡时, 两系统的温度相同, 压强、体积也一定相同

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.(多选)下列说法正确的是 ()

- A. 处于热平衡的两个系统的状态参量不再变化
- B. 达到热平衡的两个系统分开后(未与其他系统接触),再接触有可能发生新的变化
- C. 两个未曾接触的系统不可能处于热平衡
- D. 用温度计测量温度是根据热平衡的原理

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。

知识点 3 温度与温标

5.下列关于热力学温度的说法不正确的是 ()

- A. 热力学温度的零度等于 $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$

B. 热力学温度的每一开(开尔文)的大小和摄氏温度每一摄氏度的大小是相同的

C. 绝对零度是低温的极限,永远达不到

D. 以上说法均错误

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.(多选)下列关于摄氏温标和热力学温标的说法正确的是 ()

- A. 用摄氏温标和热力学温标表示温度是两种不同的表示方法
- B. 用这两种温标表示温度的变化时,两者的数值相等
- C. 1 K 就是 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- D. 当温度变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,也可说成温度变化了 274.15 K

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 K ,但不能说 1 K 就是 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,只能是 $1\text{ 开尔文的温差等于 }1\text{ 摄氏度的温差}$,C、D 错误。

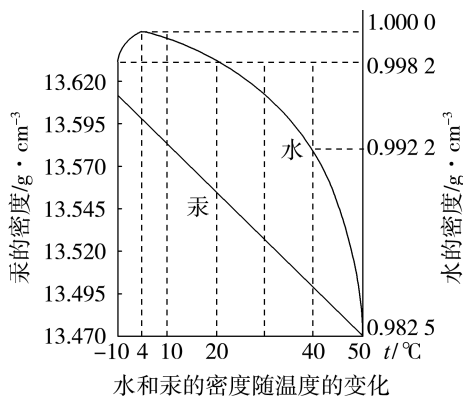
综合性·创新提升

7.关于温度和测量温度的依据,下列说法不正确的是 ()

- A. 温度宏观上反映物体的冷热程度,我们感觉到的物体温度低
- B. 如果 A、B 两物体分别与 C 物体达到热平衡,则 A 物体与 B 物体之间也处于热平衡状态
- C. 当甲、乙两物体达到热平衡时,甲、乙两物体的温度相同
- D. 热平衡是利用温度计测量温度的依据

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.根据图判断,人们选择的温度计中的测温物质及其依据分别是 ()



- A. 水,水的密度小
- B. 水,水的密度出现异常现象
- C. 汞,汞的密度大
- D. 汞,汞的密度与温度呈规则的线性关系

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.实验室中有一支读数不准确的温度计,在标准大气压下测冰水混合物的温度时,其读数为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$;在测标准大气压下沸水的温度时,其读数为 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。下

面分别是温度计示数为 $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时对应的实际温度和实际温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时温度计的示数,其中正确的是

()

- A. $41\text{ }^{\circ}\text{C}$, $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ B. $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$
 C. $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ D. $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $36\text{ }^{\circ}\text{C}$

C 解析:此温度计每一刻度表示的实际温度为

$$\frac{100}{80-20}\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{3}\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ 当它的示数为 } 41\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ 时, 它上升}$$

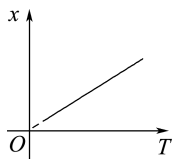
的格数为 $41-20=21$ (格), 则对应的实际温度应为

$$21 \times \frac{5}{3}\text{ }^{\circ}\text{C} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}; \text{ 同理, 当实际温度为 } 60\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ 时, 此}$$

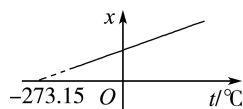
$$\text{温度计应从 } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ 开始上升的格数为 } \frac{60}{\frac{5}{3}} =$$

36 (格), 它的示数应为 $(36+20)\text{ }^{\circ}\text{C} = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。故 C 正确。

10. 已知某物理量 x 与热力学温度 T 成正比, 它们的关系如图所示, 试用图像表示某物理量 x 与摄氏温度 t 的关系。



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. 在某一温度计上刻有 150 格均匀的刻度。在标准大气压下, 当将温度计的玻璃泡浸入冰水混合物中时, 水银柱位置稳定在 40 刻度处; 当将玻璃泡浸入沸水中时, 水银柱的位置稳定在 90 刻度处。当水银柱上升到 100 刻度处时, 相当于多少摄氏度? 相当于热力学温度多少开?

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, 题中所说的 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 等份, 每 1 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 K 。

答案: $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 393 K

4 实验: 探究气体等温变化的规律

学习任务目标

1. 知道什么是等温变化和气体等温变化的规律。(物理观念)
2. 设计实验探究气体等温变化的规律。(科学探究)
3. 理解气体的 p - V 图像和 p - $\frac{1}{V}$ 图像, 会用等温变化的规律分析有关问题。(科学思维)

问题式预习

知识点一 实验目的与原理 实验设计

1. 等温变化

一定质量的某种气体在温度不变的条件下, 其压强随体积的变化, 叫作气体的等温变化。

2. 实验目的: 探究在温度不变的情况下, 一定质量的某种气体的压强随体积变化的定量规律。

3. 实验设计: 方案一是利用常规仪器的设计, 方案二是利用传感器来测量压强。

[科学思维]

探究气体等温变化的规律,这个实验用的什么实验方法?

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.在“探究气体等温变化的规律”的实验中,被封闭的气体的质量发生变化不会影响实验结果。(×)
- 2.一定质量的某种气体,在温度保持不变的情况下,压强 p 与体积 V 成正比。(×)
- 3.在“探究气体等温变化的规律”的实验中,一定质量的气体,三个状态参量中,至少有两个改变。(√)

知识点二 实验操作 实验分析与结论

1.实验操作

- (1)连接装置,保证密封性。
- (2)测量体积 V 和压强 p 。
- (3)记录数据。
- (4)建立 $p-\frac{1}{V}$ 坐标系,描点画线,作出 $p-\frac{1}{V}$ 图像。

2.实验分析与结论

一定质量的某种气体,在温度保持不变的情况下,压强 p 与体积 V 成反比,表达式为 $pV=\text{常量}$ 。

[科学思维]

若建立 $p-V$ 坐标系,等温变化的规律应是什么图线?作 $p-\frac{1}{V}$ 图像有什么优点?

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.在探究气体等温变化的实验中,缓慢推动注射器的活塞是为了保持被封闭气体的温度不变。(√)
- 2.一定质量的某种气体,当温度升高时,其体积和压强一定都增大。(×)
- 3.气体等温变化规律的表达式 $pV=C$ 中, C 的大小与气体的温度、质量及种类有关。(√)
- 4.一定质量的气体,当温度不变时,其 $p-V$ 图像是过原点的倾斜直线。(×)

任务型课堂

任务一 探究气体等温变化的规律

[探究活动]

气球不但可作为玩具和装饰品,还可以作为运输工具。拿一个密封的气球,我们挤压气球,使气球里的气体体积减小,如图所示,此时能明显感觉到气体的压强增大。



能否根据气体体积减小压强增大,断定压强与体积成反比呢?

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。

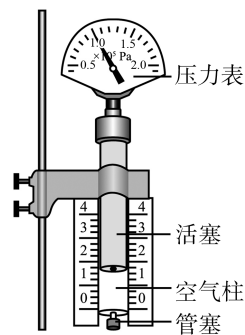
[评价活动]

- 1.(多选)在“探究气体等温变化的规律”的实验中,为保持温度不变,下列采取的措施合理的是 ()
 - A. 推动活塞运动时尽可能慢些
 - B. 在活塞上涂上润滑油,保持良好的密封性
 - C. 不要用手握住注射器封闭气体的部分
 - D. 实验时尽量在注射器中封入较多的空气

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.(多选)“探究气体等温变化的规律”的实验装置如图所示,下列说法正确的是 ()



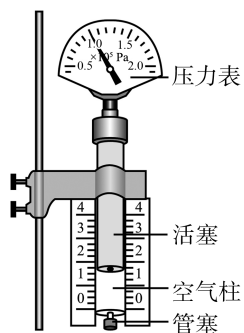
- A. 实验过程中应保持被封闭气体的质量和温度不发生变化
- B. 实验中为找到体积与压强的关系,一定要测量空气柱的横截面积

C. 为了减小实验误差,可以在活塞上涂润滑油,以减小摩擦

D. 处理数据时采用 $p-\frac{1}{V}$ 图像,是因为 $p-\frac{1}{V}$ 图像比 $p-V$ 图像更直观

AD **解析:** 本实验采用的方法是控制变量法,所以要使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. 某同学用如图所示的装置探究气体等温变化的规律。

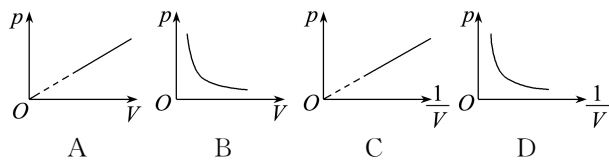


(1) 在实验中,下列操作不必要的是_____。

- A. 用管塞密封注射器的下端
- B. 用游标卡尺测量活塞的直径
- C. 读取压力表上显示的气压值
- D. 读取刻度尺上显示的空气柱长度

(2) 实验装置用铁架台固定,而不是用手握住注射器,并且在实验中要缓慢推动活塞,这些要求的目的是_____。

(3) 下列图像中,最能直观反映气体做等温变化的规律的是_____。



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。

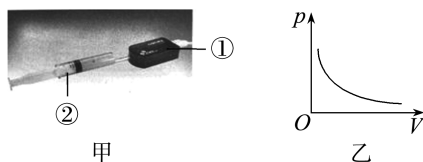
(2) 手温会影响气体的温度,且实验过程中气体压缩太快,温度升高后热量不能快速释放,气体温度

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. 图甲为研究一定质量的气体压强与体积关系的实验装置。



(1) 图甲中①为_____传感器,该实验需要保持气体的_____和_____不变。

(2) 某同学在实验中测出多组气体的压强与体积数值后,利用计算机绘图功能,得到如图乙所示的 $p-V$ 图像,则由此图_____ (选填“能”或“不能”)得到压强与体积成反比的结论。

(3) 某同学在实验中得到的数据如下:

次数	压强 p/kPa	体积 V/cm^3	体积倒数 $1/V/\text{cm}^{-3}$	$p \cdot V$ 乘积
1	116.2	14	0.071	1 626.8
2	124.6	13	0.077	1 619.8
3	134.3	12	0.083	1 611.6
4	145.6	11	0.091	1 601.6
5	158.8	10	0.100	1 588.0
6	173.2	9	0.111	1 558.8

表中数据表明气体的 $p \cdot V$ 乘积随着气体体积的减小而减小,若实验中很好地满足了实验需要满足的条件,则出现该结果的原因是_____。

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

任务总结

1. 实验结论

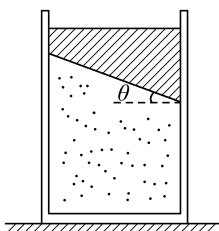
一定质量的某种气体,在温度保持不变的情况下,压强 p 与体积 V 成反比,即 $pV = \text{常量}$ 。

2. 注意事项

- (1) 管塞要塞紧,防止漏气,保证气体的质量不变。
- (2) 改变气体体积时,要缓慢进行,等稳定后再读出气体压强,以防止气体体积变化太快,气体的温度发生变化。
- (3) 实验过程中,不要用手接触注射器的圆筒以防止圆筒从手上吸收热量,引起内部气体温度变化。

任务二 封闭气体压强的计算

1. 如图所示,一个横截面积为 S 的圆筒形容器竖直放置,金属圆板的上表面是水平的,下表面是倾斜的,下表面与水平面的夹角为 θ ,圆板的质量为 M ,不计圆板与容器内壁的摩擦。若大气压强为 p_0 ,则被圆板封闭在容器中的气体的压强等于 ()

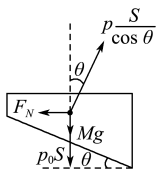


- A. $p_0 + \frac{Mg \cos \theta}{S}$ B. $\frac{p_0}{\cos \theta} + \frac{Mg}{S \cos \theta}$
 C. $p_0 + \frac{Mg \cos^2 \theta}{S}$ D. $p_0 + \frac{Mg}{S}$

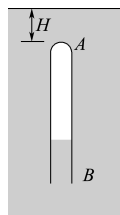
D 解析: 圆板的下表面是倾斜的,气体对其的压力应与该面垂直。为求气体的压强,应以封闭气体的金属圆板为研究对象,其受力分析如图所示,由物

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. 一个饭店的蓄水池内悬浮着一支 A 端封闭、B 端开口的薄玻璃管,其质量为 0.2 kg ,横截面积为 $S = 2 \text{ cm}^2$,A 端到水面距离 $H = 1 \text{ m}$,水面上方大气压强为 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$,如图所示。管内封闭一定量的理想气体,管内气体质量远小于玻璃管质量,可忽略不计。取水的密度 $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $g = 10 \text{ N/kg}$ 。求管内气体压强。



解析: 设气柱长度为 h ,对玻璃管由受力平衡得

$$mg = \rho g h S$$

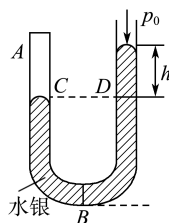
解得 $h = 1 \text{ m}$

此时管内气体的压强

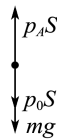
$$p = p_0 + \rho g (h + H) = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

答案: $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$

3. 如图所示,C、D 两处液面等高,已知外界大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$, $h = 10 \text{ cm}$,重力加速度 g 取 10 m/s^2 ,水银的密度为 13.6 g/cm^3 。试求封闭气体 A 的压强。



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:



可得 $p_D S = p_0 S + mg$

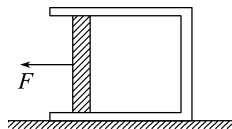
联立解得 $p_A = p_0 + \frac{mg}{S} = p_0 + \rho_{\text{水银}} g h$

代入数据解得

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

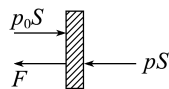
答案: $1.136 \times 10^5 \text{ Pa}$

4. 如图所示,气缸质量为 m_1 ,活塞质量为 m_2 ,不计缸内气体的质量及一切摩擦,当用一水平外力 F 拉活塞时,活塞和气缸最终以共同的加速度运动。求此时缸内气体的压强(已知大气压强为 p_0 ,活塞横截面积为 S)。



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 $F - p_0 S + p S = m_2 a$

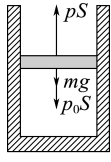
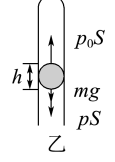
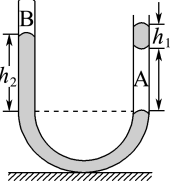


联立解得 $p = p_0 - \frac{m_1 F}{(m_1 + m_2) S}$ 。

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

任务总结

1. 平衡状态下气体压强的求法

平衡法	选取与气体接触的液柱(或活塞)为研究对象进行受力分析,得到液柱(或活塞)的受力平衡方程,求得气体的压强。
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>甲</p> <p>由 $p_0 S + mg = p S$ 得 $p = p_0 + \frac{mg}{S}$</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>乙</p> <p>由 $p S + mg = p_0 S$ 得 $p = p_0 - \frac{mg}{S} = p_0 - \rho_{液} g h$</p> </div> </div>
等压法	在连通器中,同一种液体(中间不间断)同一深度处压强相等。液体内部深 h 处的总压强 $p = p_0 + \rho g h$, p_0 为液面上方的压强。
	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> 如图所示的连通器模型,由 $p_B + \rho g h_2 = p_A$, $p_A = p_0 + \rho g h_1$, 解得 $p_B = p_0 + \rho g (h_1 - h_2)$ </div> </div>

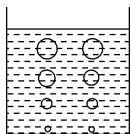
2. 加速运动系统中封闭气体压强的求法

选取与气体接触的液柱(或活塞)为研究对象,进行受力分析,利用牛顿第二定律列方程求解。

任务三 气体等温变化规律及其应用

[探究活动]

在一个恒温池中,一串串气泡由池底慢慢升到水面,有趣的是,气泡在上升过程中,体积逐渐变大,到水面时就会破裂。



(1) 上升过程中,气泡内气体的温度发生改变吗?

提示:因为在恒温池中,所以气泡内气体的温度保持不变。

(2) 上升过程中,气泡内气体的压强怎么改变?

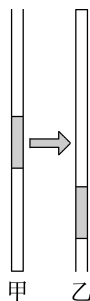
提示:变小。

(3) 气泡在上升过程中体积为何会变大?

提示: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. 在一根一端封闭且粗细均匀的长玻璃管中,用长为 $h = 10 \text{ cm}$ 的水银柱将管内一部分空气密封,当玻璃管开口向上竖直放置时,管内空气柱的长度 $L_1 = 0.3 \text{ m}$,如图甲所示;若温度保持不变,玻璃管开口向下竖直放置,水银没有溢出,如图乙所示。待水银柱稳定后,空气柱的长度 L_2 为多少?(大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$,水银的密度为 13.6 g/cm^3 ,重力加速度 g 取 10 m/s^2)



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, $p_h = \rho_{水银} g h$)

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

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

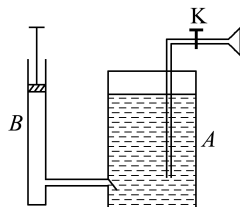
$$\text{解得 } L_2 = \frac{p_0 + p_h}{p_0 - p_h} L_1 \approx 0.39 \text{ m}.$$

答案: 0.39 m

2. 农村常用来喷洒农药的压缩喷雾器的结构如图所示, A 的容积为 7.5 L , 装入药液后, 药液上方的体积为 1.5 L , 关闭阀门 K , 用打气筒 B 每次打进 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的空气 250 cm^3 。

(1) 要使药液上方气体的压强为 $4 \times 10^5 \text{ Pa}$, 打气筒应打几次?

(2) 当 A 中有 $4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的空气后, 打开阀门 K 可喷射药液, 直到不能喷射时, 喷雾器中剩余多少体积的药液?



解析: (1) 以 $V_{总}$ 、 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

$$p_0(V+nV_0)=p_1V$$

$$\text{所以 } n = \frac{(p_1-p_0)V}{p_0V_0} = \frac{(4 \times 10^5 - 1 \times 10^5) \times 1.5}{1 \times 10^5 \times 250 \times 10^{-3}} =$$

18 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

$$p_1V = p_0V'$$

所以药液不能喷射时容器 A 内的气体体积

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

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. (2024 · 湖南卷) 一个充有空气的薄壁气球, 气球内气体压强为 p 、体积为 V 。气球内空气可视为理想气体。

(1) 若将气球内气体等温膨胀至大气压强 p_0 , 求此时气体的体积 V_0 (用 p_0 、 p 和 V 表示);

(2) 小赞同学想测量该气球内气体体积 V 的大小, 但身边仅有一个电子天平。将气球置于电子天平上, 示数为 $m = 8.66 \times 10^{-3} \text{ kg}$ (此时须考虑空气浮力对该示数的影响)。小赞同学查阅资料发现, 此时气球内气体压强 p 和体积 V 还满足: $(p - p_0)(V - V_{B0}) = C$, 其中 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 为大气压强, $V_{B0} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 为气球无张力时的最大容积, $C = 18 \text{ J}$ 为常量。已知该气球自身质量为 $m_0 = 8.40 \times 10^{-3} \text{ kg}$, 外界空气密度为 $\rho_0 = 1.3 \text{ kg/m}^3$ 。求气球内气体体积 V 的大小。

解析: (1) 由等温变化规律有 $pV = p_0V_0$

$$\text{解得 } V_0 = \frac{pV}{p_0}。$$

(2) 气球内空气体积为 V_0 时, 密度为 ρ_0 , 故气球内

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

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

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

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

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

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

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

任务总结

应用气体等温变化规律解题的一般步骤

应用气体等温变化规律解题时, 关键是找出气体初始状态的状态参量 (p_1, V_1) 和末状态对应的状态参量 (p_2, V_2), 然后利用气体等温变化规律的表达式列方程即可。

(1) 确定研究对象, 判断是否满足气体等温变化规律的条件。

(2) 确定始末状态及状态参量 (p_1, V_1, p_2, V_2)。

(3) 根据气体等温变化规律列方程求解。

任务四 气体等温变化的 p - V 图像和 p - $\frac{1}{V}$ 图像

[探究活动]

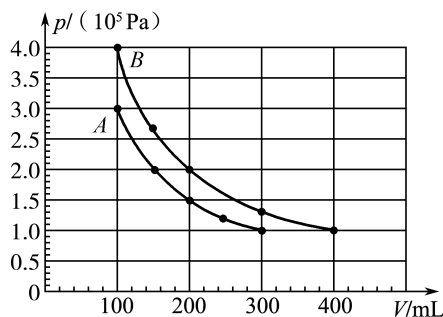
在相同的环境温度下, 在 A、B 两个注射器中分别封闭 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、300 mL 与 $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、400 mL 的空气。

(1) 请根据气体等温变化规律, 计算不同体积气体的压强 (结果均保留两位有效数字), 完成下列表格。

V_A/mL	300	250	200	150	100
$p_A/(10^5 \text{ Pa})$	1	①1.2	②1.5	2	3
V_B/mL	400	300	200	150	100
$p_B/(10^5 \text{ Pa})$	1	③1.3	④2	⑤2.7	⑥4

(2) 在同一个 p - V 坐标系中分别作出 A 与 B 的 p - V 图像, 并解释图像不同的原因。

提示: 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。

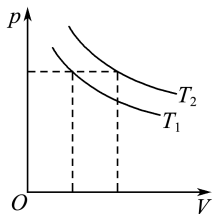


(3) 等温图像的物理意义是什么?

提示: 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]

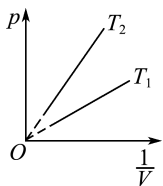
1. (多选) 如图所示为一定质量的气体在不同温度下的两条等温线, 则下列说法正确的是 ()



- A. 一定质量的气体在发生等温变化时,其压强与体积成反比
- B. 一定质量的气体,在不同温度下的等温线是不同的
- C. 由图可知 $T_1 > T_2$
- D. 由图可知 $T_1 < T_2$

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。

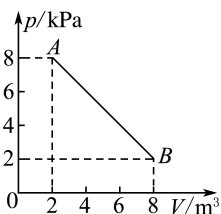
- 2.(多选)如图所示为一定质量的气体在不同温度下的两条 p - $\frac{1}{V}$ 图线,由图可知 ()



- A. 一定质量的气体在发生等温变化时,其压强与体积成正比
- B. 一定质量的气体在发生等温变化时,其 p - $\frac{1}{V}$ 图线的延长线经过坐标原点
- C. $T_1 > T_2$
- D. $T_1 < T_2$

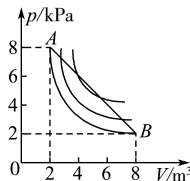
BD 解析:由 $pV=C$ 知,压强与体积成反比,故 A 错误; $p \propto \frac{1}{V}$,所以 p - $\frac{1}{V}$ 图线的延长线经过坐标原点,故 B 正确; p - $\frac{1}{V}$ 图线的斜率越大,对应的温度越高,所以 $T_1 < T_2$,故 C 错误,D 正确。

- 3.如图所示是一定质量的某种气体状态变化的 p - V 图像,气体由状态 A 变化到状态 B 的过程中,气体分子平均速率的变化情况是 ()



- A. 一直保持不变
- B. 一直增大
- C. 先增大后减小
- D. 先减小后增大

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。

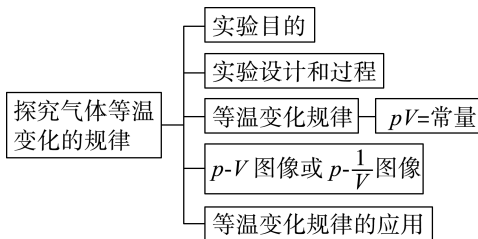


任务总结

p - V 图像与 p - $\frac{1}{V}$ 图像的比较

图像类型	p - V 图像	p - $\frac{1}{V}$ 图像
图像		
物理意义	一定质量的某种气体,在温度不变的情况下, p 与 V 成反比,等温线是双曲线的一支	一定质量的某种气体,温度不变, p 与 $\frac{1}{V}$ 成正比,等温线是一条过坐标原点的直线
温度	一定质量的气体,温度越高,气体压强与体积的乘积越大,所以等温线离原点越远,图中 $T_1 < T_2$	直线的斜率为 p 与 V 的乘积,斜率越大, p 、 V 乘积越大,温度越高,图中 $T_1 < T_2$

► 提质归纳

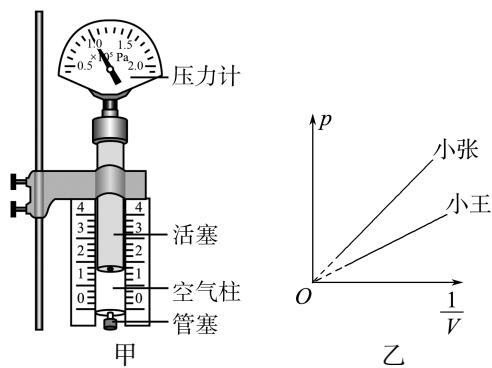


课后素养评价(九)

基础性·能力运用

知识点1 实验:探究气体等温变化的规律

1. 某实验小组用如图甲所示的实验装置来探究一定质量的气体发生等温变化时遵循的规律。



(1) 关于该实验, 下列说法正确的是_____。

- A. 实验前应将注射器内的空气完全排出
 B. 空气柱体积变化应尽可能地快些
 C. 空气柱的压强随体积的减小而减小
 D. 作出 $p-\frac{1}{V}$ 图像可以直观反映出 p 与 V 的关系

(2) 如图乙是小张、小王两位同学在实验中得到的 $p-\frac{1}{V}$ 图像, 若两人实验时均操作无误且选取的坐标标度相同, 那么两图像斜率不同的主要原因是_____。

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。

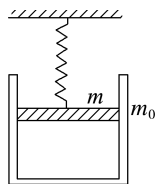
(2) 根据 $p-\frac{1}{V}$ 图像可知, 如果温度相同, 则说明两次气体质量不同, 如果气体质量相同, 则两次温度不同。

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)

知识点2 封闭气体压强的计算

2. 如图所示, 一气缸通过弹簧吊在天花板上保持静止, 活塞的质量为 m , 气缸套的质量为 m_0 。气缸内

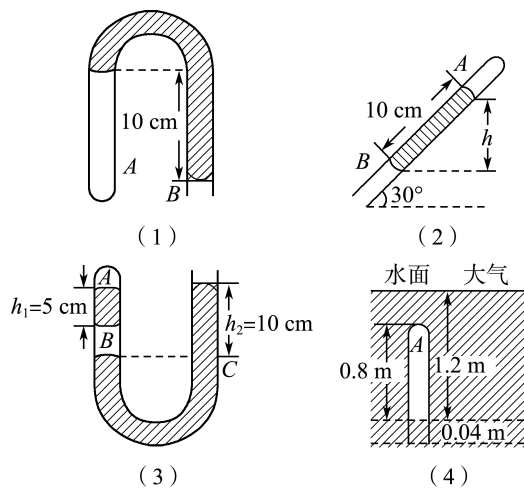
封住一定质量的气体, 气缸套和活塞间无摩擦, 活塞面积为 S , 大气压强为 p_0 , 则封闭气体的压强 p 为_____。



- A. $p = p_0 + \frac{m_0 g}{S}$ B. $p = p_0 + \frac{(m_0 + m) g}{S}$
 C. $p = p_0 - \frac{m_0 g}{S}$ D. $p = \frac{m g}{S}$

C 解析: 以缸套为研究对象, 根据受力平衡有 $pS + m_0 g = p_0 S$, 所以封闭气体的压强 $p = p_0 - \frac{m_0 g}{S}$, 故 C 正确。

3. 求下图中被封闭气体 A 的压强。其中图(1)(2)(3)中的玻璃管内都装有水银, 图(4)中的小玻璃管浸没在水中, 大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$, $\rho_{\text{水}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{水银}} = 13.6 \text{ g/cm}^3$, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。



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) $p_A = p_0 + \rho_{\text{水}} g h = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa} + 1 \times 10^3 \times 10 \times 1.2 \text{ Pa} = 1.13 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

答案:(1) 8.74×10^4 Pa (2) 9.42×10^4 Pa
(3) 1.08×10^5 Pa (4) 1.13×10^5 Pa

知识点 3 气体等温变化的定律

4.如图所示,竖直放置、开口向下的试管内用水银封闭一段气体,若试管自由下落,管内气体 ()



- A. 压强增大,体积增大
- B. 压强增大,体积减小
- C. 压强减小,体积增大
- D. 压强减小,体积减小

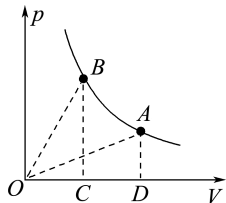
B 解析:试管竖直放置时,封闭气体的压强为 $p = p_0 - \rho gh$;试管自由下落时,封闭气体的压强为 $p = p_0$,根据玻意耳定律 $pV = C$ 知,压强增大,则体积减小,故选项 B 正确。

- 5.一个气泡由湖面下 20 m 深处上升到湖面下 10 m 深处,它的体积约变为原来体积的(温度不变,水的密度为 1.0×10^3 kg/m³,取 $g = 10$ m/s²) ()
- A. 3 倍
 - B. 2 倍
 - C. 1.5 倍
 - D. $\frac{7}{10}$

C 根据玻意耳定律有 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_0 + p_{h1}}{p_0 + p_{h2}} = \frac{p_0 + 2p_0}{p_0 + p_0} = \frac{3p_0}{2p_0} = \frac{3}{2}$,故 C 正确。

综合性·创新提升

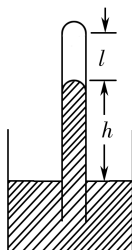
6.如图所示的曲线是一定质量的某种气体的 p - V 图像中的等温线,A、B 是等温线上的两点, $\triangle OAD$ 和 $\triangle OBC$ 的面积分别为 S_1 和 S_2 ,则 ()



- A. $S_1 > S_2$
- B. $S_1 = S_2$
- C. $S_1 < S_2$
- D. 无法比较

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 $p_A V_A = p_B V_B$,可知两个三角形面积相等,故 B 正确。

7.如图所示,一端开口、一端封闭的长直玻璃管灌满水银后,开口端向下竖直插入水银槽中,稳定后管内外水银面高度差为 h ,水银柱上端真空部分长度为 l 。现将玻璃管竖直向上提一小段,且开口端仍在水银槽液面下方,则 ()

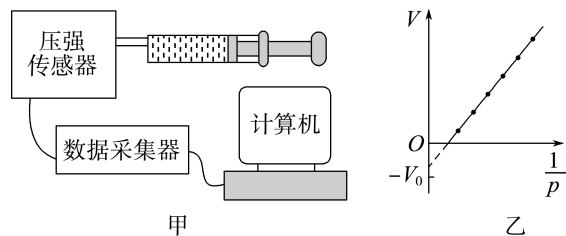


- A. h 变大, l 变大
- B. h 变小, l 变大
- C. h 不变, l 变大
- D. h 变大, l 不变

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.用数字信息化系统(DIS)研究一定质量气体在温度不变时,压强与体积关系的实验装置示意图如图甲所示,实验步骤如下:



- ①把注射器活塞移至注射器中间位置,将注射器与压强传感器、数据采集器、计算机逐一连接;
- ②移动活塞,记录注射器的刻度值 V ,同时记录对应的由计算机显示的气体压强值 p ;
- ③用 $V - \frac{1}{p}$ 图像处理实验数据,得出如图乙所示的图线。

- (1)为了保持封闭气体的质量不变,实验中采取的主要措施是_____。
- (2)为了保持封闭气体的温度不变,实验中采取的主要措施是_____,同时选材时选_____。

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. 气体弹簧是车辆上常用的一种减震装置,其简化结构如图所示。直立圆柱形密闭气缸导热性良好,横截面积为 S 的活塞通过连杆与车轮轴连接。初始时气缸内密闭一段长度为 L_0 、压强为 p_1 的理想气体,气缸与活塞间的摩擦忽略不计。车辆载重时相当于在气缸顶部增加一个物体 A ,稳定时气缸下降了 $0.5L_0$,气体温度保持不变。

(1)求物体 A 所受的重力大小。

(2)已知大气压强为 p_0 ,为使气缸升到原位置,求需向气缸内充入与气缸温度相同的气体的体积。

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 $p_1L_0S = p_2 \cdot 0.5L_0S$

解得 $p_2 = 2p_1$

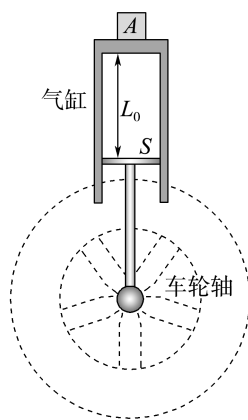
则物体 A 所受的重力大小为 $G = (p_2 - p_1)S = p_1S$ 。

(2)设充入的气体体积为 V ,则有

$p_1L_0S + p_0V = p_2L_0S$

解得 $V = \frac{p_1}{p_0}L_0S$ 。

答案:(1) p_1S (2) $\frac{p_1}{p_0}L_0S$



5 气体的等容变化和等压变化

学习任务目标

1. 知道气体的等容变化、等压变化、理想气体的概念。(物理观念)
2. 掌握气体的等容变化规律和等压变化规律的内容、公式及应用,理解理想气体状态方程并能利用其解决实际问题。(科学思维)
3. 知道气体实验定律的微观解释。(科学思维)

问题式预习

知识点一 气体的等容变化和等压变化

1. 气体的等容变化

(1)内容:一定质量的某种气体,在体积不变的情况下,压强 p 与热力学温度 T 成正比,即 $p \propto T$ 。

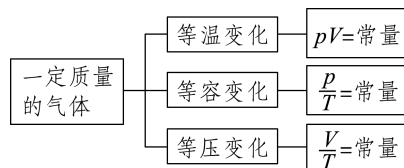
(2)公式: $\frac{p}{T} = C$ 或 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 。

2. 气体的等压变化

(1)内容:一定质量的某种气体,在保持压强不变的情况下,体积 V 与热力学温度 T 成正比。

(2)公式: $\frac{V}{T} = C$ 或 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 。

[科学思维]



[判一判]

1. “拔火罐”时,火罐冷却,罐内气体的压强小于大气的压强,火罐就被“吸”在皮肤上。(✓)
2. 一定质量的气体,等容变化时,气体的压强和温度不一定成正比。(✓)
3. 气体等容变化规律的数学表达式 $\frac{p}{T} = C$,其中 C 是一个常量, C 是一个与气体的质量、压强、温度、体积均无关的恒量。(✗)

知识点二 气体实验定律的微观解释和理想气体

1. 等温变化:一定质量的气体,温度不变时,气体分子的平均动能是一定的。气体体积越小,分子的密集程度越大,单位时间内撞击到器壁单位面积上的分子数越多,气体的压强就越大。
2. 等容变化:一定质量的气体,体积保持不变,单位体积内的分子数保持不变。温度升高时,分子热运动的平均动能增大,则单位时间撞击到器壁单位面积

上的分子数增多,同时分子对器壁的撞击力增大,气体的压强就增大。

3.等压变化:一定质量的气体,温度升高时,分子热运动的平均动能增大。要使压强保持不变,必须减小气体分子的密集程度,使单位时间内撞击到器壁单位面积上的分子数减少,在宏观上就表现为气体体积增大。

4.理想气体

(1)理想气体:在任何温度、任何压强下都遵守气体实验定律的气体。在温度不太低、压强不太大的条件下,一切实际气体都可以看作理想气体来处理。

(2)理想气体状态方程: $\frac{pV}{T}=C$ 或 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ 。

[做一做]

关于理想气体的性质,下列说法不正确的是()

A. 理想气体是一种假想的物理模型,实际并不存在

B. 理想气体的存在是一种人为规定,它是一种严格遵守气体实验定律的气体

C. 一定质量的理想气体,内能增大,其温度一定升高

D. 氦气是液化温度最低的气体,任何情况下均可当作理想气体

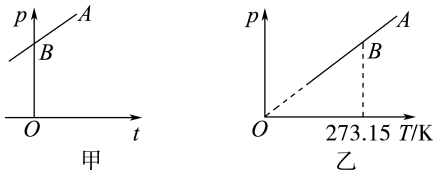
D **解析**:理想气体是物理学上为了简化问题而引入的一个理想化模型,在现实生活中不存在;严格遵守气体实验定律的气体是理想气体,实际中只要气体的压强不太大、温度不太低,都可以近似看成理想气体,A、B说法正确。温度是分子平均动能的标志,一定质量的理想气体忽略了分子势能,所以内能增大,其分子平均动能增大,则温度一定升高,C说法正确。只有当压强不太大、温度不太低时,才可以将氦气当作理想气体,D说法错误。

任务型课堂

任务一 气体等容变化规律及其应用

[探究活动]

如图所示为一定质量的气体在体积不变的条件下,压强随摄氏温度(图甲)及热力学温度(图乙)变化的关系,试回答以下问题:



(1)如图甲所示,压强与摄氏温度成正比吗?图线与纵轴的截距表示什么?

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

(2)如图乙所示,在压强不太大、温度不太低时,图线的延长线与横轴的交点表示什么?压强与热力学温度有怎样的关系?

提示:交点表示热力学温度的 0 K ;压强与热力学温度成正比。

[评价活动]

1.对于一定质量的气体,以下说法正确的是()

A. 气体做等容变化时,气体的压强和温度成正比
B. 气体做等容变化时,温度升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,增加的压强

是原来压强的 $\frac{1}{273}$

C. 气体做等容变化时,气体压强的变化量与温度的变化量成正比

D. 等容变化中,气体温度从 t_1 升高到 t_2 时,气体

压强由 p_1 增加到 p_2 ,且 $p_2=p_1\left(1+\frac{t_2-t_1}{273}\right)$

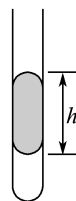
C **解析**:一定质量的气体做等容变化,气体的压强跟热力学温度成正比,跟摄氏温度不成正比关系,A

错误;根据公式 $p_t=p_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$,其中 p_0 是 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

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.如图所示,有一上端开口、竖直放置的玻璃管,管中有一段高度 $h=15\text{ cm}$ 的水银柱将一些空气封闭在管中,此时气体的温度为 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$,当温度升高到 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,为了使气体体积不变,需要再注入多少水银?(设大气压强为 $p_0=1\times 10^5\text{ Pa}$ 且不变,水银密度 $\rho=13.6\text{ g/cm}^3$,重力加速度 g 取 10 m/s^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 $p_1 = p_0 + \rho_{\text{水银}} gh$, $T_1 = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$

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 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

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

解得 $x \approx 0.9$

则需要注入水银柱的长度约为 0.9 cm。

答案:0.9 cm

3.某登山运动员在一次攀登珠穆朗玛峰的过程中,在接近山顶时他裸露在手腕上的防水手表的表盘玻璃突然爆裂了,而手表没有受到任何撞击。该手表出厂时给出的参数为 27°C 时表内气体的压强为 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ (常温下的大气压强),当内、外压强差超过 $6.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ 时,表盘玻璃将爆裂。当时登山运动员携带的温度计的读数是一 21°C ,表内气体体积的变化可忽略不计。

(1)通过计算判断手表的表盘玻璃是向外爆裂还是向内爆裂。

(2)当时外界的大气压强不会超过多少?

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) $2.4 \times 10^4 \text{ Pa}$

任务总结

1. 气体等容变化规律及推论

$$\begin{array}{|l} \text{气体等容变化规律} \\ \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \end{array} \xrightarrow{\text{推论}} \begin{array}{|l} \frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T} \text{ 或 } \Delta p = \frac{p}{T} \Delta T \end{array}$$

一定质量的某种气体从初状态 (p, T) 开始发生等容变化,其压强的变化量 Δp 与热力学温度的变化量 ΔT 成正比。

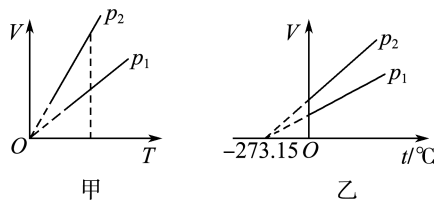
2. 应用气体等容变化规律解题的一般步骤

- (1)确定研究对象,即被封闭的一定质量的气体。
- (2)分析被研究气体在状态变化时是否符合定律的适用条件:质量一定,体积不变。
- (3)确定初、末两个状态的温度、压强。
- (4)根据气体等容变化规律列式求解。
- (5)注意分析隐含条件,作出必要的判断和说明。

任务二 气体等压变化规律及其应用

[探究活动]

如图甲、乙所示分别为一定质量的不同压强的气体在发生等压变化时的 $V-T$ 图像和 $V-t$ 图像,试根据图像探究以下问题:



(1)在压强不变的情况下,气体的体积 V 与热力学温度 T 是什么关系?

提示: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)气体等压变化规律成立的条件是什么?

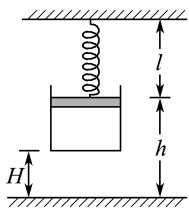
提示:气体的质量和压强不变。

(3)甲、乙图像中的 p_1 和 p_2 表示不同压强下的两条等压线,从图像来分析,等压线的斜率大小与气体压强大小之间有什么样的对应关系?

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

[评价活动]

1.如图所示,一导热性良好的气缸内用活塞封住一定质量的气体(不计活塞与缸壁的摩擦),温度升高时,改变的量是 ()



- A. 活塞高度 h B. 气缸高度 H
C. 气体压强 p D. 弹簧长度 l

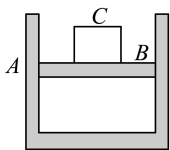
B 解析:以气缸整体为研究对象,由受力平衡知弹簧弹力的大小等于气缸和活塞的总重力,故 l, h 不变;设气缸的重力为 G_1 ,则封闭气体的压强 $p = p_0 - \frac{G_1}{S}$ 保持不变;当温度升高时,由等压变化规律知气体体积增大, H 将减小,故只有 B 项正确。

2. (2024 · 福建卷) 17 °C 时轮胎胎压为 2.9 个大气压,胎内气体为理想气体。体积、质量不变, 27 °C 时轮胎胎压为 _____ 个大气压,内能 _____ (选填“大于”“等于”或“小于”) 17 °C 时气体内能。

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, $p_1 = 2.9p_0, T_1 = 290 \text{ K}$,末状态, $T_2 = 300 \text{ K}$,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 °C 时气体的内能。

答案: 3.0 大于

3. 如图所示,气缸 A 中封闭有一定质量的气体,活塞 B 与 A 的接触是光滑且不漏气的, B 上放一重物 C, B 与 C 的总重力为 G ,大气压强为 p_0 。当气缸内气体温度是 20 °C 时,活塞与气缸底部的距离为 h_1 。当气缸内气体温度是 100 °C 时,活塞与气缸底部的距离是多少?



解析:初状态有 $T_1 = (273 + 20) \text{ K} = 293 \text{ K}, V_1 = h_1 S$

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

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

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

答案: $1.27h_1$

4. 一容器中装有某种气体,且容器上有一小孔跟外界大气相通,原来容器内气体的温度为 27 °C,如果把它加热到 127 °C,从容器中逸出的空气质量与原来空气质量的比值是多少?

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 $V_1 = V, T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

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

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

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

$$\text{代入数据得 } \Delta V = \frac{V}{3}$$

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: $\frac{1}{4}$

任务总结

1. 等压变化规律及推论

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{等压变化规律} \\ \hline \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \\ \hline \end{array} \xrightarrow{\text{推论}} \frac{V}{T} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \text{ 或 } \Delta V = \frac{V}{T} \Delta T$$

一定质量的某种气体从初状态 (V, T) 开始发生等压变化,其体积的变化量 ΔV 与热力学温度的变化量 ΔT 成正比。

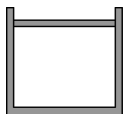
2. 应用等压变化规律解题的一般步骤

- (1) 确定研究对象,即被封闭的一定质量的气体。
- (2) 分析被研究气体在状态变化时是否符合定律的适用条件:质量一定,压强不变。
- (3) 确定初、末两个状态的温度和体积。
- (4) 根据等压变化规律列式求解。
- (5) 注意分析隐含条件,作出必要的判断和说明。

任务三 气体实验定律的微观解释

[探究活动]

如图所示,封闭在气缸内的一定质量的理想气体,如果保持体积不变,当温度升高时:



(1)气缸内气体分子的数密度如何变化?

提示:因体积不变,则气体分子的数密度不变。

(2)气体的压强如何变化?

提示:由 $\frac{p}{T} = C$ 知,温度升高,压强增大。

(3)气缸内气体分子的平均动能如何变化?

提示:因温度升高,气体分子的平均动能增大。

(4)每秒撞击单位面积器壁的气体分子数如何变化?

提示:增多。

[评价活动]

1.对于一定质量的理想气体,用 p 、 V 、 T 分别表示气体的压强、体积和温度,则有 ()

- A. 若 T 不变, p 增大,则分子热运动的平均动能增大
- B. 若 p 不变, V 增大,则分子热运动的平均动能减少
- C. 若 p 不变, T 增大,则单位体积内的分子数减少
- D. 若 V 不变, p 减小,则单位体积内的分子数减少

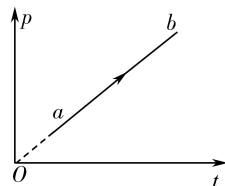
C 解析:分子热运动的平均动能只与温度有关,A 错误;若 p 不变, V 增大,则 T 升高,B 错误;若 p 不变, T 增大,则 V 增大,C 正确;若 V 不变,单位体积内的分子数不变,D 错误。

2.(多选)对于一定质量的气体,当它们的压强和体积发生变化时,以下说法正确的是 ()

- A. 压强和体积都增大时,其分子平均动能不可能不变
- B. 压强和体积都增大时,其分子平均动能有可能减小
- C. 压强增大,体积减小时,其分子平均动能一定不变
- D. 压强减小,体积增大时,其分子平均动能可能增大

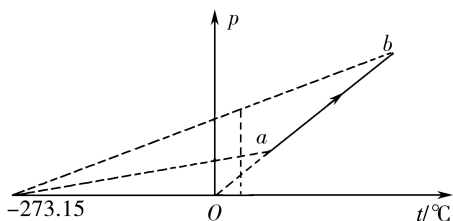
AD 解析:一定质量的气体,分子总数不变,体积增大,单位体积内的分子数减少;体积减小,单位体积内的分子数增加。根据气体的压强与单位体积内的分子数和分子的平均动能这两个因素的关系,可判知 A、D 选项正确,B、C 选项错误。

3.如图所示是一定质量的理想气体的压强和摄氏温度的关系图像,气体由状态 a 变化到状态 b 的过程中,气体的体积 ()

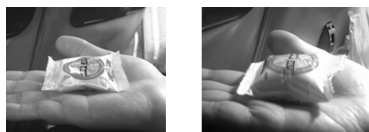


- A. 一直增大
- B. 一直减小
- C. 保持不变
- D. 先变大后变小

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 $-273.15\text{ }^\circ\text{C}$,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.如图为某人在旅途中对同一密封小包装食品拍摄的两张照片,图甲拍摄于海拔 500 m、气温为 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 的环境下,图乙拍摄于海拔 3 200 m、气温为 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 的环境下。下列说法正确的是 ()



甲

乙

- A. 图甲中包装袋内气体的压强小于图乙中包装袋内气体的压强
- B. 图甲中包装袋内气体的分子的数密度与碰撞频率均比图乙中的大
- C. 海拔越高,包装袋内气体的压强越大
- D. 若包装袋鼓起得更厉害,则可以判断所在位置的海拔更高

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 $V_1 < V_2$, $T_1 = 291\text{ K} > T_2 = 283\text{ K}$,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。

任务总结 ■■■■■

容器内封闭气体的压强

(1) 产生的原因

由于大量气体分子做无规则运动而碰撞器壁，形成对器壁各处均匀、持续的压力，作用在器壁单位面积上的压力叫作气体的压强。

(2) 决定因素

- ① 宏观上：取决于气体的温度和体积。
- ② 微观上：取决于分子的平均动能和分子的密集程度。

任务四 理想气体状态方程

[探究活动]

同学们或许在电视上看到过有人乘坐热气球在蓝天翱翔的画面，其中的燃烧器时而喷出熊熊烈焰，巨大的气球缓慢上升。



热气球为什么能升空？请探究其中的原理。

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]

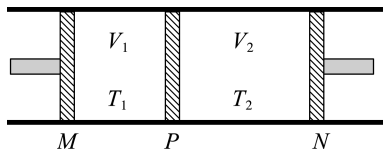
1. (多选) 下列对理想气体的理解正确的有 ()

- A. 理想气体实际上并不存在，只是一种理想模型
- B. 只要气体压强不是很大就可视为理想气体
- C. 一定质量的某种理想气体的内能与温度、体积都有关
- D. 在任何温度、任何压强下，理想气体都遵从气体实验定律

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. (2025·河南卷)(多选) 如图所示，一圆柱形气缸水平固置，其内部被活塞 M、P、N 密封成两部分，活

塞 P 与气缸壁均绝热且两者间无摩擦。平衡时，P 左、右两侧理想气体的温度分别为 T_1 和 T_2 ，体积分别为 V_1 和 V_2 ， $T_1 < T_2$ ， $V_1 < V_2$ 。则 ()



- A. 固定 M、N，若两侧气体同时缓慢升高相同温度，P 将右移
- B. 固定 M、N，若两侧气体同时缓慢升高相同温度，P 将左移
- C. 保持 T_1 、 T_2 不变，若 M、N 同时缓慢向中间移动相同距离，P 将右移
- D. 保持 T_1 、 T_2 不变，若 M、N 同时缓慢向中间移动相同距离，P 将左移

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 ΔT 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. 一活塞将一定质量的理想气体封闭在气缸内，初始时气体体积为 $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 。用数字信息化(DIS)实验系统测得此时气体的温度和压强分别为 300 K 和 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。推动活塞压缩气体，测得气体的温度和压强分别为 320 K 和 $1.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

- (1) 求此时气体的体积；
- (2) 保持温度不变，缓慢改变作用在活塞上的力，使气体压强变为 $8.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ ，求此时气体的体积。

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

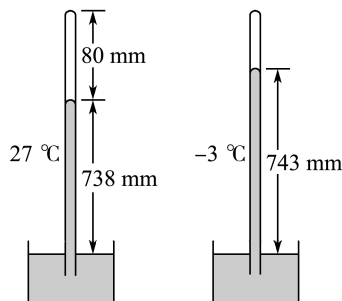
$$V_1 = \frac{p_0 V_0 T_1}{T_0 p_1} = \frac{1.0 \times 10^5 \times 3.0 \times 10^{-3} \times 320}{300 \times 1.6 \times 10^5} \text{ m}^3 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

(2) 由等温变化规律 $p_1 V_1 = p_2 V_2$ 解得 $V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{1.6 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}}{8.0 \times 10^4} \text{ m}^3 = 4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$

10^{-3} m^3 。

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

4. 一水银气压计中混进了空气,因而在温度为 27°C 、外界大气压为 758 mmHg 时,这个水银气压计的读数为 738 mmHg ,此时管中水银面距管顶 80 mm 。当温度降至 -3°C 时,这个气压计的读数为 743 mmHg 。求此时的实际大气压。(已知 $1 \text{ mmHg} = 133.32 \text{ Pa}$,结果单位用 Pa 表示)



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 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

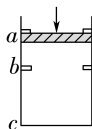
联立解得 $p = 762.2 \text{ mmHg} \approx 1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

答案: $1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$

5. (2024·全国甲卷)如图,一竖直放置的气缸内密封有一定量的气体,一不计厚度的轻质活塞可在气缸内无摩擦滑动,移动范围被限制在卡销 a 、 b 之间, b 与气缸底部的距离 $bc = 10ab$,活塞的面积为 $1.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。初始时,活塞在卡销 a 处,气缸内气体的压强、温度与活塞外大气的压强、温度相同,分别为 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 300 K 。在活塞上施加竖直向下的外力,逐渐增大外力使活塞缓慢到达卡销 b 处(过程中气体温度视为不变),外力增加到 200 N 并保持不变。

(1)求外力增加到 200 N 时,卡销 b 对活塞支持力的大小;

(2)再将气缸内气体加热使气体温度缓慢升高,求当活塞刚好能离开卡销 b 时气体的温度。



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 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 N (2) 327.3 K

任务总结

1. 对理想气体的理解

(1)理想气体严格遵守气体实验定律及理想气体状态方程。

(2)理想气体是对实际气体的一种科学抽象,是一种理想模型,实际并不存在。

(3)理想气体分子除碰撞外,无相互作用的引力和斥力。

(4)理想气体无分子势能的变化,内能等于所有分子热运动的动能之和,只和温度有关。

2. 应用理想气体状态方程解题的一般步骤

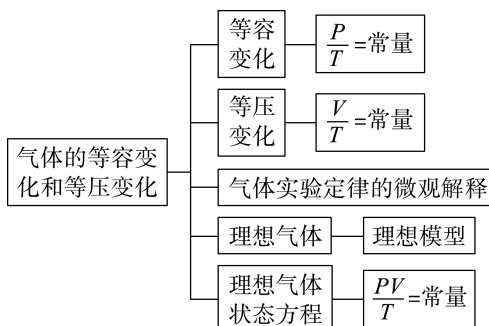
(1)明确研究对象,即一定质量的理想气体。

(2)确定气体在初、末状态的参量 p_1 、 V_1 、 T_1 及 p_2 、 V_2 、 T_2 。

(3)由状态方程列式求解。

(4)讨论结果的合理性。

► 提质归纳

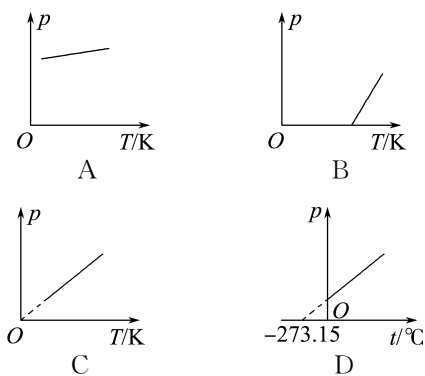


课后素养评价(十)

基础性·能力运用

知识点 1 气体的等容变化

1.(多选)下列选项中描述一定质量的气体做等容变化的图线是 ()



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.(多选)一定质量的气体,在体积不变时,温度由 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升高到 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$,气体压强的变化情况是 ()

- A. 气体压强变为原来的 2 倍
- B. 气体压强比原来增加了 $\frac{1}{273}$
- C. 气体压强变为原来的 $\frac{373}{323}$ 倍
- D. 气体压强比原来增加了 $\frac{50}{323}$

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

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ 可知, } \frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{373}{323}, \text{ 即 } p_2 = \frac{373}{323} p_1, \text{ 故 A}$$

错误,C 正确;压强增加了 $\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{373}{323} p_1 -$

$$p_1 = \frac{50}{323} p_1, \text{ 故 B 错误,D 正确。}$$

知识点 2 气体的等压变化

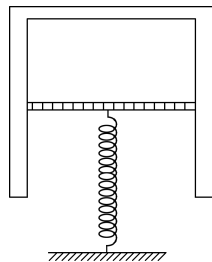
3.一定质量的气体保持其压强不变,若热力学温度降为原来的一半,则气体的体积变为原来的 ()

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

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.(多选)如图所示,一根竖直的弹簧支持着一倒立气缸的活塞,使气缸悬空且静止。设活塞与缸壁间无摩擦,可以使其在缸内自由移动,缸壁良好的导热性能使缸内气体的温度总保持与外界大气温度相同。下列结论正确的是 ()



- A. 若外界大气压增大,则弹簧将压缩一些
- B. 若外界大气压减小,则气缸的上底面距地面的高度将增大
- C. 若气温升高,则活塞距地面的高度将减小
- D. 若气温升高,则气缸的上底面距地面的高度将增大

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。

知识点 3 理想气体的状态方程

5.(多选)对一定质量的理想气体,下列状态变化不可能实现的是 ()

- A. 使气体体积增大,同时温度降低
- B. 使气体温度升高,体积不变,压强减小

- C. 使气体温度不变,而压强、体积同时增大
D. 使气体温度降低,压强减小,体积减小

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.(多选)关于理想气体的状态变化,下列说法正确的是 ()

- A. 一定质量的理想气体,当压强不变而温度由 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 上升到 $200\text{ }^\circ\text{C}$ 时,其体积增大为原来的 2 倍
B. 一定质量的气体由状态 1 变化到状态 2 时,一定满足方程 $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$
C. 一定质量的理想气体的体积增大到原来的 4 倍,可能是压强减半,热力学温度加倍
D. 一定质量的理想气体的压强增大到原来的 4 倍,可能是体积加倍,热力学温度减半

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。

知识点 4 气体实验定律的微观解释

7.一定质量的理想气体,在压强不变的条件下,体积增大,则 ()

- A. 气体分子的平均动能增大
B. 气体分子的平均动能减小
C. 气体分子的平均动能不变
D. 条件不足,无法判定气体分子平均动能的变化情况

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。

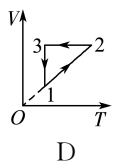
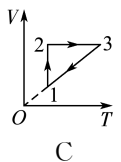
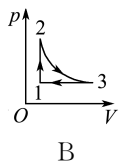
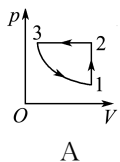
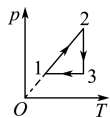
8.一个密闭容器中装有气体,当温度变化时气体压强减小了(不考虑容器的热胀冷缩),则气体的 ()

- A. 密度增大 B. 密度减小
C. 分子平均动能增大 D. 分子平均动能减小

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。

综合性·创新提升

9.如图所示,一定质量的气体的状态沿 $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ 的顺序循环变化,若用 p - V 或 V - T 图像表示这一循环,则下列正确的是 ()



B 解析:由题图可知,气体在 $1 \rightarrow 2$ 过程发生的是等容变化,且压强、温度均增大; $2 \rightarrow 3$ 过程发生的是等温变化,且压强减小、体积增大; $3 \rightarrow 1$ 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.(多选)一定质量的理想气体,初始状态为 p 、 V 、 T ,经过一系列状态变化后,压强仍为 p ,则下列过

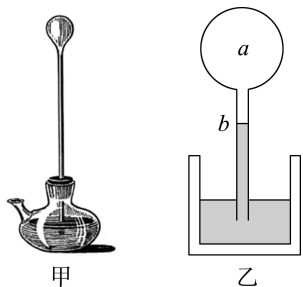
程中不可能实现的是 ()

- A. 先等温膨胀,再等容降温
B. 先等温压缩,再等容降温
C. 先等容升温,再等温压缩
D. 先等容降温,再等温压缩

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.(2025·云南卷)(多选)如图甲所示为 1593 年伽利略发明的人类历史上第一支温度计,其原理如图乙所示。硬质玻璃泡 a 内封有一定质量的气体(可视为理想气体),与 a 相连的 b 管插在水槽中并固定, b 管中液面高度会随环境温度变化而变化。设 b 管的体积与 a 泡的体积相比可忽略不计,在标准大气压 p_0 下,由 b 管上的刻度可以直

接读出环境温度。则在 p_0 下 ()

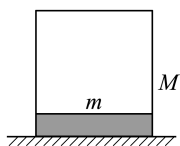


- A. 环境温度升高时, b 管中液面升高
 - B. 环境温度降低时, b 管中液面升高
 - C. 水槽中的水少量蒸发后, 温度测量值偏小
 - D. 水槽中的水少量蒸发后, 温度测量值偏大
- BD 解析:** 根据题意, a 中气体做等容变化, 根据 $\frac{p}{T} = C$, 当环境温度升高, 则 a 中气体压强增大, 又 $p_a + \rho_{液} gh = p_0$, 可知 b 管中液面降低, 同理可知环境温度降低时, b 管中液面升高, 故 B 正确, A 错误; 由上述分析可知, b 管上的刻度从上到下温度逐渐升高, 同一温度, a 中压强不变, b 管中液面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. 一定质量的气体, 在体积不变的条件下, 温度由 0°C 升高到 10°C 时, 压强的增量为 Δp_1 ; 当温度由 100°C 升高到 110°C 时, 压强的增量为 Δp_2 。 Δp_1 与 Δp_2 之比是 ()
- A. 10 : 1
 - B. 373 : 273
 - C. 1 : 1
 - D. 383 : 283

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°C 升高到 10°C 和由 100°C 升高到 110°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. 如图所示, 圆柱形气缸倒置在粗糙的水平地面上, 气缸内被活塞封闭有一定质量的空气。气缸质量为 $M = 10\text{ kg}$, 缸壁厚度不计。活塞质量为 $m = 5\text{ kg}$, 其横截面积 $S = 50\text{ cm}^2$, 与缸壁的摩擦不计, 在缸内气体温度为 27°C 时, 活塞刚好与地面接触并对地面无压力。现设法使缸内气体温度升高, 当缸内气体温度升高到多少摄氏度时, 气缸对地面恰好无压力? (大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5\text{ Pa}$, 取 $g = 10\text{ m/s}^2$)



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

$$p_2 S = p_0 S + Mg$$

$$\text{解得 } p_2 = p_0 + \frac{Mg}{S} = \left(1 \times 10^5 + \frac{10 \times 10}{50 \times 10^{-4}}\right) \text{ Pa} = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

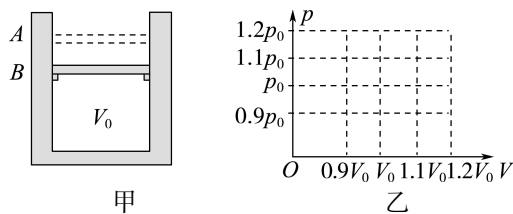
根据等容变化规律有 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$$\text{即 } \frac{0.9 \times 10^5 \text{ Pa}}{300 \text{ K}} = \frac{1.2 \times 10^5 \text{ Pa}}{T_2}$$

解得 $T_2 = 400\text{ K}$, 则 $t = 127^\circ\text{C}$ 。

答案: 127°C

14. 如图甲所示, 竖直放置的气缸内壁光滑, 活塞厚度与质量均不计, 在 B 处设有限制装置, 使活塞只能在 B 以上运动, B 以下气缸的容积为 V_0 , A 、 B 之间的容积为 $0.2V_0$ 。开始时活塞在 A 处, 温度为 87°C , 大气压强为 p_0 。现缓慢降低气缸内气体的温度, 直至活塞移动到 A 、 B 的正中间, 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, 然后再缓慢降低气缸内气体的温度, 直到温度为 -3°C 。



- (1) 求活塞刚到达 B 处时的温度 T_B ;
- (2) 求缸内气体最后的压强 p ;
- (3) 在图乙中画出整个过程的 p - V 图线。

解析: (1) 缓慢降低气缸内气体的温度, 使活塞移动到 A 、 B 的正中间, 此过程是等压过程, 由等压变化规律有 $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V'}{T'}$

$$\text{其中 } V_A = 1.2V_0, T_A = (273 + 87)\text{ K} = 360\text{ K}$$

$$V' = 1.1V_0$$

$$\text{解得 } T' = 330\text{ K}$$

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

$$p'V' = p_B V_B$$

$$\text{其中 } p' = p_0, V' = 1.1V_0, V_B = V_0$$

$$\text{解得 } p_B = 1.1p_0$$

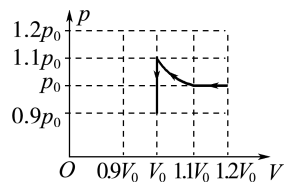
再接下来是等容过程,根据等容变化规律有

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p}{T}$$

$$\text{其中 } T_B = 330 \text{ K}, T = (273 - 3) \text{ K} = 270 \text{ K}$$

$$\text{解得 } p = 0.9p_0.$$

(3)整个过程的 p - V 图线如图所示。



答案:(1)330 K (2)0.9 p_0 (3)见解析图

单元活动构建

单元活动 2 气体实验定律与理想气体状态方程的综合应用

「单元任务」

任务内容	
任务一	气体实验定律与理想气体状态方程的综合应用
任务二	气体状态变化的图像问题
任务三	变质量问题

「任务引导」

资料 1:用打气筒给足球打气时,随着活塞杆下压,会感到越来越吃力,这说明随着气体体积减小,其压强会增大;将压瘪的乒乓球放入热水中,乒乓球会自动复原,说明球内的气体在温度升高时压强也会增大。氦气球升空时,随着高度的增加,球内氦气的压强、温度和体积都在变化。日常生活中的很多现象都在说明:一定质量的气体,其压强、温度、体积三个量之间存在着某种关系。

资料 2:阿伏伽德罗定律

(1)同温同压下,相同体积的任何气体含有相同的分子数,称为阿伏伽德罗定律。

(2)适用范围:理想气体,可以是单一气体,也可以是混合气体,可以是单质气体,也可以是化合物气体。

(3)推论

①同温同压下, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$ (气体体积比等于物质的量之比)。

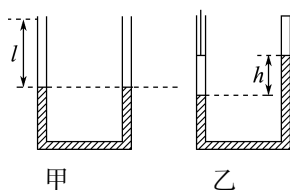
②同温同体积时, $\frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_1}{N_2}$ (气体的压强比等于物质的量之比,也等于分子数之比)。

③同温同压等质量时, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{M_2}{M_1}$ (气体的体积比等于摩尔质量之反比);

④同温同压时, $\frac{M_1}{M_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$ (气体的摩尔质量比等于密度之比)。

任务一 气体实验定律与理想气体状态方程的综合应用

活动 如图甲所示,内径均匀的 U 形管中装入水银,两管中水银面与管口的距离均为 $l = 10.0 \text{ cm}$,大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$,水银密度 $\rho = 13.6 \text{ g/cm}^3$,取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。



(1)将右侧管口封闭,此时被封闭的气体压强为多少?

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

(2)从左侧管口处将一活塞缓慢向下推入管中的过程中,如图乙所示,两部分气体的状态参量如何变化?

提示: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)当左、右两侧水银面的高度差为 $h = 6.0 \text{ cm}$ 时,活塞在管内移动的距离是多少?

提示: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

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

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

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

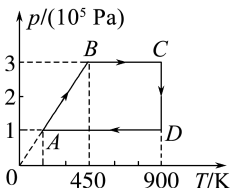
取左侧气柱为研究对象,由等温变化规律得

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

解得 $x \approx 6.4 \text{ cm}$ 。

任务二 气体状态变化的图像问题

活动 如图所示,一定质量的理想气体从状态 A 经状态 B、C、D 再回到状态 A。



(1) 气体在 A→B、B→C、C→D、D→A 过程中分别经历了什么变化?

提示: A→B 为等容变化,压强随温度升高而增大;

B→C 为等压变化,体积随温度升高而增大;

C→D 为等温变化,体积随压强减小而增大;

D→A 为等压变化,体积随温度降低而减小。

(2) 已知气体在状态 A 时的体积是 1 L,则气体在状态 B、C、D 时的体积各为多少?

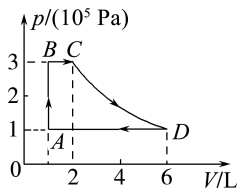
提示: 由题意知 $V_B = V_A = 1 \text{ L}$; 因为 $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$, 所以

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

$$V_D = \frac{p_C}{p_D} V_C = \frac{3}{1} \times 2 \text{ L} = 6 \text{ L}.$$

(3) 试根据问题(2)中的数据,作出该 p-T 图像对应的 p-V 图像。

提示: 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 变质量问题

活动 自热型食品都带有一个发热包,发热包遇到水后温度上升,很容易将食物煮熟,但也存在安全隐患。消防人员对一款自热盒饭进行演示时,盒内气体初始

压强与外部大气压强 p_0 相同,盒内温度为 $27 \text{ }^\circ\text{C}$,饭盒密封性良好,气体可视为理想气体。

(1) 消防人员把透气孔堵住,卡住盒盖,拉开盒内塑料胶条,将水袋弄破,使发热包均匀散热。当盒内气体温度升高到 $107 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,饭盒膨胀,容积变为原容积的 $\frac{10}{9}$,则此时饭盒内气体的压强为多少?

提示: 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) 消防人员表示,如果继续把透气孔堵住,盒子就极有可能会爆炸,于是迅速打开透气孔放出部分气体,使得饭盒内气体的压强与外界大气压强相等。设放气的短时间内饭盒内气体的温度和饭盒膨胀后的容积保持不变。求放出的气体与饭盒内所留气体的质量之比(不考虑水蒸气)。

提示: 根据等温变化规律有

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

$$\text{解得 } \Delta V = \frac{7}{45} V_0$$

因为同种气体在相同压强和相同温度下密度相等,即

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

$$= \frac{7}{50}$$

「知识链接」

1. 应用理想气体状态方程解题的一般思路

(1) 弄清题意,确定研究对象。一般来说,研究对象分两类:一类是热学研究对象(一定质量的理想气体);另一类是力学研究对象(气缸、活塞或液柱)。

(2) 分析清楚题目所述的物理过程。对热学研究对象分析清楚初、末状态及状态变化过程,根据气体实验定律列出方程;对力学研究对象要正确地进行受力分析,根据力学规律列出方程。

(3) 注意挖掘题目中的隐含条件,如几何关系等,列出辅助方程。

(4) 多个方程联立求解。对求解的结果注意检验它们的合理性。

2. 两部分气体的问题

(1) 对每一部分气体来讲,独立满足 $\frac{pV}{T} = C$ 。

(2) 两部分气体往往存在一定的联系,如压强关系、体积关系,列出关联方程即可。

3. 常见气体状态变化的图像

名称	图像	特点
等温线		$pV = CT$ (C 为常量), 即 pV 越大的等温线对应的温度越高, 离原点越远
		$p = \frac{CT}{V}$, 斜率 $k = CT$, 即斜率越大的等温线对应的温度越高
等容线		$p = \frac{C}{V}T$, 斜率 $k = \frac{C}{V}$, 即斜率越大, 对应的体积越小
		图线的延长线均过点 $(-273.15, 0)$, 斜率越大, 对应的体积越小
等压线		$V = \frac{C}{p}T$, 斜率 $k = \frac{C}{p}$, 即斜率越大, 对应的压强越小
		V 与 t 呈线性关系, 但不成正比, 图线延长线均过点 $(-273.15, 0)$, 斜率越大, 对应的压强越小

4. 变质量问题的处理方法

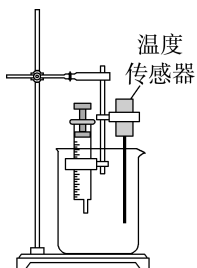
(1) 充气问题: 向球、轮胎等封闭容器中充气是一个典型的变质量问题。只要选择容器内原有气体和即将打入的气体作为研究对象, 就可以把充气过程中的气体质量变化问题转化为定质量问题。

(2) 抽(漏)气问题: 从容器内抽(漏)气的过程中, 容器内的气体质量不断减小, 这属于变质量问题。分析时, 将每次抽(漏)出的气体和剩余气体作为研究对象, 可把抽(漏)气过程中的气体质量变化问题转化为定质量问题。

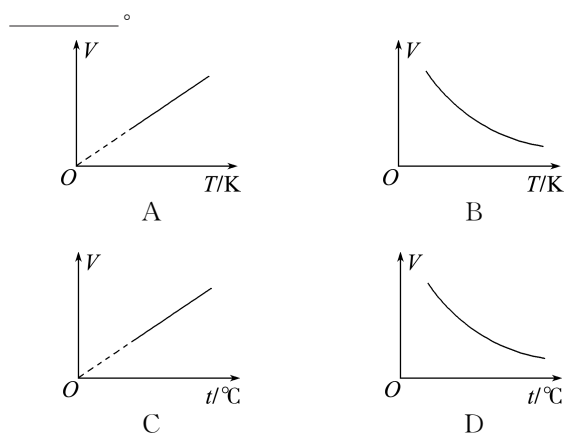
(3) 分装问题: 将一个大容器里的气体分装到多个小容器中的问题也是一个典型的变质量问题。分析这类问题时, 可以把大容器中的气体和多个小容器中的气体看成整体来作为研究对象, 可将变质量问题转化为定质量问题。

「活动达标」

1. (2025·上海卷) 验证气体体积随温度变化关系的实验装置如图所示, 用支架将封有一定质量气体的注射器和温度传感器固定在盛有热水的烧杯中。实验过程中, 随着水温的缓慢下降, 记录多组气体温度和体积的数据。



(1) 不考虑漏气因素, 下列符合理论预期的图线是 _____。



(2) 下列有助于减小实验误差的操作是 _____。

- A. 实验前测量并记录环境温度
- B. 实验前测量并记录大气压强
- C. 待温度读数完全稳定后才记录数据
- D. 测量过程中保持水面高于活塞下端

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

$$\frac{pV}{t+273 \text{ K}} = C, \text{ 可得 } V = \frac{C}{p}T = \frac{C}{p}(t+273 \text{ K}), \text{ 可知}$$

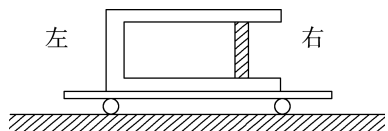
在压强不变的情况下, 气体体积与热力学温度成正比, 与摄氏温度成一次函数关系(不过原点), 故 A 正确。

(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.如图所示,一气缸水平固定在静止的小车上,一质量为 m 、面积为 S 的活塞将一定质量的理想气体封闭在气缸内,平衡时活塞与气缸底相距 L 。现让小车以一较小的水平恒定加速度向右运动,稳定时发现活塞相对于气缸移动了距离 d 。已知大气压强为 p_0 ,不计气缸和活塞间的摩擦,且小车运动时,大气对活塞的压强仍可视作 p_0 ,整个过程温度保持不变。求小车的加速度大小。



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 $F_1=p_1S$ 、 $F_0=p_0S$

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

$$p_1V_1=p_0V$$

式中 $V=SL$, $V_1=S(L-d)$

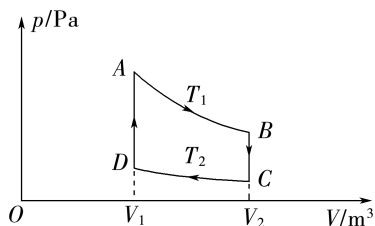
$$\text{联立各式得 } a = \frac{p_0 S d}{m(L-d)}$$

答案: $\frac{p_0 S d}{m(L-d)}$

- 3.(2024·江西卷)可逆斯特林热机的工作循环如图所示。一定质量的理想气体经 ABCDA 完成循环过程,AB 和 CD 均为等温过程,BC 和 DA 均为等容过程。已知 $T_1=1\ 200\text{ K}$, $T_2=300\text{ K}$,气体在状态 A 的压强 $p_A=8.0\times 10^5\text{ Pa}$,体积 $V_1=1.0\text{ m}^3$,气体在状态 C 的压强 $p_C=1.0\times 10^5\text{ Pa}$ 。求:

(1)气体在状态 D 的压强 p_D ;

(2)气体在状态 B 的体积 V_2 。



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

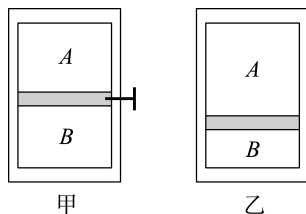
$$p_C V_2 = p_D V_1$$

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 m^3

- 4.如图甲所示,一竖直导热气缸静置于水平桌面,用销钉固定的导热活塞将气缸分隔成 A、B 两部分,每部分都密闭有一定质量的理想气体。此时 A、B 两部分气体体积相等,压强之比为 2:3。拔去销钉,稳定后 A、B 两部分气体体积之比为 2:1,如图乙所示。已知活塞的质量为 m ,横截面积为 S ,重力加速度为 g ,外界温度保持不变,不计活塞和气缸间的摩擦,整个过程不漏气。求稳定后 B 部分气体的压强。



解析:设气缸总容积为 V

$$\text{初状态 } \frac{p_A}{p_B} = \frac{2}{3}$$

$$\text{最终平衡时 } p'_B = p'_A + \frac{mg}{S}$$

根据等温变化规律可得

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

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

$$\text{联立解得 } p'_B = \frac{3mg}{2S}$$

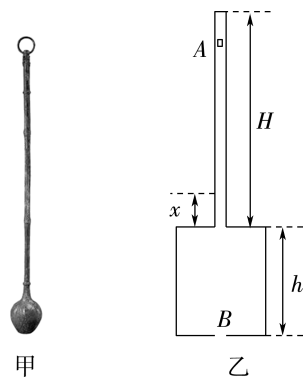
答案: $\frac{3mg}{2S}$

- 5.(2024·山东卷)图甲为战国时期的青铜汲酒器,根据其原理制作出了由中空圆柱形长柄和储液罐组成的汲液器,其示意图如图乙所示。长柄顶部封闭,横截面积 $S_1=1.0\text{ cm}^2$,长度 $H=100.0\text{ cm}$,侧壁有一小孔 A。储液罐的横截面积 $S_2=90.0\text{ cm}^2$,高度 $h=20.0\text{ cm}$,罐底有一小孔 B。汲液时,将汲

液器竖直浸入液体,液体从孔 B 进入,空气由孔 A 排出;当内外液面相平时,长柄浸入液面部分的长度为 x ;堵住孔 A,缓慢地将汲液器竖直提出液面,储液罐内刚好储满液体。已知液体密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,重力加速度大小 g 取 10 m/s^2 ,大气压 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。整个过程温度保持不变,空气可视为理想气体,忽略器壁厚度。

(1)求 x ;

(2)松开孔 A,从外界进入压强为 p_0 、体积为 V 的空气,使满储液罐中液体缓缓流出,然后堵住孔 A,稳定后罐中恰好剩余一半的液体,求 V 。



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 $p_1(H-x)S_1 = p_2HS_1$

根据题意可知 $p_1 = p_0, p_2 + \rho gh = p_0$

联立解得 $x = 2 \text{ cm}$ 。

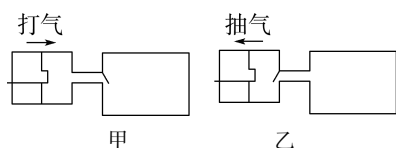
(2)对新进入的气体和原有的气体整体分析,由气体等温变化规律有 $p_0V + p_2HS_1 = p_3(HS_1 + \frac{h}{2}S_2)$

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

- 6.一只两用活塞气筒的原理如图所示(打气时如图甲所示,抽气时如图乙所示),其筒内容积为 V_0 。现将它与另一只容积为 V 的容器相连接,气筒和容器内的空气压强均为 p_0 。已知气筒和容器导热性良好。当分别作为打气筒和抽气筒时,活塞工作 n 次后,在上述两种情况下,容器内的气体压强分别为多少?



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 $p_1V = p_2(V+V_0)$

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

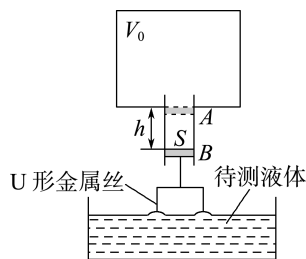
则第 n 次抽气后有 $p_n = \left(\frac{V}{V+V_0}\right)^n p_0$ 。

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

- 7.如图所示,小赞同学设计了一个液体拉力测量仪。一个容积 $V_0 = 9.9 \text{ L}$ 的导热气缸下接一圆管,用质量 $m_1 = 90 \text{ g}$ 、横截面积 $S = 10 \text{ cm}^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体,活塞与圆管壁间摩擦不计。活塞下端用轻质细绳悬挂一质量 $m_2 = 10 \text{ g}$ 的 U 形金属丝,活塞刚好处于 A 位置。将金属丝部分浸入待测液体中,缓慢升起气缸,使金属丝从液体中拉出,活塞在圆管中的最低位置为 B。已知 A、B 间距离 $h = 10 \text{ cm}$,外界大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$,取 $g = 10 \text{ N/kg}$,环境温度保持不变。求:

(1)活塞处于 A 位置时,气缸中的气体压强 p_1 。

(2)活塞处于 B 位置时,液体对金属丝的拉力 F 的大小。



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

$$p_1 V_0 = p_2 (V_0 + Sh)$$

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

$$p_0 S = p_2 S + (m_1 + m_2)g + F$$

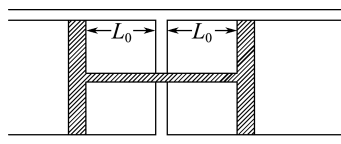
联立解得 $F = 1 \text{ N}$ 。

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

8.水平放置的气体阻尼器模型截面如图所示,气缸中间有一固定隔板,将气缸内一定质量的某种理想气体分为两部分,“H”形连杆活塞的刚性连杆从隔板中央圆孔穿过,连杆与隔板之间密封良好。设气缸内、外压强均为大气压强 p_0 ,活塞面积为 S ,隔板两侧气体体积均为 SL_0 ,各接触面光滑,连杆的截面积忽略不计。现将整个装置缓慢旋转至竖直方向,稳定后,上部气体的体积为原来的 $\frac{1}{2}$ 。设整个过程温度保持不变。求:

(1)此时上、下部分气体的压强。

(2)“H”形连杆活塞的质量(重力加速度大小为 g)。



解析:(1)旋转前后,上部分气体发生等温变化,根

$$p_0 \cdot SL_0 = p_1 \cdot \frac{1}{2}SL_0$$

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

体积增大为 $\frac{1}{2}SL_0 + SL_0 = \frac{3}{2}SL_0$,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

$$p_1 S = mg + p_2 S$$

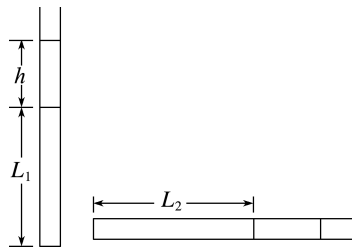
解得活塞的质量为 $m = \frac{4p_0 S}{3g}$ 。

答案:(1) $2p_0$ $\frac{2}{3}p_0$ (2) $\frac{4p_0 S}{3g}$

9.(2025·湖南卷)用热力学方法可以测量重力加速度。如图所示,粗细均匀的细管开口向上竖直放置,管内用液柱封闭了一段长度为 L_1 的空气柱。液柱长为 h ,密度为 ρ 。缓慢旋转细管至水平,封闭空气柱长度变为 L_2 。大气压强为 p_0 。

(1)若整个过程中温度不变,求重力加速度 g 的大小。

(2)考虑到实验测量中存在各类误差,需要在不同实验参数下进行多次测量,如不同的液柱长度、空气柱长度、温度等。某次实验测量数据如下:液柱长 $h = 0.2000 \text{ m}$,细管开口向上竖直放置时空气柱温度 $T_1 = 305.7 \text{ K}$,水平放置时调控空气柱温度,当空气柱温度 $T_2 = 300.0 \text{ K}$ 时,空气柱长度与竖直放置时相同。已知 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。根据该组实验数据,求重力加速度 g 的值。



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 $p_1 L_1 S = p_2 L_2 S$

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

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

代入数据可得 $g = 9.5 \text{ m/s}^2$ 。

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

(2) 9.5 m/s^2

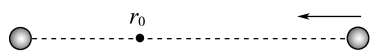
章末质量评估(一)

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1.下列关于分子间作用力和分子势能的说法正确的是

(C)



- A. 分子间距离大于 r_0 时,分子间作用力表现为斥力
 B. 分子从无限远靠近到距离 r_0 处过程中,分子势能变大
 C. 分子势能在 r_0 处最小
 D. 在分子间距离小于 r_0 且不断减小的过程中,分子势能减小

2.一滴红墨水滴在一杯清水中,最后清水变红,这个现象说明

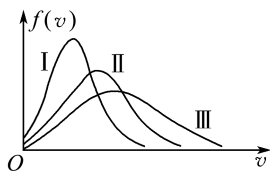
()

- A. 物体是由分子组成的
 B. 分子不停地做无规则运动
 C. 分子能够用肉眼看到
 D. 分子间存在相互作用力

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.某种气体在不同温度下的气体分子速率分布曲线如图所示,图中 $f(v)$ 表示分子速率为 v 时的分子数,三条曲线所对应的温度分别为 T_I 、 T_{II} 、 T_{III} ,则

()



- A. $T_I > T_{II} > T_{III}$
 B. $T_{III} > T_{II} > T_I$
 C. $T_{II} > T_I, T_{II} > T_{III}$
 D. $T_I = T_{II} = T_{III}$

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.下列说法错误的是

()

- A. 单晶体具有天然规则的几何形状,是因为物质微粒是规则排列的
 B. 有的物质能够形成种类不同的几种晶体,是因为它们的物质微粒能够形成不同的空间结构
 C. 凡具有各向同性的物质一定是非晶体
 D. 晶体的各向异性是由晶体的内部结构决定的

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.下列说法正确的是

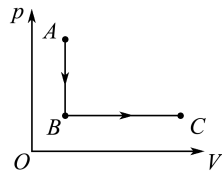
()

- A. 表面张力就是分子间作用力
 B. 液体的表面张力与液体表面垂直
 C. 表面张力的方向与液面上的分界线平行
 D. 表面张力使液体的表面有收缩的趋势

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.如图所示是一定质量理想气体的压强 p 与体积 V 的关系图像,它由状态 A 经等容过程变化到状态 B,再经等压过程变化到状态 C。设 A、B、C 状态对应的温度分别为 T_A 、 T_B 、 T_C ,则下列关系式正确的是

()



- A. $T_A < T_B, T_B < T_C$
 B. $T_A > T_B, T_B = T_C$
 C. $T_A > T_B, T_B < T_C$
 D. $T_A = T_B, T_B > T_C$

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。

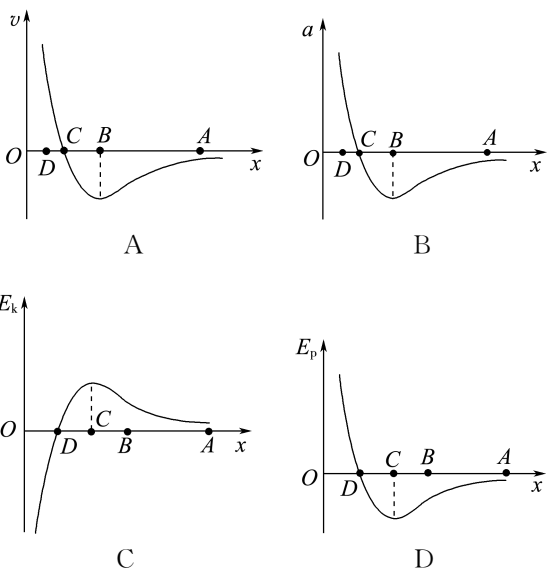
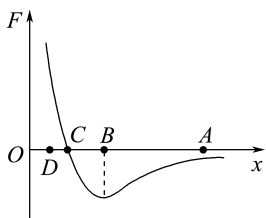
7.用打气筒将压强为 1×10^5 Pa 的空气打进自行车车胎内,如果打气筒容积 $\Delta V = 500$ mL,轮胎容积 $V = 3$ L,原来压强 $p = 1.5 \times 10^5$ Pa。现要使轮胎内压强变为 $p' = 4 \times 10^5$ Pa,则用该打气筒打气的次数为(设打气过程中空气的温度不变) ()

- A. 5 次
- B. 10 次
- C. 15 次
- D. 20 次

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。

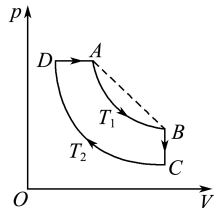
二、多项选择题:本题共 3 小题,每小题 6 分,共 18 分。每小题有多项是符合题目要求的。全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

8.如图所示,甲分子固定在坐标原点 O,乙分子位于 x 轴上,甲分子对乙分子的作用力与两分子间距离的关系如图中曲线所示。 $F > 0$ 表示斥力, $F < 0$ 表示引力,A、B、C、D 为 x 轴上四个特定的位置。现把乙分子从 A 处由静止释放,下列图像分别表示乙分子的速度、加速度、动能、势能与两分子间距离的关系,其中可能正确的是



9.如图所示是一定质量的理想气体的 p - V 图像,气体状态沿 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 完成一次循环, $A \rightarrow B$ (图中实线)和 $C \rightarrow D$ 均为等温过程,温度分别为

T_1 和 T_2 。下列判断正确的是 ()



- A. $T_1 > T_2$
- B. 气体压强的大小跟气体分子的平均动能、分子的数密度有关
- C. 若气体状态沿图中虚线 $A \rightarrow B$,则气体的温度先降低后升高
- D. 从微观角度讲, $B \rightarrow C$ 过程压强降低是由分子的数密度减小引起的

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 $A \rightarrow B$,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; $B \rightarrow C$ 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.下列说法正确的是 ()

- A. 液晶显示器利用液晶的光学各向异性显示不同颜色
- B. 扩散现象、布朗运动都反映分子在做无规则的热运动
- C. 气体温度升高时,气体热运动变得剧烈,气体的压强一定增大
- D. 若表面层的液体分子比液体内部的分子分布稀疏,则液体和固体之间表现为浸润

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。

三、非选择题:本题共5小题,共54分。其中第13~15小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤;有数值计算时,答案中必须明确写出数值和单位。

11.(10分)“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验的方法及步骤如下:

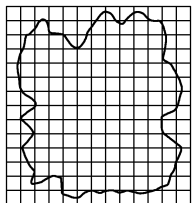
①向体积 $V_{\text{油}} = 1 \text{ mL}$ 的油酸中加酒精,直至总体积达到 $V_{\text{总}} = 500 \text{ mL}$;

②用注射器吸取①中的油酸酒精溶液,把它一滴一滴地滴入小量筒中,当滴入 $n = 100$ 滴时,测得其体积恰好是 $V_0 = 1 \text{ mL}$;

③先往边长为 $30 \sim 40 \text{ cm}$ 的浅盘里倒入 2 cm 深的水,然后将_____均匀地撒在水面上;

④用注射器往水面上滴一滴油酸酒精溶液,待油酸在水面上尽可能散开后,将事先准备好的带方格的玻璃板放在浅盘上,并在玻璃板上描下油膜的轮廓;

⑤将画有油膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上,如图所示。数出轮廓范围内小方格的个数 N ,已知小方格的边长 $l = 20 \text{ mm}$ 。



根据以上信息,回答下列问题:

(1)步骤③中横线上应填写_____。

(2)一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V' 是_____ mL。

(3)油酸分子的直径是_____ m。

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

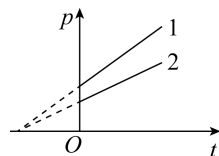
$$V' = \frac{V_0}{n} \times \frac{V_{\text{油}}}{V_{\text{总}}} = \frac{1}{100} \times \frac{1}{500} \text{ mL} = 2 \times 10^{-5} \text{ mL}.$$

(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) 2×10^{-5} (3) 4.3×10^{-10}

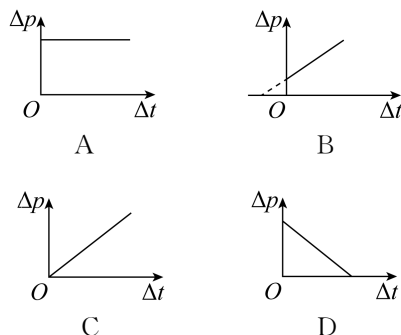
12.(10分)在发现查理定律时,尚未建立热力学温标,因此在查理定律的原始表述中采用的是摄氏温标。如图所示为两同学研究相同质量的同种气体做等容变化的规律时得到的 $p-t$ 图像。



(1)图线与横轴交点的横坐标表示_____。

(2)图中1、2两图线斜率不同的原因是_____。

(3)气体做等容变化的过程中,压强的变化量为 Δp ,温度的变化量为 Δt ,则下列 $\Delta p-\Delta t$ 图像正确的是_____。



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 $\Delta T =$

Δt ,得 $\Delta p = \frac{p}{T} \Delta t = C \Delta t$,即 Δp 与 Δt 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.(10分)在某高速公路上发生一起车祸,车祸系爆胎所致。已知汽车行驶前轮胎内气体压强为 $2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$,温度为 $27 \text{ }^\circ\text{C}$,爆胎时轮胎内气体的温度为 $87 \text{ }^\circ\text{C}$ 。轮胎中的空气可看成理想气体,该过程中轮胎内气体的体积基本不变。

(1)求爆胎时轮胎内气体的压强;

(2)从微观角度解释爆胎前轮胎内压强变化的原因。

解析:(1)气体做等容变化,由等容变化规律得

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\text{其中 } T_1 = t_1 + 273 \text{ K} = 300 \text{ K}$$

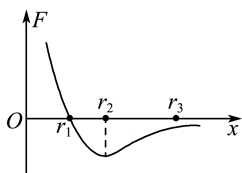
$$T_2 = t_2 + 273 \text{ K} = 360 \text{ K}$$

$$\text{解得 } p_2 = 3 \times 10^5 \text{ Pa.}$$

(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) $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ (2)见解析

- 14.(10分)将甲分子固定在坐标原点 O ,乙分子位于 x 轴上,甲、乙分子间作用力与距离的关系图像如图所示。若质量为 $m = 1 \times 10^{-26} \text{ kg}$ 的乙分子仅在分子间作用力下,从 r_3 ($r_3 = 12d$, d 为分子直径)处以 $v = 100 \text{ m/s}$ 的速度沿 x 轴负方向向甲分子飞来,则乙分子在运动过程中能达到的最大分子势能为多少?(选取无穷远处分子势能为0)



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

$$E_{\text{pm}} = -\Delta E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-26} \times 100^2 \text{ J} = 5 \times 10^{-23} \text{ J.}$$

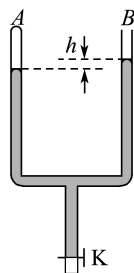
答案: $5 \times 10^{-23} \text{ J}$

- 15.(14分)如图所示,一粗细均匀的U形管竖直放置,A侧上端封闭,B侧上端与大气相通,下端开

口处开关K关闭;A侧空气柱的长度为 $l = 10.0 \text{ cm}$,B侧水银面比A侧的高 $h = 3.0 \text{ cm}$ 。现将开关K打开,从U形管中放出部分水银,当两侧水银面的高度差为 $h_1 = 10.0 \text{ cm}$ 时,将开关K关闭。已知 $\rho_{\text{水银}} = 13.6 \text{ g/cm}^3$,取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$,大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。

(1)求放出部分水银后A侧空气柱的长度。

(2)此后再向B侧注入水银,使A、B两侧的水银液面达到同一高度。求注入的水银在管内的长度。



解析:(1)设U形管横截面积为 S ,A侧空气柱长度 $l = 10.0 \text{ cm}$ 时的压强为 p ;当两侧水银面的高度差为 $h_1 = 10.0 \text{ cm}$ 时,空气柱的长度为 l_1 ,压强为 p_1

$$\text{由等温变化规律得 } p l S = p_1 l_1 S$$

$$p_h = \rho_{\text{水银}} g h, p_{h_1} = \rho_{\text{水银}} g h_1$$

$$\text{由力学平衡条件得 } p = p_0 + p_h, p_1 = p_0 - p_{h_1}$$

联立以上各式,并代入题给数据得 $l_1 \approx 12.0 \text{ cm}$ 。

(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 。

$$\text{由等温变化规律得 } p l S = p_2 l_2 S$$

$$\text{由力学平衡条件有 } p_2 = p_0$$

$$\text{代入数据得 } l_2 \approx 10.4 \text{ cm}$$

设注入的水银在管内的长度为 Δh ,依题意得

$$\Delta h = 2(l_1 - l_2) + h_1$$

$$\text{解得 } \Delta h = 13.2 \text{ cm.}$$

答案:(1) 12.0 cm (2) 13.2 cm

第三章

热力学定律

1 热力学第一定律

2 能量守恒定律

学习任务目标

1. 知道绝热过程的含义, 知道热力学第一定律及其符号法则。(物理观念)
2. 了解能量守恒定律及永动机不可能制成。(物理观念)
3. 理解热力学第一定律的公式并能进行相关的分析计算, 能根据能量守恒定律解释永动机不可能制成的原因。(科学思维)

问题式预习

知识点一 热力学第一定律和第一类永动机不可能制成

1. 绝热过程: 系统与外界之间没有热量交换, 只是通过外界做功的方式与外界交换能量的过程。
2. 功和内能的关系: 在绝热过程中, 系统内能的增加量等于外界对系统做的功, 即 $\Delta U = W$ 。若系统对外界做功, 则 W 取负值, ΔU 也为负值, 表示内能减少。
3. 热量与内能的关系: 在外界没有对系统做功的过程中, 系统内能的增加量 ΔU 等于系统从外界吸收的热量 Q , 即 $\Delta U = Q$ 。若系统向外界放热, 这时 Q 取负值, ΔU 为负值, 表示内能减少。
4. 热力学第一定律
 - (1) 内容: 一个热力学系统的内能变化量等于系统从外界吸收的热量 Q 与外界对系统所做的功的和。
 - (2) 表达式: $\Delta U = Q + W$ 。
5. 第一类永动机不可能制成
 - (1) 第一类永动机: 把不需要任何动力和燃料、能持续不断地对外做功的机器, 称为第一类永动机。
 - (2) 第一类永动机违背了热力学第一定律, 故它是不可能制成的。热力学第一定律又表述为第一类永动机是不可能制成的。

[科学思维]

热力学第一定律表达式

$$\Delta U = W + Q$$

做功 \uparrow 正值表示外界对系统做功, 负值表示系统对外界做功
 内能的改变量, 正值表示增加, 负值表示减少 \downarrow
 热量, 正值表示系统吸热, 负值表示系统散热

[判一判]

1. 物体与外界不发生热交换, 物体的内能也可能增加。 (\checkmark)
2. 外界对系统做功, 系统的内能不一定增加。 (\checkmark)
3. 系统从外界吸收 5 J 热量, 系统的内能一定增加了 5 J。 (\times)
4. 系统对外界做功, 内能一定减少。 (\times)

知识点二 能量守恒定律

1. 能量守恒定律的发现与确立

迈尔提出了能量守恒的观点; 焦耳测定了热与功的定量关系; 1847 年, 亥姆霍兹建立了能量守恒定律的数学表达式。

2. 能量守恒定律的表述

能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式转化为另一种形式, 或者从一个物体转移到另一个物体, 在转化或转移的过程中, 能量的总量保持不变。

[科学思维]

热力学第一定律和能量守恒定律间有什么关系?

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]

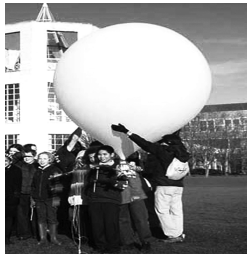
1. 运动的物体在阻力作用下会停下来, 说明机械能凭空消失了。 (\times)
2. 不需要任何动力或燃料, 却能不断地对外做功的机器经过科学实验是可以研制出来的。 (\times)
3. 在能源的利用过程中, 能量在数量上并未减少。 (\checkmark)
4. 人类在不断地开发和利用新能源, 所以能量可以被创造。 (\times)

任务型课堂

任务一 热力学第一定律及其应用

[探究活动]

如图所示,气象探测气球内充有常温常压的氦气,从地面上升至某高空的过程中,气球内氦气的压强随外部气压减小而逐渐减小,其温度因启动加热装置而保持不变,高空气温为 $-7.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,气球内氦气可视为理想气体。若在此高空,关闭加热装置后:



(1)氦气对外界做功还是外界对氦气做功?

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

(2)氦气吸热还是放热?

提示: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.(2025·重庆卷)运输易碎物品时常采用缓冲气袋减小运输中冲击。若某次撞击过程中,气袋被压缩(无破损),不计袋内气体与外界的热交换,则该过程中袋内气体(视为理想气体) ()

- A. 分子热运动的平均动能增加
- B. 内能减小
- C. 压强减小
- D. 对外界做正功

A 解析:气袋被压缩且绝热(无热交换),袋内气体可视为理想气体。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。

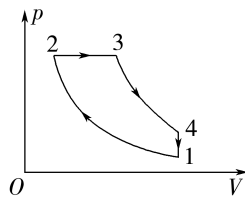
2.一定质量的气体膨胀对外界做功 100 J,同时对外放热 40 J,气体内能的变化量 ΔU 是 ()

- A. 60 J
- B. -60 J
- C. -140 J
- D. 140 J

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。

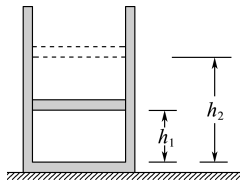
3.(2024·新课标卷)(多选)如图,一定质量的理想气体的循环由下面四个过程组成:1→2 为绝热过程(过程中气体不与外界交换热量),2→3 为等压过程,3→4 为绝热过程,4→1 为等容过程。上述四个过程是四冲程柴油机工作循环的主要过程。下列说法正确的是 ()



- A. 1→2 过程中,气体内能增加
- B. 2→3 过程中,气体向外放热
- C. 3→4 过程中,气体内能不变
- D. 4→1 过程中,气体向外放热

AD 解析:1→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→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→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→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.(多选)如图所示,用轻质活塞在气缸内封闭一定质量的理想气体,活塞与气缸壁间的摩擦忽略不计。开始时活塞距离气缸底的高度 $h_1 = 0.5\text{ m}$,给气缸加热,活塞缓慢上升到距离气缸底的高度 $h_2 = 0.8\text{ m}$ 处,此过程中缸内气体吸收 $Q = 450\text{ J}$ 的热量。已知活塞的横截面积 $S = 5 \times 10^{-3}\text{ m}^2$,大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5\text{ Pa}$,那么 ()

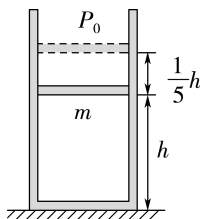


- A. 气缸内的气体对活塞所做的功为 100 J
 B. 气缸内的气体对活塞所做的功为 150 J
 C. 此过程中气缸内的气体增加的内能为 300 J
 D. 此过程中气缸内的气体增加的内能为 200 J

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. (2024 · 湖北卷) 如图所示,在竖直放置、开口向上的圆柱形容器内用质量为 m 的活塞密封一部分理想气体,活塞横截面积为 S ,能无摩擦地滑动。初始时容器内气体的温度为 T_0 ,气柱的高度为 h 。当容器内气体从外界吸收一定热量后,活塞缓慢上升 $\frac{1}{5}h$ 再次平衡。已知容器内气体内能变化量 ΔU 与温度变化量 ΔT 的关系式为 $\Delta U = C\Delta T$, C 为已知常量,大气压强恒为 p_0 ,重力加速度大小为 g ,所有温度为热力学温度。求:

- (1) 再次平衡时容器内气体的温度。
 (2) 此过程中容器内气体吸收的热量。



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 $\Delta U = Q + W$

$$\text{其中 } \Delta U = C(T - T_0)$$

$$W = -(mg + p_0 S) \frac{1}{5}h$$

$$\text{联立解得 } Q = \frac{1}{5}(CT_0 + mgh + p_0 Sh)。$$

$$\text{答案: (1) } \frac{6}{5}T_0 \quad (2) \frac{1}{5}(CT_0 + mgh + p_0 Sh)$$

任务总结

1. 热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$

(1) 符号法则

符号	W	Q	ΔU
+	外界对系统做功	系统吸收热量	内能增加
-	系统对外界做功	系统放出热量	内能减小

(2) 三种特殊情况

过程	含义	内能变化	物理意义
绝热	$Q = 0$	$\Delta U = W$	外界对系统做的功等于系统内能的增加量
等容	$W = 0$	$\Delta U = Q$	系统吸收的热量等于系统内能的增加量
等温	$\Delta U = 0$	$W = -Q$	外界对系统做的功,等于系统放出的热量

2. 应用热力学第一定律解题的思路与步骤

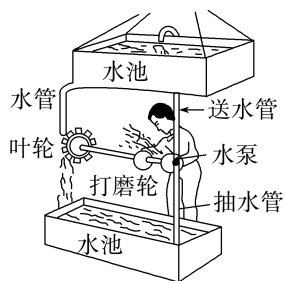
- 首先应明确研究对象是哪个物体或者是哪个热力学系统。
- 分别列出物体(或系统)吸收或放出的热量;外界对物体(或系统)所做的功或物体(或系统)对外界所做的功。
- 根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$ 列出方程进行求解。
- 要特别注意物理量的正负号及其物理意义。

3. 第一类永动机是不可能制成的,因为它违背了热力学第一定律;热力学第一定律也可以表述为“第一类永动机是不可能制成的”。

任务二 能量守恒定律

[探究活动]

如图所示,展示了一个极具想象力的设想,上面水池中的水流下来,冲击叶轮转动;叶轮带动打磨轮和水泵的轴转动;人利用打磨轮打磨工件,同时,运转的水泵又把流到下面水池中的水抽到上面的水池中……只要一开始在上面水池中注满水,就能通过水的上下循环,使机器不停地工作。这个设想曾得到不少人的赞许,并把这个装置誉为“永动机”。

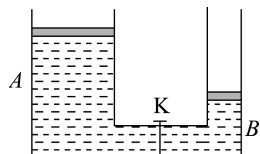


请运用你掌握的知识,说明这个装置是否真能“永动”。

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.如图所示的容器中,A、B管中各有一个可自由移动的轻质活塞,活塞下面是水,上面是大气,大气压恒定。A、B的底部由带阀门K的管道相连,整个装置与外界绝热。原先A中水面比B中的高,打开阀门,使A中的水逐渐向B中流动,最后达到平衡,在这个过程中 ()



- A. 大气压对水做功,水的内能增加
- B. 水克服大气压做功,水的内能减少
- C. 大气压对水不做功,水的内能不变
- D. 大气压对水不做功,水的内能增加

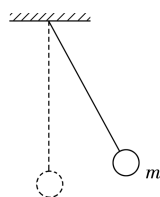
D 解析:打开阀门K,由于水的重力作用,A中的水逐渐流向B中,运动一段时间后达到平衡状态,A和B中的水面静止在同一高度上。A中水面下降 h_A ,B中水面上升 h_B 。相当于A管中 $S_A h_A$ 体积的水移到B管,且 $S_A h_A = S_B h_B$,这部分水的重心降低,重力对水做正功,重力势能减少;大气压对A管中的水做正功,对B管中的水做负功,所以,大气压力对水做的总功为 $p_0 S_A h_A - p_0 S_B h_B$,因为 $S_A h_A = S_B h_B$,所以大气压对水做的总功为0,又由于系统绝热,与外界没有热交换,只有水的重力做功,由能量守恒知重力势能转化为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

2.(多选)下列关于第一类永动机的说法正确的是 ()

- A. 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
- B. 第一类永动机终究有一天能够制成
- C. 第一类永动机不能制成的原因是技术问题
- D. 第一类永动机不能制成的原因是违背了能量守恒定律

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。

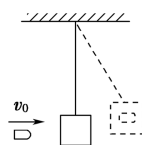
3.(多选)如图所示,细绳一端固定在天花板上,另一端拴一质量为 m 的小球,使小球在竖直平面内摆动,经过一段时间后,小球停止摆动。下列说法正确的是 ()



- A. 小球的机械能不守恒
- B. 小球的能量正在消失
- C. 小球摆动过程中,只有动能和重力势能在相互转化
- D. 总能量守恒,但小球的机械能减少

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.如图所示为冲击摆实验装置示意图,一质量为 m 的子弹以 v_0 射入质量为 M 的沙箱后与沙箱合为一体,共同摆起一定高度 h ,则整个过程中子弹和沙箱由于相互作用所产生的内能为多少?(不计空气阻力)



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

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

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

答案: $\frac{1}{2}mv_0^2 - (M+m)gh$

任务总结

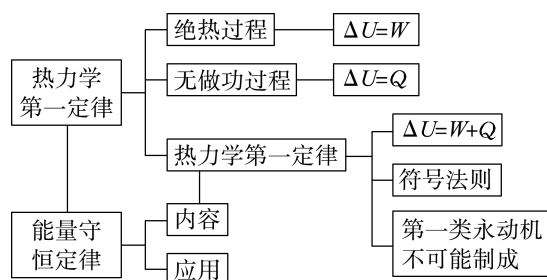
1. 能量的存在形式及相互转化

(1) 各种运动形式都有对应的能:机械运动有机械能,分子的热运动有分子动能,还有诸如电磁能、化学能、原子能等。

(2) 各种形式的能通过某种力做功可以相互转化。例如:利用电炉取暖或烧水,电能转化为内能;煤燃烧时,化学能转化为内能;列车刹车后,轮子温度升高,机械能转化为内能。

2. 与某种运动形式对应的能是否守恒是有条件的,例如:物体的机械能守恒,必须满足只有重力或系统内弹力做功;而能量守恒是没有条件的,它是一切自然现象都遵循的基本规律。

► 提质归纳



课后素养评价(十一)

基础性·能力运用

知识点 1 热力学第一定律

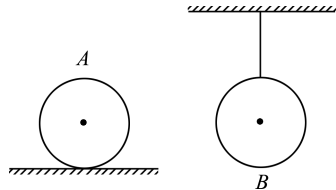
1. (多选)关于物体内能的变化情况,下列说法正确的是 ()

- A. 吸热的物体,其内能一定增加
- B. 体积膨胀的物体,其内能一定减少
- C. 放热的物体,其内能也可能增加
- D. 被压缩的绝热气体,其内能一定增加

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. 如图所示,A、B 是两个完全相同的铁球,A 放在绝热板上,B 用绝热绳悬挂,现只让它们吸收热量,当它们升高相同的温度时,它们所吸收的热量分别为 Q_A 、 Q_B ,则 ()

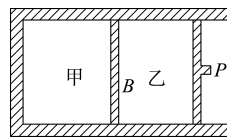
- A. $Q_A = Q_B$
- B. $Q_A < Q_B$
- C. $Q_A > Q_B$
- D. 无法确定 Q_A 、 Q_B 的大小



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 ΔU 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. 如图所示,固定气缸及可动活塞 P 都是绝热的,中间有一导热的固定隔板 B, B 的两边分别盛有气体甲和乙。现将活塞 P 缓慢地向 B 移动一段距离,已知气体的温度随其内能的增加而升高,则在移动 P 的过程中 ()



- A. 外力对乙做功,甲的内能不变
- B. 外力对乙做功,乙的内能不变
- C. 乙传递热量给甲,乙的内能增加
- D. 乙的内能增加,甲的内能不变

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。

知识点 2 能量守恒定律

4. 下列对能量守恒定律的认识不正确的是 ()

- A. 某种形式的能量减少, 一定存在其他形式的能量增加
 B. 某个物体的能量减少, 必然有其他物体的能量增加
 C. 不需要任何外界的动力而持续对外做功的机器——永动机是不可能制成的
 D. 石子从空中落下, 最后停止在地面上, 说明机械能消失了

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。

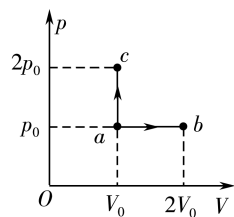
5. 迄今为止, 第一类永动机从来没有制成过, 其原因是 ()

- A. 机械制造的技术没有过关
 B. 违反了牛顿运动定律
 C. 违反了电荷守恒定律
 D. 违反了能量守恒定律

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。

知识点 3 气体实验定律与热力学第一定律的综合

6. 如图所示, 一定质量的理想气体, 由状态 a 经过 $a \rightarrow b$ 过程到达状态 b , 或者经过 $a \rightarrow c$ 过程到达状态 c 。设气体在状态 b 和状态 c 的温度分别为 T_b 和 T_c , 在过程 $a \rightarrow b$ 和 $a \rightarrow c$ 中吸收的热量分别为 Q_{ab} 和 Q_{ac} , 则 ()



- A. $T_b > T_c, Q_{ab} > Q_{ac}$ B. $T_b = T_c, Q_{ab} > Q_{ac}$
 C. $T_b > T_c, Q_{ab} < Q_{ac}$ D. $T_b = T_c, Q_{ab} < Q_{ac}$

B 解析: 由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$, 可知

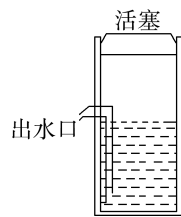
$$\frac{p_0 \cdot 2V_0}{T_b} = \frac{2p_0 \cdot V_0}{T_c}, \text{ 得 } T_b = T_c; \text{ 根据热力学第一定律 } \Delta U = Q + W, \text{ 因 } T_b = T_c, \text{ 内能仅与温度有关, 即 } \Delta U_{ab} = \Delta U_{ac}, \text{ 又由过程 } a \rightarrow b, \text{ 气体体积增大, 对外做功, } W \text{ 为负, 而过程 } a \rightarrow c, \text{ 气体体积不变, 对外不做功, } W = 0, \text{ 故 } Q_{ab} > Q_{ac}, \text{ B 正确。}$$

7. 如图所示是某气压式柱形保温瓶的结构示意简图, 现倒入热水, 封闭活塞, 其与液面间封闭一定质量的理想气体, 此时瓶内气体温度为 T_1 , 压强为 p_0 , 经过一段时间温度降为 T_2 , 忽略这一过程中气体体积的变化。

(1) 求温度降为 T_2 时瓶内气体的压强 p 。
 (2) 封闭气体温度由 T_1 降为 T_2 过程中, 其传递的热量 Q , 则气体的内能如何变化? 求变化量 ΔU 的大小。

(1) 求温度降为 T_2 时瓶内气体的压强 p 。

(2) 封闭气体温度由 T_1 降为 T_2 过程中, 其传递的热量 Q , 则气体的内能如何变化? 求变化量 ΔU 的大小。



解析: (1) 由等容变化规律得 $\frac{p_0}{T_1} = \frac{p}{T_2}$

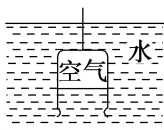
$$\text{解得 } p = \frac{T_2}{T_1} p_0.$$

(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

综合性·创新提升

8. 如图所示, 某同学将空的薄金属筒开口向下竖直压入水中。设水温均匀且恒定, 筒内空气无泄漏, 不计气



体分子间的相互作用, 则被淹没的金属筒在缓缓下降的过程中, 筒内空气体积减小, 空气一定 ()

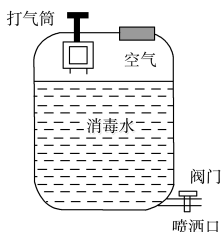
- A. 从外界吸热 B. 内能增大
 C. 向外界放热 D. 内能减小

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. (多选) 如图所示为一消毒水简易喷洒装置, 内部装有一定的消毒水, 消毒水上部密封的是空气, 喷洒口管径细小。现保持阀门紧闭, 通过打气筒再充入一些空气。若所有过程温度保持不变, 则下列说法

法正确的有

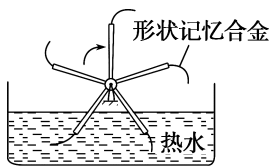
()



- A. 充气后,密封气体的分子在单位时间内撞击器壁的次数增多
 B. 充气后,密封气体的分子平均动能增大
 C. 打开阀门后,密封气体对外界做正功
 D. 打开阀门后,密封气体向外界放热

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. 如图所示,一演示用的“永动机”转轮由 5 根轻杆和转轴构成,轻杆的末端装有用形状记忆合金制成的叶片。轻推转轮后,进入热水的叶片因伸展而“划水”,推动转轮转动。离开热水后,叶片形状迅速恢复,转轮因此能长时间转动。下列说法正确的是 ()

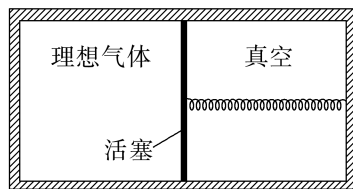


- A. 转轮依靠自身惯性转动,不需要消耗外界能量
 B. 转轮转动所需能量来自形状记忆合金自身
 C. 转动的叶片不断搅动热水,水温升高
 D. 叶片在热水中吸收的热量一定大于在空气中释放的热量

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. (2024·河北卷)(多选)如图,水平放置的密闭绝热气缸被导热活塞分成左右两部分,左侧封闭一定质量的理想气体,右侧为真空,活塞与气缸右壁中央用一根轻质弹簧水平连接。气缸内壁光滑且水平长度大于弹簧自然长度,弹簧的形变始终在

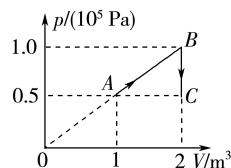
弹性限度内且体积忽略不计。活塞初始时静止在气缸正中间,后因活塞密封不严发生缓慢移动,活塞重新静止后 ()



- A. 弹簧恢复至自然长度
 B. 活塞两侧气体质量相等
 C. 与初始时相比,气缸内气体的内能增加
 D. 与初始时相比,活塞左侧单位体积内气体分子数减少

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. 如图所示,一定质量的理想气体从状态 A 变化到状态 B,再由状态 B 变化到状态 C。已知状态 A 的温度为 300 K。气体在状态 B 的温度 $T_B =$ _____; 由状态 B 变化到状态 C 的过程中,气体是 _____ (选填“吸热”或“放热”)的。



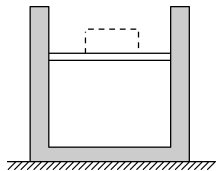
解析:气体从状态 A 变化到状态 B,由 $\frac{p_A V_A}{T_A} =$

$\frac{p_B V_B}{T_B}$ 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. 如图所示, 一个质量为 20 kg 的绝热气缸竖直放置, 绝热活塞的质量为 5 kg, 处于静止状态时被封闭气体的高度为 50 cm。现在活塞上方加一质量为 15 kg 的物体, 待稳定后, 被封闭气体的高度变为 40 cm。 g 取 10 m/s^2 , 忽略大气压力及摩擦阻力的影响。求在这一过程中气体内能的增加量。

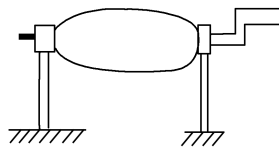


解析: 由能量守恒定律可知, 内能的增加量等于活塞和物体重力势能的减少量, $\Delta U = \Delta E = (M+m)gh = (15+5) \times 10 \times (50-40) \times 10^{-2} \text{ J} = 20 \text{ J}$ 。

答案: 20 J

14. 爆米花酥脆可口, 是许多人喜爱的休闲零食。如图所示为高压爆米花机的装置示意图, 玉米粒在铁质的密闭容器内被加热, 封闭气体被加热成高温高压的气体, 当打开容器盖后, “砰”的一声气体迅速膨胀, 压强急剧减小, 同时玉米粒内部的水蒸

气也急剧膨胀, 使玉米粒瞬间爆开, 玉米粒就“爆炸”成了爆米花。设当地温度为 $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$, 大气压为 p_0 , 已知密闭容器打开前其内气体压强达到 $4p_0$ 。



(1) 将容器内的气体看成理想气体, 求开盖前容器内气体的温度。

(2) 假定在一次打开的过程中, 容器内气体膨胀对外界做功 15 kJ, 并向外释放了 20 kJ 的热量, 容器内原有气体的内能如何变化? 变化了多少?

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) $927 \text{ }^\circ\text{C}$ (2) 减少 35 kJ

3 热力学第二定律

学习任务目标

1. 知道热力学第二定律的两种表述。(物理观念)
2. 了解能量耗散和品质降低的内容, 能解释相关现象。(物理观念)
3. 学会用热力学第二定律解释自然界中的能量转化、转移及方向性问题。(科学思维)

问题式预习

知识点一 自然界中宏观过程的方向性

1. 热传递的方向性: 热量总是从高温物体传向低温物体, 而不能自发地从低温物体传向高温物体。
2. 气体扩散现象和气体的自由膨胀, 具有方向性。
3. 机械能与内能之间的转化具有方向性。
4. 一切与热现象有关的宏观自然过程都具有方向性, 其相反的过程是不可能自发产生的。

[科学思维]

电冰箱的内部温度比外部温度低, 为什么制冷系统

还能不断地把电冰箱内的热量传递给外界的空气?

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. 机械能可以全部转化为内能, 而内能不能自发地全部转化为机械能。 ()

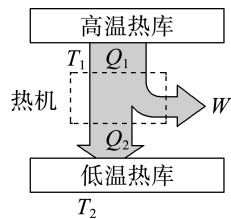
2. 一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的。 (√)
3. 热量不能从低温物体传到高温物体。 (×)

知识点二 热力学第二定律的两种表述

1. 热力学第二定律的克劳修斯表述: 热量不可能自发地从低温物体传递到高温物体。
2. 热力学第二定律的开尔文表述: 不可能从单一热源吸收热量, 使之全部变成功, 而不产生其他影响。

[科学思维]

热机不可能把吸收的热量全部转化为机械能, 总有一部分要散失到冷凝器或大气中。如图所示。根据能量守恒定律有 $Q_1 = W + Q_2$, 所以 $Q_1 > W$ 。



[判一判]

1. 德国物理学家克劳修斯在 1850 年提出: 热量不能自发地从低温物体传递到高温物体。这就是热力学第二定律的克劳修斯表述。 (√)
2. 热机的效率总是小于 100%。 (√)
3. 能量耗散从能量转化的角度反映出自然界中的宏观过程具有方向性。 (√)
4. 科技发达后, 热机的效率可以达到 100%。 (×)

任务型课堂

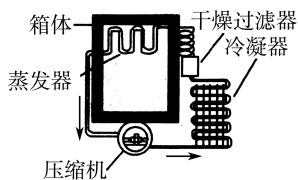
任务一 热力学第二定律

1. (多选) 根据热力学第二定律, 下列说法正确的是 ()

- A. 热量能够从高温物体传到低温物体, 但不能从低温物体传到高温物体
- B. 热量能够从高温物体传到低温物体, 也能从低温物体传到高温物体
- C. 机械能可以全部转化为内能, 但内能不可能全部转化为机械能
- D. 机械能可以全部转化为内能, 内能也能全部转化为机械能

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。

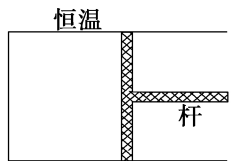
2. (多选) 如图所示为电冰箱的工作原理示意图。压缩机工作时, 强迫制冷剂在冰箱内、外的管道中不断循环。在蒸发器中, 制冷剂汽化吸收箱体内的热量, 经过冷凝器时制冷剂液化, 放出热量到箱体外。下列说法正确的是 ()



- A. 热量可以自发地从冰箱内传到冰箱外
- B. 电冰箱的制冷系统能够不断地把冰箱内的热量传到外界, 是因为其消耗了电能
- C. 电冰箱的工作原理不违背热力学第二定律
- D. 电冰箱的工作原理违背热力学第二定律

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. 如图所示, 气缸内盛有一定质量的理想气体, 气缸壁是导热的, 气缸外环境保持恒温, 活塞与气缸的接触是光滑的, 但不漏气。现将活塞杆与外界连接使其缓慢向右移动, 这样气体将等温膨胀并通过杆对外做功。若已知理想气体的内能只与温度有关, 则下列说法正确的是 ()



- A. 气体是从单一热源吸热, 全部用来对外做功, 因此该过程违反热力学第二定律
- B. 气体是从单一热源吸热, 但并未全部用来对外做功, 所以此过程不违反热力学第二定律
- C. 气体是从单一热源吸热, 全部用来对外做功, 但此过程不违反热力学第二定律
- D. 以上三种说法都不正确

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.对热力学第一定律和热力学第二定律的理解,下列说法正确的是 ()

- A. 一定质量的气体膨胀对外做功 100 J,同时从外界吸收 120 J 的热量,则它的内能增加了 20 J
- B. 物体从外界吸收热量,其内能一定增加,物体对外界做功,其内能一定减少
- C. 凡是与热现象有关的宏观过程都具有方向性,在热传递中,热量只能从高温物体传递给低温物体,而不能从低温物体传递给高温物体
- D. 以上说法均错误

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, ΔU 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.(多选)关于热力学第一定律和热力学第二定律,下列说法正确的是 ()

- A. 一定质量的理想气体经历一缓慢的绝热膨胀过程,气体的内能减少
- B. 气体向真空的自由膨胀是不可逆的
- C. 热力学第一定律也可表述为“第一类永动机不可能制成”
- D. 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”

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.(多选)下面关于热力学第二定律微观意义的说法

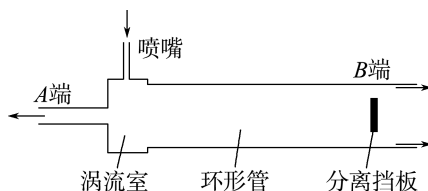
正确的是 ()

- A. 从微观的角度看,热力学第二定律是一个统计规律
- B. 一切自然过程总是沿着分子热运动无序性减小的方向进行
- C. 有的自然过程沿着分子热运动无序性增大的方向进行,有的自然过程沿着分子热运动无序性减小的方向进行
- D. 在任何自然过程中,一个孤立系统的总熵不会减小

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.(多选)利用“涡流效应”可实现冷热气体的分离。

如图所示,一冷热气体分离装置由喷嘴、涡流室、环形管、分离挡板和冷热两端管等构成。高压氮气由喷嘴切向流入涡流室中,然后以螺旋方式在环形管中向右旋转前进,分子热运动速率较小的气体分子将聚集到环形管中心部位,而分子热运动速率较大的气体分子将聚集到环形管边缘部位。气流到达分离挡板处时,中心部位气流与分离挡板碰撞后反向,从 A 端流出,边缘部位气流从 B 端流出。下列说法正确的是 ()



- A. A 端为冷端,B 端为热端
- B. A 端流出的气体分子热运动平均速率一定小于 B 端流出的
- C. A 端流出的气体内能一定大于 B 端流出的
- D. 该装置气体进出的过程满足能量守恒定律,但违背了热力学第二定律
- E. 该装置气体进出的过程既满足能量守恒定律,也满足热力学第二定律

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。

任务总结

1. 热力学第二定律的克劳修斯表述

(1)内容:热量不能自发地从低温物体传递到高温物体。

(2)理解

①阐述的是热传递的方向性。

②对“自发”的理解:当两个物体接触时,不需要任何第三者的介入、不会对任何第三者产生任何影响,热量就能从一个物体传向另一个物体。

③“自发”的方向是从高温物体指向低温物体。

④在产生其他影响的情况下,热量可以从低温物体传到高温物体,如空调、冰箱等。

2. 热力学第二定律的开尔文表述

(1)内容:不可能从单一热源吸收热量,使之全部变成功,而不产生其他影响。

(2)理解:阐述了机械能与内能转化的方向性,即机械能可以全部转化为内能,而内能无法全部用来做功以转化成机械能。

3. 对热力学第二定律理解的两个误区

(1)误认为热量只能由高温物体传到低温物体,不能由低温物体传到高温物体。

热量可以由高温物体传到低温物体,也可以由低温物体传到高温物体;但是前者可以自发完成,而后者必须有外界参与。

(2)误认为机械能可以完全转化为内能,而内能不能完全转化为机械能。

机械能可以完全转化为内能,内能也可以完全转化为机械能;但是前者可以不产生其他影响,而后者一定会产生其他影响。

4. 热力学第二定律的微观意义

(1)一切自然过程总是沿着分子热运动的无序性增大的方向进行。

(2)用熵来表示热力学第二定律:在任何自然过程中,一个孤立系统的总熵不会减小。

5.在整个自然界中,无论有无生命,所有宏观的自发过程都具有单向性,都是不可逆过程。如河水向下游流,重物向下落,房屋由新到旧直至倒塌,人从婴儿到老年直至死亡等。

任务二 热机与第二类永动机

[探究活动]

汽车和轮船上用的汽油机、柴油机,火力发电厂和核电站用的蒸汽轮机等都是热机。如图所示为汽车的发动机,请思考并回答下列问题。



(1)热机的工作过程是怎样的?

提示: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,气缸(燃烧室)是它的高温热源,那低温热源在哪里?

提示:热机工作时低温热源就是气缸外界空间中的大气。

(3)第二类永动机为什么不可能制成?

提示: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. 下列说法正确的是

()

- A. 功可以完全转化为热量,而热量不可以完全转化为功
- B. 热机必须具有两个热源,才能实现热功转化
- C. 热机的效率不可能大于1,但可能等于1
- D. 热机的效率必定小于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. 下列说法正确的是 ()

- A. 第二类永动机不可能制成功的原因是违背能量守恒定律
- B. 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
- C. 因为能量守恒, 所以能源危机是不可能的
- D. 摩擦力做功的过程, 必定有机械能转化为内能

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. 杭州第 19 届亚运会开幕式将实体烟花燃放改成电子烟花表演展示, 通过数字技术、光学投影等展现烟花绽放场景, 传递出中国绿色、低碳、环保且负责任的发展中大国形象。以下说法正确的是 ()

- A. 能量在使用过程中总量保持不变, 故无须节约用电, 可尽情燃放电子烟花
- B. 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
- C. 电子烟花技术将电能全部转化为光能和内能, 过程中不存在能量耗散
- D. 相比于传统烟花, 使用电子烟花完全无污染

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. 关于两类永动机和热力学两大定律, 下列说法正确的是 ()

- A. 第二类永动机不可能制成是因为违反了热力学第一定律
- B. 第一类永动机不可能制成是因为违反了热力学第二定律
- C. 由热力学第一定律可知: 做功不一定改变内能, 热传递也不一定改变内能, 但同时做功和热传

递一定会改变内能

D. 由热力学第二定律可知: 热量从低温物体传向高温物体是可能的, 从单一热源吸收热量, 完全变成功也是可能的

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。

任务总结

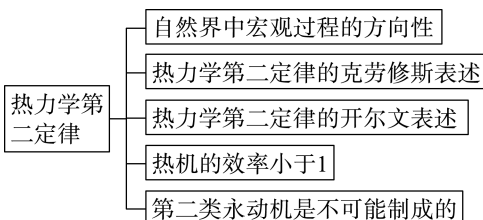
1. 热机的特点

- (1) 热机不仅仅只有一个热源。
- (2) 热机的效率不可能达到 100%。

2. 两类永动机的比较

分类	第一类永动机	第二类永动机
设计要求	不消耗任何能量, 可以不断对外做功 (或只给予很少的能量, 启动后可以永远运动下去)	将内能全部转化为机械能, 而不引起其他变化 (或只有一个热源, 实现内能与机械能的转化)
不可能制成的原因	违背了热力学第一定律	违背了热力学第二定律

► 提质归纳



课后素养评价(十二)

基础性·能力运用

知识点 1 热力学第二定律

1.关于热力学第二定律,下列说法正确的是 ()

- A. 热力学第二定律是通过实验总结出来的实验定律
- B. 热力学第二定律是通过分析大量自然现象的不可逆性总结出来的经验定律
- C. 热力学第二定律是物理学家从理论推导出来的结果
- D. 热力学第二定律没有理论和实验的依据,因此没有实际意义

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.我们绝不会看到一个放在水平地面上的物体,其可以靠降低温度,把内能自发地转化为动能,使自身运动起来。其原因是 ()

- A. 违反了能量守恒定律
- B. 在任何条件下内能都不可能转化为机械能,只有机械能才能转化为内能
- C. 机械能和内能的转化过程具有方向性,内能转化成机械能是有条件的
- D. 以上说法均不正确

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:机械能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。

知识点 2 热机与第二类永动机

3.下列说法正确的是 (D)

- A. 功可以完全转化为热量,而热量不可以完全转化为功
- B. 热机必须具有两个热库,才能实现热功转化
- C. 热机的效率不可能大于 1,但可能等于 1
- D. 热机的效率必定小于 1

4.热力学第二定律使人们认识到自然界中进行的涉及热现象的宏观过程 ()

- A. 都具有方向性
- B. 只有一部分具有方向性
- C. 没有方向性
- D. 无法确定

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.(多选)根据热力学第二定律,下列说法正确的是 ()

- A. 热机中燃气的内能不可能全部变成机械能
- B. 电能不可能全部转变成内能
- C. 在火力发电机中,燃气的内能不可能全部转化成电能
- D. 在热传导中,热量不可能自发地从低温物体传递给高温物体

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→机械能→电能,因为内能→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.第二类永动机不可能制成的原因是 ()

- A. 违背了能量守恒定律
- B. 热量总是从高温物体传递到低温物体
- C. 机械能不能全部转化为内能
- D. 内能不能全部转化为机械能而不引起其他变化

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。

综合性·创新提升

7.(多选)根据热力学第二定律可知,下列说法正确的是 ()

- A. 不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他变化
- B. 没有冷凝器,只有单一的热源时,能将从单一热源吸收的热量全部用来做功,而不引起其他变化的热机是可以实现的
- C. 制冷系统可以将冰箱里的热量传给外界温度较高的空气,而不引起其他变化
- D. 不可能使热量由低温物体传给高温物体,而不引起其他变化

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.下列说法正确的是 ()

- A. 热量不能从低温物体传到高温物体
- B. 功可以完全变成热,热不能完全变成功
- C. 改进热机的生产工艺,总有一天热机的效率可以达到100%
- D. 气体向真空的自由膨胀是不可逆的

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.随着世界经济快速发展,能源短缺问题日益突出。能源成为困扰世界经济发展的重大难题之一,下列有关能量转化的说法正确的是 ()

- A. 机械能和内能的转化过程具有方向性,内能全部转化成机械能是有条件的
- B. 只要对内燃机不断改进,就可以把内燃机得到的内能全部转化为机械能
- C. 满足能量守恒定律的物理过程都能自发地进行
- D. 外界对物体做功,物体的内能必然增加

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.关于热现象和热学规律,下列说法正确的是 ()

- A. 随着低温技术的发展,我们可以使温度逐渐降低,并达到绝对零度,最终实现热机效率为100%
- B. 热量是不可能从低温物体传递给高温物体的
- C. 第二类永动机遵从能量守恒,故能制成
- D. 用活塞压缩气缸里的空气,对空气做功 $2.0 \times 10^5 \text{ J}$,同时空气向外界放出热量 $1.5 \times 10^5 \text{ J}$,则空气的内能增加了 $0.5 \times 10^5 \text{ J}$

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.(多选)下列关于气体在真空中的扩散规律的叙述正确的是 ()

- A. 气体分子数越少,扩散到真空中的分子全部回到原状态的可能性越大
- B. 气体分子数越多,扩散到真空中的分子全部回到原状态的可能性越大
- C. 扩散到真空容器中的分子在整个容器中分布越均匀,其宏观态对应的微观态数目越大
- D. 气体向真空中扩散时,总是向着分子热运动的无序性增大的方向进行

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.(多选)对于孤立体系中发生的实际过程,下列说法正确的是 ()

- A. 系统的总熵只能增大,不可能减小
- B. 系统的总熵可能增大,可能不变,还可能减小
- C. 系统逐渐从比较有序的状态向更无序的状态发展
- D. 系统逐渐从比较无序的状态向更有序的状态发展

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。

单元活动构建

单元活动 3 理想气体状态方程和热力学定律的综合应用

「单元任务」

任务内容	
任务一	气体实验定律与热力学第一定律的综合应用
任务二	气体状态变化图像与热力学第一定律的综合应用

「任务引导」

资料 1: 理想气体是研究气体性质的一个物理模型。

(1) 从微观上看, 理想气体的分子有质量, 无体积, 是质点; 气体分子间不存在作用力, 不计分子势能。

(2) 从宏观上看, 理想气体是一种无限稀薄的气体, 严格遵从气体状态方程的气体, 叫作理想气体。

(3) 理想气体的性质

① 分子体积与气体分子之间的平均距离相比可以忽略不计; 分子之间没有相互作用力, 不计分子势能。

② 分子之间及分子与器壁之间发生的碰撞不造成动能损失。

③ 理想气体的内能是分子动能之和。

资料 2: 热力学是从宏观角度研究物质的热运动性质及其规律的学科。热力学系统在整体上表现出来的热现象及其变化发展都必须遵循一定的基本规律。

(1) 热力学第一定律与能量守恒定律的思想一致。

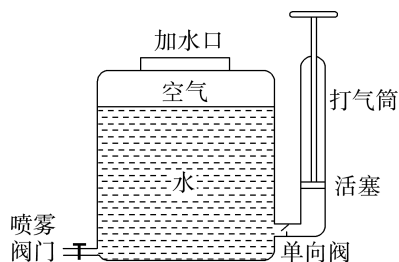
(2) 热力学第二定律指出, 一切与热现象有关的宏观过程都具有方向性, 即一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的。

(3) 热力学第三定律通常表述为绝对零度时, 所有纯物质的完美晶体的熵值为零, 或者绝对零度 ($T=0\text{ K}$) 不可能达到。

(4) 热力学第零定律: 如果两个热力学系统均与第三个热力学系统处于热平衡, 那么它们也必定处于热平衡。热力学第零定律是热力学三大定律的基础, 它定义了温度。因为在三大定律之后, 人类才发现其重要性, 故称为“第零定律”。

任务一 气体实验定律与热力学第一定律的综合应用

活动 如图所示, 喷雾器内有 10 L 水, 上部封闭有 $1 \times 10^5\text{ Pa}$ 的空气 2 L。关闭喷雾阀门, 用打气筒向喷雾器内再充入 $1 \times 10^5\text{ Pa}$ 的空气 3 L (设外界环境温度一定, 空气可视为理想气体, 容器体积不变)。



(1) 当水面上方气体温度与外界温度相同时, 气体压强该怎么计算?

提示: 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 $p_1 = 1 \times 10^5\text{ Pa}$, 体积 $V_1 = 5\text{ L}$, 设末态压强为 p_2 , 体积 $V_2 = 2\text{ L}$, 由等温变化规律得 $p_1 V_1 = p_2 V_2$, 代入数据得 $p_2 = 2.5 \times 10^5\text{ Pa}$ 。

(2) 从微观上解释, 气体压强变化的原因是什么?

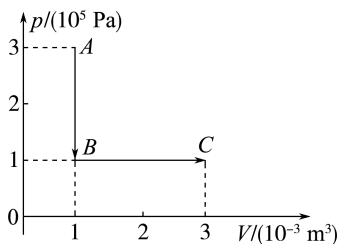
提示: 影响气体压强的微观因素有两个, 一是分子平均动能; 二是分子的数密度。温度不变, 分子平均动能不变, 体积减小, 单位体积内的分子数增加, 撞击器壁更加剧烈, 所以压强增大。

(3) 打开喷雾阀门, 喷雾过程中封闭气体可以看成等温膨胀, 此过程中气体是吸热还是放热? 简要说明理由。

提示: 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 气体状态变化图像与热力学第一定律的综合应用

活动 一定质量的理想气体从状态 A 变化到状态 B, 再变化到状态 C, 其状态变化过程的 $p-V$ 图像如图所示。已知该气体在状态 A 时的温度为 $27\text{ }^\circ\text{C}$, $T = t + 273\text{ K}$ 。



(1) 该气体在状态 B、C 时的温度分别为多少摄氏度？

提示：由图像及题意知， $p_A = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $V_A = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $T_A = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ， $p_B = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $V_B = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $p_C = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ， $V_C = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ， $A \rightarrow B$ 过程为等容变化，由 $\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B}$ 得 $T_B = 100 \text{ K}$ ，所以 $t_B = -173 \text{ }^\circ\text{C}$ ， $B \rightarrow C$ 过程为等压变化，由 $\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C}$ 得 $T_C = 300 \text{ K}$ ，所以 $t_C = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

(2) 该气体从状态 A 到状态 C 的过程中，内能的变化量是多大？

提示：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) 该气体从状态 A 到状态 C 的过程中是吸热，还是放热？传递的热量是多少？

提示：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。 $A \rightarrow B$ 过程为等容变化，气体不做功，故 $A \rightarrow C$ 过程吸收的热量 $Q = |W| = p_B \cdot (V_C - V_B) = 1 \times 10^5 \times (3 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-3}) \text{ J} = 200 \text{ J}$ 。

「知识链接」

1. 气体实验定律和热力学第一定律的结合点是温度和体积。

(1) 注意三种特殊过程的特点

① 等温过程：内能不变， $\Delta U = 0$ 。

② 等容过程：体积不变， $W = 0$ 。

③ 绝热过程： $Q = 0$ 。

(2) 一定质量的理想气体内能的变化取决于温度。气体温度升高，内能增大；气体温度降低，内能减小。

(3) 气体与外界的做功情况要看体积。气体体积增大，对外界做功；气体体积减小，外界对气体做功；理想气体自由膨胀，不做功。

(4) 在等压变化中，由公式 $W = p\Delta V$ 求解功，其中

ΔV 为气体体积的变化量。

2. 气体状态变化图像问题

(1) 常见的气体状态变化图像有 p - V 图像、 V - T 图像、 p - T 图像三种。

(2) 要能够识别 p - V 图像、 p - T 图像、 V - T 图像中的等温线、等容线和等压线，能从图像上解读出状态参量和状态变化过程。

(3) 根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ ，得到 $p = CT \cdot$

$\frac{1}{V}$ 、 $V = \frac{C}{p}T$ 、 $p = \frac{C}{V}T$ ，认识 p - $\frac{1}{V}$ 图像、 V - T 图像、 p - T 图像斜率的意义。

3. 处理气体状态变化图像与热力学第一定律综合问题的思路

(1) 根据气体状态变化图像的特点判断气体的温度、体积的变化情况，从而判断气体内能的变化及做功情况。

(2) 在 p - V 图像中，图线与 V 轴围成的面积表示气体对外界或外界对气体做的功。

(3) 结合热力学第一定律判断有关问题。

「活动达标」

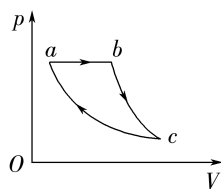
1. (2024 · 山东卷) 一定质量的理想气体经历如图所示的循环过程， $a \rightarrow b$ 过程是等压过程， $b \rightarrow c$ 过程中气体与外界无热量交换， $c \rightarrow a$ 过程是等温过程。下列说法正确的是 ()

A. $a \rightarrow b$ 过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功

B. $b \rightarrow c$ 过程，气体对外做功，内能增加

C. $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功

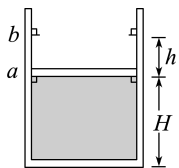
D. $a \rightarrow b$ 过程，气体从外界吸收的热量等于 $c \rightarrow a$ 过程放出的热量



C 解析： $a \rightarrow b$ 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 $a \rightarrow b$ 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； $b \rightarrow c$ 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; $c \rightarrow a$ 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 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 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 $a \rightarrow b$ 过程气体从外界吸收的热量 Q_{ab} 不等于 $c \rightarrow a$ 过程放出的热量 $-Q_{ca}$, D 错误。

2. 如图所示, 一竖直放置的气缸上端开口, 气缸壁内有卡口 a 和 b , a 、 b 间距为 h , a 距缸底的高度为 H ; 活塞只能在 a 、 b 间移动, 其下方密封有一定质量的理想气体。已知活塞质量为 m , 面积为 S , 厚度可忽略; 活塞和气缸壁均绝热, 不计它们之间的摩擦。开始时活塞处于静止状态, 上、下方气体压强均为 p_0 , 温度均为 T_0 。现用电热丝缓慢加热气缸中的气体, 直至活塞刚好到达 b 处。重力加速度大小为 g 。求此时气缸内气体的温度以及在此过程中气体对外所做的功。



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

$$\text{有 } \frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} \quad (1)$$

$$\text{根据力的平衡条件有 } p_1 S = p_0 S + mg \quad (2)$$

$$\text{联立 } (1)(2) \text{ 式可得 } T_1 = \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0 \quad (3)$$

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

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

$$\text{上式中 } V_1 = SH \quad (5)$$

$$V_2 = S(H+h) \quad (6)$$

$$\text{联立 } (3)(4)(5)(6) \text{ 式解得 } T_2 = \left(1 + \frac{h}{H}\right) \left(1 + \frac{mg}{p_0 S}\right) T_0$$

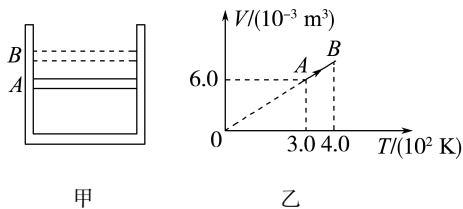
从开始加热到活塞到达 b 处的过程中, 气缸中的气体对外做的功为 $W = (p_0 S + mg)h$ 。

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

3. 在如图甲所示的密闭气缸内装有一定质量的理想气体, 图乙是它从状态 A 变化到状态 B 的 V - T 图像。已知图线 AB 的反向延长线通过坐标原点, 气体在 A 点的压强为 $p = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 在从状态 A 变化到状态 B 的过程中, 气体吸收的热量 $Q = 6.0 \times 10^2 \text{ J}$ 。求:

(1) 气体在状态 B 的体积 V_B ;

(2) 此过程中气体内能的增量 ΔU 。



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 $\Delta U = Q + W$

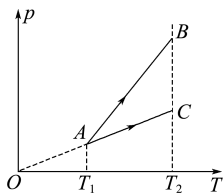
解得 $\Delta U = 400 \text{ J}$ 。

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

4. 在如图所示的坐标系中, 一定质量的某种理想气体先后发生以下两种状态变化过程: 第一种变化是从状态 A 到状态 B , 外界对该气体做的功为 6 J ; 第二种变化是从状态 A 到状态 C , 该气体从外界吸收的热量为 9 J 。图线 AC 的反向延长线过坐标原点 O , B 、 C 两状态的温度相同, 理想气体的分子势能为 0 。求:

(1)从状态 A 到状态 C 的过程,该气体对外界做的功 W_1 和其内能的增量 ΔU_1 ;

(2)从状态 A 到状态 B 的过程,该气体内能的增量 ΔU_2 及其从外界吸收的热量 Q_2 。



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 $Q_2=\Delta U_2-W_2=3\text{ J}$ 。

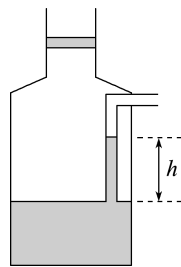
答案:(1)0 9 J (2)9 J 3 J

5.(2025·浙江卷)如图所示,一导热性良好且带有吸管的瓶子,通过瓶塞密闭 $T_1=300\text{ K}$ 、体积 $V_1=1\times 10^3\text{ cm}^3$ 处于状态 1 的理想气体,管内水面与瓶内水面高度差 $h=10\text{ cm}$ 。将瓶子放进 $T_2=303\text{ K}$ 的恒温水中,瓶塞无摩擦地缓慢上升恰好停在瓶口, h 保持不变,气体达到状态 2,此时锁定瓶塞,再缓慢地从吸管中吸走部分水后,管内和瓶内水面等高,气体达到状态 3。已知从状态 2 到状态 3,气体对外做功 1.02 J ,从状态 1 到状态 3,气体吸收热量 4.56 J ;大气压强 $p_0=1.0\times 10^5\text{ Pa}$,水的密度 $\rho=1.0\times 10^3\text{ kg/m}^3$,取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$;忽略表面张力和水蒸气对压强的影响。

(1)从状态 2 到状态 3,气体分子平均速率 _____ (选填“增大”“不变”或“减小”),单位时间撞击单位面积瓶壁的分子数 _____ (选填“增多”“不变”或“减少”)。

(2)求气体在状态 3 的体积 V_3 。

(3)求从状态 1 到状态 3 气体内能的改变量 ΔU 。



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的分子数减少。

(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

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

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

$$p_2V_2=p_3V_3$$

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

章末质量评估(二)

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1.下列关于物体内能变化的说法正确的是 ()

- A. 一定质量的晶体在熔化过程中内能保持不变
 B. 一定质量的气体在体积膨胀过程中内能一定增加
 C. 一定质量的物体在热膨胀过程中内能不一定增加
 D. 一定质量的物体在体积保持不变的过程中,内能一定不变

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。

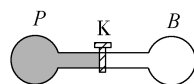
2.下列说法正确的是 ()

- A. 热量能够从高温物体传到低温物体,但不能从低温物体传到高温物体
 B. 功、热、内能是一样的
 C. 不可能从单一热源吸收热量并把它全部用来做功,而不引起其他任何变化
 D. 凡是不违反能量守恒定律的过程一定能实现

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.如图所示,两个相通的容器P、B间装有阀门K,P

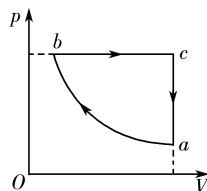
中充满气体,B为真空,整个系统与外界没有热交换。打开阀门K后,P中的气体进入B中,最终达到平衡,则 ()



- A. 气体体积膨胀,内能增加
 B. 气体分子势能减少,内能增加
 C. 气体分子势能增加,压强可能不变
 D. B中的气体不可能自发地全部退回到P中

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.如图所示为一定质量的理想气体的状态变化过程的 p - V 图像,气体先由 a 状态沿双曲线经等温过程变化到 b 状态,再沿与横轴平行的直线变化到 c 状态, a 、 c 两点位于与纵轴平行的直线上。以下说法正确的是 ()



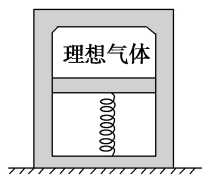
- A. 由 a 状态至 b 状态过程中,气体放出热量,内能减少
 B. 由 b 状态至 c 状态过程中,气体对外做功,内能减少

C. c 状态与 a 状态相比, c 状态分子平均距离较大, 分子平均动能较大

D. b 状态与 a 状态相比, b 状态分子平均距离较小, 分子平均动能相等

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. 如图所示, 密闭绝热容器内有一绝热的具有一定质量的活塞, 活塞的上部封闭着理想气体, 下部为真空, 活塞与器壁的摩擦忽略不计。置于真空中的轻质弹簧的一端固定于容器的底部, 另一端固定在活塞上, 弹簧被压缩后用绳(未画出)拉紧, 此时弹簧的弹性势能为 E_p (弹簧处在自然长度时的弹性势能为零)。现绳突然断开, 弹簧推动活塞向上运动, 经过多次往复运动后活塞静止, 气体达到平衡态, 经过此过程 ()

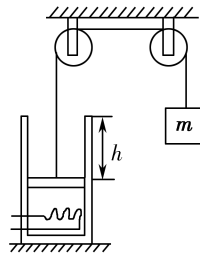


- A. E_p 全部转化为气体的内能
- B. E_p 一部分转化成活塞的重力势能, 其余部分仍为弹簧的弹性势能
- C. E_p 一部分转化成活塞的重力势能, 一部分转化为气体的内能
- D. E_p 一部分转化成活塞的重力势能, 一部分转化为气体的内能, 其余部分仍为弹簧的弹性势能

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 $F_{\text{弹}} > mg + p_1 S$, 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 $F'_{\text{弹}} = mg + p_2 S$, 弹簧仍然具有一部分弹性势能, D 正确。

6. 如图所示, 气缸内封闭有一定质量的理想气体, 活塞通过定滑轮与一质量为 m 的重物相连并处于静止状态, 此时活塞到缸口的距离 $h = 0.2 \text{ m}$, 活塞横截面积 $S = 10 \text{ cm}^2$, 封闭气体的压强 $p = 5 \times 10^4 \text{ Pa}$ 。现通过电热丝对缸内气体加热, 使活塞缓慢上升至缸口。在此过程中封闭气体吸收了 $Q = 60 \text{ J}$ 的热量, 假设气缸壁和活塞都是绝热的, 活塞质量及一切摩擦力均不计, 则在此过程中气体内能的增加量为 ()



- A. 70 J
- B. 60 J
- C. 50 J
- D. 10 J

C 解析: 活塞移动过程中, 气缸内的气体对外界做的功 $W = Fl = pSh = 10 \text{ J}$, 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. (2025 · 河北卷) 某同学将一充气皮球遗忘在了操场上, 找到时发现皮球因太阳曝晒温度升高, 体积变大。在此过程中若皮球未漏气, 则皮球内封闭气体 ()

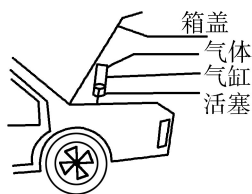
- A. 对外做功
- B. 向外界传递热量
- C. 分子的数密度增大
- D. 每个分子的速率都增大

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。

二、多项选择题:本题共3小题,每小题6分,共18分。每小题有多项是符合题目要求的。全部选对的得6分,选对但不全的得3分,有选错的得0分。

8.某汽车后备箱内安装有撑起箱盖的装置,它主要由气缸和活塞组成。开箱时,密闭于气缸内的压缩气体膨胀,将箱盖顶起,如图所示。在此过程中,若缸内气体与外界无热交换,忽略气体分子间的相互作用,则缸内气体 ()



- A. 对外做正功,分子的平均动能减小
- B. 对外做正功,内能增大
- C. 对外做负功,分子的平均动能增大
- D. 对外做正功,内能减小

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。

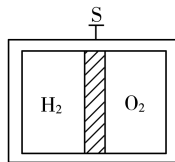
9.下列过程可能实现的是 ()

- A. 将海水温度自动下降时释放的内能全部转变为机械能
- B. 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
- C. 在粗糙水平面上运动的物体,它的动能转化为内能,使物体温度升高
- D. 静止在光滑水平面上的物体,温度降低时释放的内能可以转化为物体的动能,使物体运动起来

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.用绝热活塞把绝热容器隔成容积相同的两部分,如图所示,先把活塞用插销S锁住,将质量和温度都相同的氢气(H_2)和氧气(O_2)分别充入容器的两部分,然后提起插销S,使活塞可以无摩擦地滑动,当活塞平衡时 ()

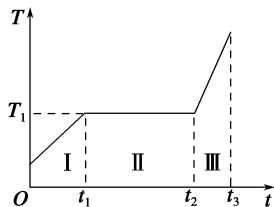


- A. 氧气的温度不变
- B. 氢气的压强增大
- C. 氧气的体积减小
- D. 氧气的内能变大

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。

三、非选择题:本题共5小题,共54分。其中第12~15小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤;有数值计算时,答案中必须明确写出数值和单位。

11.(8分)质量一定的某种物质,在压强不变的条件下,由液态I到气态III(可看成理想气体)的变化过程中,温度(T)随加热时间(t)变化的关系如图所示。单位时间内吸收的热量可认为不变。



(1)(多选)以下说法中正确的是_____。

- A. 在区间II,物质的内能不变
- B. 在区间III,分子间的势能不变
- C. 从区间I到区间III,物质的熵增加
- D. 在区间I,物质分子的平均动能随着时间的增

加而增大

(2)在区间Ⅲ,若将压强不变的条件改为体积不变,则温度升高_____ (选填“变快”“变慢”或“快慢不变”),请说明理由:_____。

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.(10分)在标准大气压下,水在沸腾时,1 g 的水由液态变成同温度的水蒸气,其体积由 1.043 cm^3 变成 $1\ 676 \text{ cm}^3$ 。该过程中 1 g 水吸热 $2\ 263.8 \text{ J}$ 。已知大气压强为 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求:

- (1)体积膨胀时,气体对外界做的功 W ;
- (2)气体增加的内能 ΔU 。

解析:(1)气体在等压(大气压)状态下膨胀做功 $W = p(V_2 - V_1) = 1.013 \times 10^5 \times (1\ 676 - 1.043) \times 10^{-6} \text{ J} \approx 169.7 \text{ J}$ 。

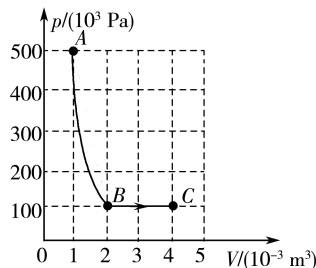
(2)根据热力学第一定律有 $\Delta U = -W + Q = (-169.7 \text{ J}) + 2\ 263.8 \text{ J} = 2\ 094.1 \text{ J}$ 。

答案:(1)169.7 J (2)2 094.1 J

13.(12分)如图所示为一定质量理想气体的 p - V 图像,气体状态由 A 经 B 到 C 的变化过程中,吸收了 420 J 热量,对外做功 400 J 。已知状态 A 的温

度为 300 K 。求气体:

- (1)内能改变的数值;
- (2)状态 C 的温度 T_C 。



解析:(1)由热力学第一定律有

$$\Delta U = Q + W = 420 \text{ J} - 400 \text{ J} = 20 \text{ J}$$

ΔU 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.(12分)(2025·浙江卷)如图所示,“拔火罐”是我国传统医学的一种疗法。治疗时,医生将一个开口面积为 S 的玻璃罐加热,使罐内空气温度升至 t_1 ,然后迅速将玻璃罐倒扣在患者皮肤上(状态 1)。待罐内空气自然冷却至室温 t_2 ,玻璃罐便紧扣在皮肤上(状态 2)。已知从状态 1 到状态 2 过程中罐内气体向外界放出热量 7.35 J , $S = 1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, $t_1 = 77 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$ 。忽略皮肤的形变,大气压强 $p_0 = 1.05 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。求:

- (1)状态 2 时罐内气体的压强;
- (2)从状态 1 到状态 2 罐内气体内能的变化;
- (3)状态 2 时皮肤受到的吸力大小。



解析:(1)状态 1 气体的温度 $T_1 = (77 + 273) \text{ K} = 350 \text{ K}$

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

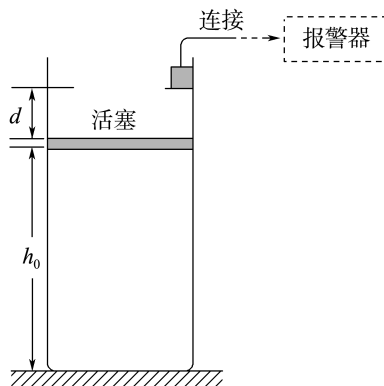
15. (12 分) 某物理小组设计了一个报警装置, 其原理

如图所示。在竖直放置的圆柱形容器内用横截面积 $S = 100 \text{ cm}^2$ 、质量 $m = 1 \text{ kg}$ 的活塞密封一定质量的理想气体, 活塞能无摩擦地滑动。开始时气体处于温度 $T_A = 300 \text{ K}$ 、活塞与容器底的距离 $h_0 = 30 \text{ cm}$ 的状态 A。环境温度升高时容器内气体被加热, 活塞缓慢上升 $d = 3 \text{ cm}$ 后恰好到达容器内的卡口处, 此时气体达到状态 B。活塞保持不动, 气体被继续加热至温度 $T_C = 363 \text{ K}$ 的状态 C 时触动报警器。从状态 A 到状态 C 的过程中气体内能增加了 $\Delta U = 158 \text{ J}$ 。取大气压 $p_0 = 0.99 \times 10^5 \text{ Pa}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求气体:

(1) 在状态 B 的温度;

(2) 在状态 C 的压强;

(3) 由状态 A 到状态 C 过程中从外界吸收的热量 Q 。



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

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

$$\text{解得 } T_B = \frac{V_B}{V_A} T_A = 330 \text{ K}。$$

(2) 从状态 A 到状态 B 的过程中, 活塞缓慢上升,

$$\text{则 } p_B S = p_0 S + mg$$

$$\text{解得 } p_B = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

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

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$$

$$\text{解得 } p_C = \frac{T_C}{T_B} p_B = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}。$$

(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

$$\Delta U = -W_0 + Q$$

$$\text{解得 } Q = \Delta U + W_0 = 188 \text{ J}。$$

答案: (1) 330 K (2) $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ (3) 188 J

第四章

原子结构

1 电子的发现

2 原子的核式结构模型

学习任务目标

- 1.知道阴极射线及其本质,了解电子及其比荷。(物理观念)
- 2.知道原子的核式结构模型及原子核的大小与所带的电荷。(物理观念)
- 3.掌握电子的电荷量、原子的核式结构模型,能够通过科学推理解决相关的问题。(科学思维)
- 4.探究阴极射线的本质,理解 α 粒子散射实验,揭示实验本质,得出结论。(科学探究)

问题式预习

知识点一 电子的发现

- 1.阴极射线:科学家在研究稀薄气体放电时,发现真空度很高的玻璃管阴极会发射出的一种射线。阴极射线带有负电荷。
- 2.比荷:带电粒子的电荷量与质量的比值,它是带电微粒的基本属性之一。
- 3.阴极射线的粒子:该粒子的电荷与氢离子的电荷大小基本上是相同的,但比荷是氢离子的1 000多倍。汤姆孙将这种粒子命名为电子。
- 4.元电荷:能独立存在的最小电荷。电子所带的电荷就是元电荷。元电荷的电荷量 $e=1.6\times 10^{-19}$ C。

[科学思维]

- 1.阴极射线的产生原理是什么?

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.玻璃管壁上出现的淡淡的荧光就是阴极射线吗?

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.阴极射线撞击玻璃管壁会发出荧光。(✓)
- 2.电子的电荷量是汤姆孙首先精确测定的。(×)
- 3.汤姆孙并未得出阴极射线粒子的电荷量。(✓)

知识点二 原子的核式结构模型

- 1.汤姆孙原子模型:汤姆孙于1904年提出了一种原子模型,他认为原子是由正电荷构成的一个密度均

匀的球体,电子“镶嵌”其中,称为“西瓜模型”或“枣糕模型”。

2. α 粒子散射实验

(1)实验装置: α 粒子源、金箔、显微镜和荧光屏。

(2)实验现象

①绝大多数的 α 粒子穿过金箔后仍沿原来的方向前进或只发生很小的偏转。

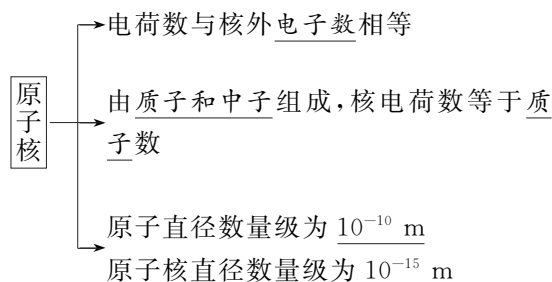
②少数 α 粒子发生了大角度偏转。

③极少数 α 粒子偏转的角度大于 90° ,有的甚至被“弹”回来。

(3)实验意义:卢瑟福通过 α 粒子散射实验,否定了汤姆孙的原子模型,建立了核式结构模型。

- 3.核式结构模型:原子中间有一个体积很小、带正电荷的核,而电子在核外绕核运动。

- 4.原子核的大小与所带的电荷



说明:原子直径与原子核直径相差十万倍之多,因此原子内部是十分“空旷”的。

- 5.模式模型与经典理论的差异

根据经典电磁理论,电子绕核运转,要向外发射电磁波,要辐射能量。最终原子不复存在,而实际上原子结构是稳定的。

[科学思维]

α 粒子发生大角度散射的原因是什么? 有没有可能是与电子碰撞造成的?

提示: α 粒子带正电, α 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 α 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]

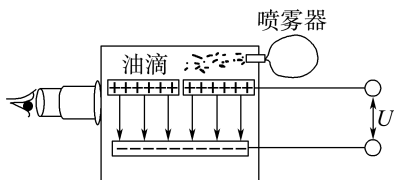
1. α 粒子散射实验中, 大多数 α 粒子发生了大角度偏转或反弹。 (×)
2. 原子中所有正电荷都集中在原子核内。 (√)
3. 汤姆孙通过 α 粒子散射实验提出了原子的核式结构模型。 (×)

任务型课堂

任务一 电子的发现及微粒比荷的测定

[探究活动]

电子所带电荷量最早是由美国科学家密立根通过“油滴实验”测出的。油滴实验的原理如图所示, 两块水平放置的平行金属极板与电源连接, 上、下极板分别带正、负电荷。油滴从喷雾器喷出后, 由于摩擦而带电, 油滴进入上极板中央小孔后落到匀强电场中, 通过显微镜可以观察到油滴的运动情况。两金属极板间的距离为 d , 忽略空气对油滴的浮力和阻力。



(1) 如何判定油滴的电性?

提示: 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) 调节两金属极板间的电势差 U , 当 $U=U_0$ 时, 使得某个质量为 m_1 的油滴恰好做匀速运动, 则该油滴所带电荷量 q 为多少?

提示: 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]

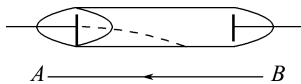
1. (多选) 关于电子的发现, 下列说法正确的是 ()

- A. 电子的发现, 说明原子是由电子和原子核构成的
- B. 电子的发现, 说明原子具有一定的结构
- C. 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
- D. 电子带负电, 使人们意识到原子内应该还有带正电的部分

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。

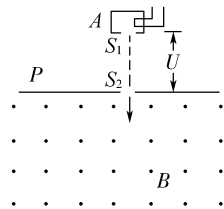
2. 如图所示, 一真空玻璃管中有从左向右的可能是电磁波或某种粒子流形成的射线, 若在其下方放一通电直导线 AB , 射线发生如图所示的偏转, AB 中的电流方向由 B 到 A , 则该射线的本质为 ()



- A. 电磁波
- B. 带正电的高速粒子流
- C. 带负电的高速粒子流
- D. 不带电的高速中性粒子流

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. 如图所示为测量某种离子的比荷的装置。让中性气体分子进入电离室 A 被电离成离子。这些离子从电离室的小孔飘出, 从缝 S_1 进入加速电场被加速, 然后让离子从缝 S_2 垂直进入匀强磁场, 最后打在底片上的 P 处。已知加速电压为 U , 磁场的磁感应强度为 B , 缝 S_2 与 P 之间的距离为 a , 离子从缝 S_1 进入电场时的速度不计。求该离子的比荷 $\frac{q}{m}$ 。



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 $qU = \frac{1}{2}mv^2$

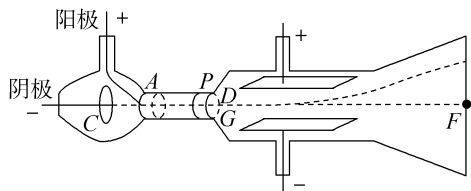
在磁场中发生偏转时,有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$

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. 在汤姆孙测定阴极射线比荷的实验中,采用了如图所示的阴极射线管,从 C 出来的阴极射线经过 A、P 间的电场加速后,水平射入长度为 l 的 D、G 平行板间,接着在荧光屏 F 中心出现荧光斑。若在 D、G 间加方向向下、电场强度为 E 的匀强电场,阴极射线将向上偏转;如果再利用通电线圈在 D、G 电场区域加一垂直于纸面的磁感应强度为 B 的匀强磁场(图中未画出),荧光斑恰好回到荧光屏中心 F,接着再去掉电场,阴极射线向下偏转,偏转角为 θ 。



- (1) 说明阴极射线的电性;
- (2) 说明 D、G 区域内磁场沿什么方向;
- (3) 根据 l 、 E 、 B 和 θ , 求出阴极射线的比荷。

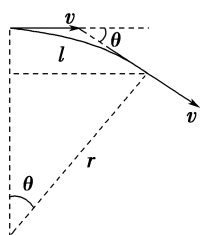
解析: (1) 由于阴极射线在电场中向上偏转, 因此所受电场力方向向上, 又因为匀强电场方向向下, 则所受电场力的方向与电场方向相反, 所以阴极射线带负电。

(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 $l = r \sin \theta$

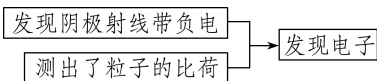
联立解得 $\frac{q}{m} = \frac{E \sin \theta}{B^2 l}$

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

任务总结

1. 电子的发现

(1) 英国物理学家汤姆孙让阴极射线在电场和磁场中偏转。



(2) 密立根通过“油滴实验”精确测定了电子的电荷量和电子的质量。

2. 测量微粒比荷的三种常见方法

(1) 利用磁偏转测比荷: 由 $qvB = m \frac{v^2}{R}$ 得 $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$, 只需知道磁感应强度 B 、带电粒子的速度 v 和偏转半径 R 即可。

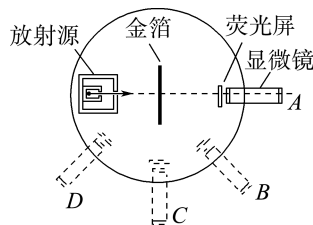
(2) 利用电偏转测比荷: 偏转量 $y = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} \cdot \left(\frac{L}{v}\right)^2$, 故 $\frac{q}{m} = \frac{2ydv^2}{UL^2}$, 在偏转电场 U 、 d 、 L 已知时, 只需测量 v 和 y 即可。

(3) 利用加速电场测比荷: 由动能定理 $qU = \frac{1}{2} mv^2$ 得 $\frac{q}{m} = \frac{v^2}{2U}$, 在加速电场 U 已知时, 只需测出 v 即可。

任务二 α 粒子散射实验及原子的核式结构模型

[探究活动]

如图所示为卢瑟福所做的 α 粒子散射实验装置的示意图。



(1) 该实验中为什么用金箔作靶子?

提示: 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)当把荧光屏和显微镜一起分别放在图中的A、B、C、D四个位置时,相同时间内观察到哪个位置荧光屏上的闪光次数最多?

提示: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.(多选)关于原子的核式结构模型,下列说法正确的是 ()

- A. 原子中绝大部分是“空”的,原子核很小
- B. 电子在核外绕核旋转的向心力是原子核对它的库仑力
- C. 原子的全部电荷和质量都集中在原子核里
- D. 原子核直径的数量级是 10^{-10} m

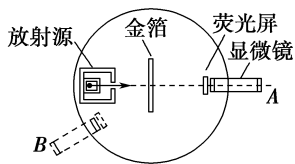
AB 解析:因为原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中在原子核内,而原子核又很小,所以原子内绝大部分区域是“空”的,A正确,C错误;电子绕原子核的圆周运动是由原子核与电子间的库仑引力提供向心力的,B正确;原子核直径的数量级是 10^{-15} m,原子直径的数量级是 10^{-10} m,D错误。

2. α 粒子散射实验又称金箔实验或卢瑟福 α 粒子散射实验。通过该实验,我们可以知道 ()

- A. 该实验证实了汤姆孙的“西瓜模型”是正确的
- B. 大多数 α 粒子穿过金箔后,其运动方向受到较大的影响
- C. 原子是一个球体,正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内,电子“镶嵌”在其中
- D. 占原子质量绝大部分的带正电的那部分物质集中在很小的空间范围内

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 α 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 α 粒子穿过原子时,电子对 α 粒子的影响很小,影响粒子运动的主要原因是原子核对 α 粒子有库仑力作用,离核远的 α 粒子受到的库仑斥力很小,运动方向改变小,只有当 α 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, α 粒子接近它的概率就很小,所以只有极少数 α 粒子发生大角度的偏转,而绝大多数 α 粒子基本沿原来方向前进,故B错误。

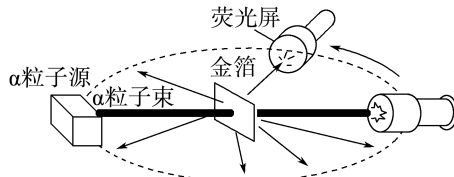
3.如图所示为卢瑟福 α 粒子散射实验装置的示意图,图中的显微镜可在圆周轨道上转动,通过显微镜前相连的荧光屏可观察 α 粒子在各个角度的散射情况。下列说法正确的是 ()



- A. 在图中的A、B两位置分别进行观察,相同时间内观察到屏上的闪光次数一样多
- B. 在图中的B位置进行观察,屏上观察不到任何闪光
- C. 卢瑟福选用不同金属箔片作为 α 粒子散射的靶,观察到的实验结果基本相似
- D. α 粒子发生散射的主要原因是 α 粒子撞击到金原子后反弹

C 解析: α 粒子散射实验的现象是绝大多数 α 粒子沿原方向前进,少数 α 粒子有大角度散射,极少数 α 粒子偏转的角度大于 90° ,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 α 粒子散射的靶,观察到的实验结果基本相似,选项C正确; α 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.如图所示是 α 粒子散射实验装置的示意图。从 α 粒子源发射的 α 粒子射向金箔,利用观测装置观测发现,绝大多数 α 粒子穿过金箔后,仍沿原来的方向前进,但有少数 α 粒子(约占 $\frac{1}{8000}$)发生了大角度偏转,极少数 α 粒子偏转的角度甚至大于 90° 。下列说法正确的是 ()



- A. α 粒子是从放射性物质中发射出来的快速运动的质子流
- B. 实验结果说明原子中的正电荷弥漫性地均匀分布在原子内
- C. α 粒子发生大角度偏转是金箔中的电子对 α 粒子的作用引起的
- D. α 粒子发生大角度偏转是带正电的原子核对 α 粒子的斥力引起的

D 解析: α 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, α 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 α 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 α 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 α 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 α 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。

任务总结

1. α 粒子散射实验现象

绝大多数 α 粒子穿过金箔后,基本上仍沿原来的方向前进,但有少数 α 粒子发生了大角度偏转,还有极少数粒子的偏转角度甚至大于 90° 。

2. 实验现象分析

(1)在 α 粒子散射实验中,绝大多数 α 粒子不偏转,说明原子内部绝大部分是空的。

(2)有少数 α 粒子发生大角度偏转,这一定不是与电子作用的结果,而是与原子中质量大的部分作用的结果。

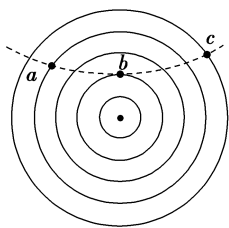
(3)大角度偏转的 α 粒子数很少,说明原子中质量大的部分体积很小,只有少数 α 粒子接近这部分时,才发生大角度偏转。

3. 实验结论

原子中所有正电荷和几乎全部质量都集中在很小的核上,原子中绝大部分是空的,电子在核外绕核旋转。

任务三 α 粒子散射实验中的受力和能量转化问题

1.如图所示,实线表示金原子核电场的等势面,虚线表示 α 粒子在金原子核电场中散射时的运动轨迹。设 α 粒子通过 a 、 b 、 c 三点时的速度分别为 v_a 、 v_b 、 v_c ,电势能分别为 E_{pa} 、 E_{pb} 、 E_{pc} ,则 ()



A. $v_b > v_a > v_c, E_{pb} < E_{pa} < E_{pc}$

B. $v_b < v_c < v_a, E_{pb} < E_{pa} < E_{pc}$

C. $v_b > v_a > v_c, E_{pb} > E_{pa} > E_{pc}$

D. $v_b < v_a < v_c, E_{pb} > E_{pa} > E_{pc}$

D 解析:金原子核和 α 粒子都带正电, α 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; α 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.关于 α 粒子散射实验,下列说法正确的是 ()

A. 绝大多数 α 粒子经过金箔后,发生了大角度的偏转

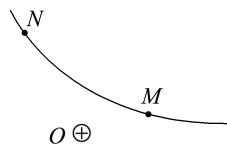
B. α 粒子在接近原子核的过程中,动能减少,电势能减少

C. α 粒子离开原子核的过程中,动能增大,电势能也增大

D. 对 α 粒子散射实验的数据进行分析,可以估算出原子核的大小

D 解析:绝大多数 α 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; α 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; α 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 α 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.卢瑟福的 α 粒子散射实验中,金箔中的原子核可以看作静止不动的点电荷。如图所示,某次实验中,高速运动的 α 粒子与位于 O 点的金原子核作用,实线表示 α 粒子运动的轨迹, M 和 N 为轨迹上的两点, N 点比 M 点离核远,则 ()



A. α 粒子在 M 点的加速度比在 N 点的小

B. α 粒子在 M 点的速度比在 N 点的小

C. α 粒子在 M 点的电势能比在 N 点的小

D. α 粒子从 M 点运动到 N 点,库仑力对它做的总功为负功

B 解析: M 点离金原子核更近,根据 $F = k \frac{Qq}{r^2}$,可知, α 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, α 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 α 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; α 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.英国物理学家卢瑟福曾做了用 α 粒子轰击金箔的实验。他发现绝大多数 α 粒子穿过金箔后仍沿原来的方向前进,少数 α 粒子却发生了较大角度的偏转,极少数 α 粒子偏转角度超过了 90° ,有的甚至被弹回。这就是 α 粒子散射实验。为了解释这个结

果,卢瑟福提出了原子的核式结构模型:在原子的中心有一个很小的核,叫作原子核,原子的几乎全部质量都集中在原子核里,带负电的电子在核外空间绕着核高速旋转(下列公式或数据均为已知:点电荷的电势 $U = \frac{kQ}{r}$, $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, 金的原子序数为 79, α 粒子质量 $m_\alpha = 6.65 \times 10^{-27} \text{ kg}$, α 粒子速度 $v = 1.6 \times 10^7 \text{ m/s}$, 电子电荷量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$).

- (1) 如何测定金原子核的半径大小?
 (2) 请估算金原子核的半径大小(结果保留一位有效数字)。

解析: (1) 当 α 粒子速度减为 0 时, α 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 $r = \frac{4keQ}{m_\alpha v^2}$, 解得 $r = 4 \times 10^{-14} \text{ m}$ 。

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

任务总结

1. α 粒子的受力特点

α 粒子与原子核间的作用力是库仑斥力 $F = \frac{kQq}{r^2}$ 。

(1) 式中 Q 为原子核的电荷量, q 为 α 粒子所带电荷量, r 为 α 粒子与原子核间的距离。

(2) α 粒子离原子核越近, 库仑力越大, 加速度越大; 反之, 则越小。

(3) α 粒子的受力方向沿原子核与 α 粒子的连线, 由原子核指向 α 粒子。

2. 库仑力对 α 粒子的做功情况

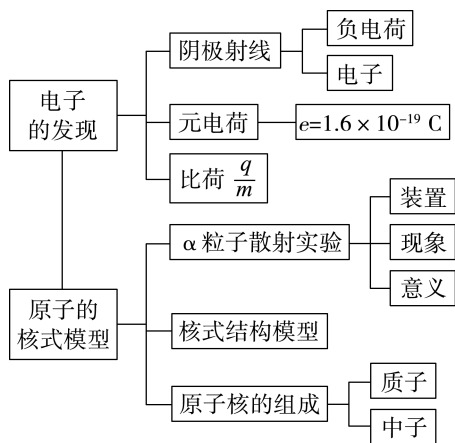
(1) 当 α 粒子靠近原子核时, 库仑斥力做负功, 电势能增加。

(2) 当 α 粒子远离原子核时, 库仑斥力做正功, 电势能减小。

3. α 粒子的能量转化

仅有库仑力做功时, 能量只在电势能和动能之间相互转化, 而总的能量保持不变。

提质归纳



课后素养评价(十三)

基础性·能力运用

知识点 1 电子的发现

1. 关于阴极射线的本质, 下列说法正确的是 ()

- A. 阴极射线的本质是氢原子
 B. 阴极射线的本质是电磁波
 C. 阴极射线的本质是电子
 D. 阴极射线的本质是 X 射线

C 解析: 阴极射线本质是电子, 关于阴极射线是电磁波、X 射线等都是在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。

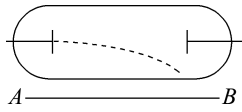
2. 汤姆孙研究阴极射线是 ()

- A. 通过电磁场测定阴极射线中粒子的比荷
 B. 通过阴极射线中粒子与原子发生作用
 C. 通过阴极射线的粒子穿过金箔来测定各方向粒子的数目

D. 通过阴极射线的粒子在饱和气体中的径迹来确定粒子的性质

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. (多选) 如图所示, 一支阴极射线管左侧不断有电子射入, 若在管的正下方放一通电直导线 AB , 发现射线径迹向下偏, 则 ()



- A. 导线中的电流由 A 流向 B
 B. 导线中的电流由 B 流向 A
 C. 若要使电子束的径迹往上偏, 可以通过改变 AB 中的电流方向来实现
 D. 电子束的径迹与 AB 中的电流方向无关

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。

知识点 2 α 粒子散射实验和原子的核式结构模型

4.(多选)在 α 粒子散射实验中,某个 α 粒子跟金箔中的电子相撞,则 ()

- A. α 粒子的动能几乎没有损失
- B. α 粒子将损失大部分动能
- C. α 粒子不会发生显著的偏转
- D. α 粒子将发生较大角度的偏转

AC **解析:** 电子的质量相对 α 粒子非常小,相当于子弹撞到尘埃,所以完全可以忽略,因此 α 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.在 α 粒子的散射实验中,有极少数 α 粒子发生大角度偏转,其原因是 ()

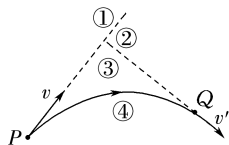
- A. 原子的正电荷和绝大部分质量集中在一个很小的核上
- B. 正电荷在原子中是均匀分布的

- C. 原子中存在着带负电的电子
- D. 原子只能处于一系列不连续的能量状态中

A **解析:** 由于电子的质量相对 α 粒子非常小,因此使 α 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 α 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。

知识点 3 α 粒子散射实验中的受力、能量转化问题

6.在卢瑟福的 α 粒子散射实验中,某一 α 粒子经过某一原子核附近时的运动轨迹如图中实线所示。图中 P、Q 为轨迹上的点,虚线是过 P、Q 两点并与轨迹相切的直线,两虚线和轨迹将平面分为四个区域。不考虑其他原子核对该 α 粒子的作用,那么关于该原子核的位置,下列说法正确的是 ()

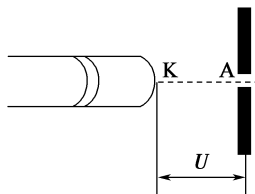


- A. 可能在①区域
- B. 可能在②区域
- C. 可能在③区域
- D. 可能在④区域

A **解析:** α 粒子带正电,原子核也带正电,对靠近它的 α 粒子产生斥力,故原子核不会在④区域;如原子核在②③区域,α 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。

综合性·创新提升

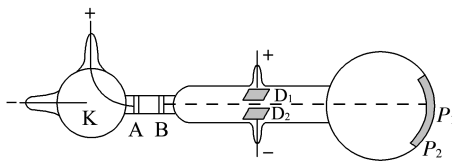
7.如图所示为示波管中电子枪的原理示意图,示波管内被抽成真空,K 为发射电子的阴极,A 为接在高电势点的加速阳极,A、K 间电压为 U,电子离开阴极时的速度可以忽略,电子加速后从 A 上的小孔中射出时的速度大小为 v。下列说法正确的是 ()



- A. 如果 A、K 间的距离减半,而电压仍为 U 不变,则电子离开 A 时的速率为 2v
- B. 如果 A、K 间的距离减半,而电压仍为 U 不变,则电子离开 A 时的速率为 $\frac{v}{2}$
- C. 如果 A、K 间的距离保持不变,而电压减半,则电子离开 A 时的速率为 $\frac{v}{2}$
- D. 如果 A、K 间的距离保持不变,而电压减半,则电子离开 A 时的速率为 $\frac{\sqrt{2}}{2}v$

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。

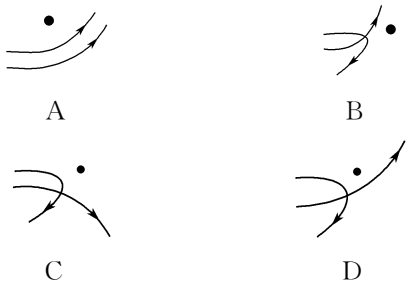
8.(多选)如图所示是汤姆孙的阴极射线管的示意图,下列说法正确的是 ()



- A. 若在 D₁、D₂ 两极之间不加电场和磁场,则阴极射线应打到最右端的 P₁ 点
- B. 若在 D₁、D₂ 两极之间加上竖直向下的电场,则阴极射线应向下偏转
- C. 若在 D₁、D₂ 两极之间加上竖直向下的电场,则阴极射线应向上偏转
- D. 若在 D₁、D₂ 两极之间加上垂直纸面向里的磁场,则阴极射线不偏转

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。

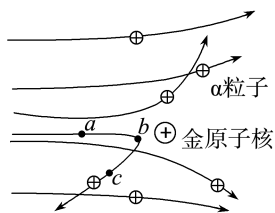
9. 在卢瑟福 α 粒子散射实验中,金箔中的金原子核可以看作静止不动,下列各图画出的是其中两个 α 粒子经历金箔散射过程的径迹,其中正确的是 ()



C 解析: α 粒子与金原子核均带正电荷,所以 α 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. 如图,在 α 粒子散射实验中,图中实线表示 α 粒子的运动轨迹,假定金原子核位置固定, a 、 b 、 c 为某

条轨迹上的三个点,其中 a 、 c 两点距金原子核的距离相等。下列说法正确的是 ()



- A. 卢瑟福根据 α 粒子散射实验提出了能量量子化理论
 B. 大多数 α 粒子击中金箔后几乎沿原方向返回
 C. 从 a 经过 b 运动到 c 的过程中, α 粒子的电势能先减小后增大
 D. α 粒子经过 a 、 c 两点时动能相等

D 解析: α 粒子的散射实验说明了原子具有核式结构,故 A 错误;根据 α 粒子散射现象可知,大多数 α 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; α 粒子受到斥力作用,根据电场力做功特点可知, α 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 α 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 α 粒子经过 a 、 c 两点时动能相等,故 D 正确。

3 光谱 氢原子光谱

学习任务目标

- 知道光谱、光谱的分类、光谱分析、氢原子光谱等的概念。(物理观念)
- 掌握氢原子光谱的实验规律。(科学思维)
- 通过对光谱及光谱分析的学习,了解利用光谱探索原子结构的方法。(科学态度与责任)

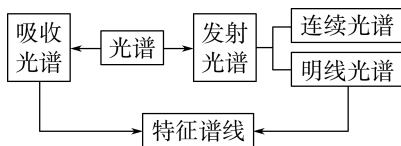
问题式预习

知识点一 光谱及其分类

- 光谱:复色光通过分光镜后,按波长顺序排列成一条光带,称为光谱。
- 连续光谱:连续的彩色光带,由波长连续分布的光组成。
- 明线光谱:在较暗的连续光谱的背景上出现一些分立的彩色亮线,称为明线光谱,又称光谱线。
- 发射光谱:由发光物质所发的光直接产生的光谱。如连续光谱和明线光谱。
- 吸收光谱:在较强的连续光谱的背景上有一些分立的暗线,称为吸收光谱,又称暗线光谱。

- 线状谱:对某种原子,发射光谱和吸收光谱都是分立的谱线,称为线状谱。
- 原子光谱:同一种原子发射光谱中的明线与吸收光谱中的暗线位置是相同的,称为这种原子的特征光谱,又称原子光谱。

[科学思维]



[判一判]

1. 各种原子的发射光谱都是连续谱。 (×)

2. 不同原子的发光频率是不一样的。 (✓)
3. 稀薄气体的分子在强电场的作用下会变成导体并发光。 (✓)

知识点二 光谱分析及氢原子光谱

1. 光谱分析

(1) 定义: 利用原子的特征光谱来鉴别物质和确定物质的组成成分, 这种方法叫作光谱分析。

(2) 优点: 灵敏度高。

2. 氢原子光谱

从氢气放电管可以获得氢原子光谱, 在可见光区内, 氢原子光谱有四条分立的谱线, 氢原子受激发只能发出几种特定频率的光。

3. 巴尔末公式

(1) 表达式: $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) (n=3, 4, 5, 6)$ 。

广义巴尔末公式: $\frac{1}{\lambda} = R_A \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) (m=1, 2, 3, \dots; n=m+1, m+2, m+3, \dots)$

(2) 说明

① 巴尔末公式适用于氢光谱可见光区的谱线;

② R_H 叫作里德伯常量, $R_H = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$;

③ n 只能取整数, 氢原子光谱的波长只能取分立值。

4. 经典理论的局限性

经典物理学既无法解释原子的稳定性, 又无法解释原子光谱的分立特征。

[科学思维]

根据巴尔末公式可知氢原子发光的波长是分立值, 它是人为规定的吗?

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]

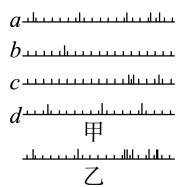
- 各种原子的发射光谱都是线状谱, 并且只能发出几种特定频率的光。 (✓)
- 可以利用光谱分析来鉴别物质和确定物质的组成成分。 (✓)
- 我们在观察氢原子的光谱时, 发现它只有几条分立的不连续的亮线。 (✓)
- 在巴尔末公式中, n 越大, 氢光谱的波长越长。 (×)

任务型课堂

任务一 光谱及光谱分析

[探究活动]

由于各种元素的原子结构不同, 都可以产生自己的特征光谱。如果一个样品经过激发, 在感光板上有几种元素的谱线出现, 就证明该样品中有这几种元素。光谱分析十分突出的优点是一次可以分析多种元素, 精度、灵敏度高, 且不需纯样品, 只需利用已知谱图, 即可进行光谱定性分析。如图甲所示为 a 、 b 、 c 、 d 四种元素的线状谱, 图乙是某矿物的线状谱。



通过光谱分析可以了解该物质不含的是什么元素? 请说出你的依据。

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. 下列关于光谱的说法, 正确的是 ()
- A. 太阳光谱是连续谱

B. 日光灯产生的光谱是连续谱

C. 钠盐在酒精灯火焰上汽化后所产生的光谱是线状谱

D. 白光通过钠蒸气, 所产生的光谱是线状谱

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. 如图甲、乙、丙所示分别是原子的发射光谱、原子的吸收光谱、太阳光谱图像, 则下列说法正确的是 ()



- A. 大多数原子的发射光谱是线状谱
- B. 太阳光谱中的暗线表明太阳大气中正好不存在这些元素

C. 可见光谱有分立特征,不可见光的光谱没有分立特征

D. 电子绕原子核运动的轨道是不连续的,所以我们看到了原子光谱的分立特征

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.(多选)关于光谱,下列说法正确的是 ()

A. 进行光谱分析可以用连续光谱,也可以用吸收光谱

B. 光谱分析的优点是非常灵敏

C. 利用线状光谱和吸收光谱都可以对物质进行分析

D. 观察月亮的光谱可以分析出月亮的化学组成

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} 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。

任务总结

1. 光谱的分类和比较

光谱分类		产生条件	光谱形式
发射光谱	连续光谱	炽热固体、液体和高压气体发光形成的	连续分布,一切波长的光都有
	明线光谱	稀薄气体发光形成的	一些不连续的亮线组成,不同元素谱线不同(又叫特征谱线)
吸收光谱		温度很高的光源发出的白光通过温度较低的蒸气或气体后,某些波长的光被吸收后形成的	用分光镜观察时,见到连续谱背景上出现一些暗线(与特征谱线对应)

2. 光谱分析

(1) 优点:灵敏度高,样品中一种元素的质量达到 10^{-10} g 时就可以被检测到。

(2) 用于光谱分析的光谱:线状谱和吸收光谱。

(3) 应用:发现新元素;鉴别物体的组成成分。

任务二 氢原子光谱的实验规律

1.(多选)下列说法正确的是 ()

A. 所有氢原子光谱的波长都可由巴尔末公式求出

B. 根据巴尔末公式可知,只要 n 取不同的值,氢原子光谱的谱线可以有无数条

C. 巴尔末系是氢原子光谱中的可见光部分

D. 氢原子光谱是线状谱的一个例证

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.(多选)下列关于巴尔末公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 的说法,正确的是 ()

A. 此公式是巴尔末在研究氢原子光谱特征时发现的,由里德伯改写

B. 公式中 n 可取任意值,故氢原子光谱是连续谱

C. 公式中 n 只能取不小于 3 的整数值,故氢原子光谱是线状谱

D. 公式不但适用于氢原子光谱的分析,也适用于其他原子的光谱

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 λ 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. 巴尔末通过对氢原子光谱的研究总结出巴尔末公式(由里德伯改写): $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ (式中 $n = 3, 4, 5, 6$) 后人把可用该公式描述的谱线系称为巴尔末系,氢原子光谱的巴尔末系中波长最长的光波的光子频率为 ν_1 ,其次为 ν_2 ,则 $\frac{\nu_1}{\nu_2}$ 为 ()

A. $\frac{20}{27}$

B. $\frac{27}{20}$

C. $\frac{2}{3}$

D. $\frac{3}{2}$

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. 在氢原子光谱的紫外光区的谱线系中有多条谱线,试利用赖曼系公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ($n = 2, 3,$

4, …), 计算紫外光区的最长波和最短波的波长。

($R_H = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$, 结果均保留三位有效数字)

解析: 根据赖曼系公式

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

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

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

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

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

任务总结

1. 氢原子光谱的特点

在氢原子光谱图中的可见光区内, 由右向左, 相邻谱线间的距离越来越小, 表现出明显的规律性。

2. 巴尔末公式

(1) 巴尔末对氢原子光谱的谱线进行研究得到了下面的公式(由里德伯改写):

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) (n = 3, 4, 5, 6), \text{ 该公式称为巴尔末公式。}$$

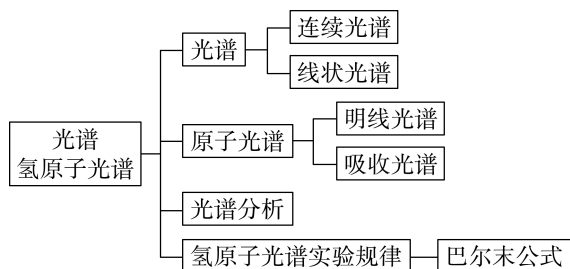
(2) 公式中 n 不能连续取值, 波长是分立的值。

3. 其他谱线

除了巴尔末系, 氢原子光谱在红外光区和紫外光区的其他谱线, 也都满足与巴尔末公式类似的关系式, 称之为广义巴尔末公式:

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

► 提质归纳



课后素养评价(十四)

基础性·能力运用

知识点 1 光谱

1. 关于原子光谱, 下列说法正确的是 ()

- A. 原子光谱是连续的
- B. 由于原子都是由原子核和电子组成的, 因此各种原子的原子光谱是相同的
- C. 各种原子的原子结构不同, 但各种原子的原子光谱可能是相同的
- D. 分析物质发光的光谱, 可以鉴别物质中含有哪些元素

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. (多选) 下列关于特征谱线的几种说法, 正确的有 ()

- A. 线状谱中的亮线和吸收光谱中的暗线都是特征谱线

- B. 线状谱中的亮线是特征谱线, 吸收光谱中的暗线不是特征谱线
- C. 线状谱中的亮线不是特征谱线, 吸收光谱中的暗线是特征谱线
- D. 同一元素的吸收光谱中的暗线与线状谱中的亮线是相对应的

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. 日光灯正常工作时, 灯管内的稀薄汞蒸气由于气体放电而发射几种特定的光子, 而汞的明线光谱中既有可见光, 又有紫外线, 其中只有紫外线全部被管壁上的荧光粉吸收, 并使荧光粉受到激发而发射波长几乎连续分布的可见光。日光灯灯光经过分光镜后形成的光谱是 ()

- A. 与白炽灯光的光谱相同的连续光谱
 B. 与太阳光光谱相同的光谱
 C. 连续光谱与汞的明线光谱(除紫外线外)相加的光谱
 D. 吸收光谱

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。

知识点 2 氢原子光谱的实验规律

- 4.(多选)对巴尔末公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 的理解,正确的是 ()

- A. 公式是巴尔末在研究氢原子光谱特征时发现的
 B. 公式中的 n 可取任意值,故氢原子光谱是连续谱
 C. 公式中的 n 只能取大于或等于 3 的整数值,故氢原子光谱是线状谱
 D. 公式不但适用于氢原子光谱的分析,也适用于其他原子的光谱分析

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 的整数值,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. 巴尔末系谱线波长满足巴尔末公式 $\frac{1}{\lambda} =$

$R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ($n=3,4,5,6$),在氢原子光谱可见光区,最长波长与最短波长之比为 ()

- A. 8:5 B. 4:5 C. 9:5 D. 5:8

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, λ 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. 关于巴尔末公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 的理解,正确的是 ()

- A. 式中 n 只能取整数, R_H 称为巴尔末常量
 B. 巴尔末系的 4 条谱线位于红外区
 C. 在巴尔末系中 n 值越大,对应的波长 λ 越短
 D. 巴尔末系的 4 条谱线是氢原子从 $n=2$ 能级向 $n=3,4,5,6$ 能级跃迁时辐射产生的

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 λ 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。

综合性·创新提升

7. 下列说法正确的是 ()

- A. 烧红的煤块和白炽灯发出的都是连续光谱
 B. 生活中试电笔内氖管和霓虹灯发光都是连续光谱
 C. 用光谱管观察酒精灯火焰上钠盐的光谱,可以看到钠的吸收光谱
 D. 神舟二十一号三名航天员在绕着地球飞行时,能够观察到太阳的连续光谱

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. 关于光谱和光谱分析,下列说法正确的是 ()

- A. 太阳光谱是连续谱,分析太阳光谱可以知道太阳内部的化学组成
 B. 霓虹灯和炼钢炉中炽热铁水产生的光谱都是线状谱
 C. 强白光通过酒精灯火焰上的钠盐,形成的是吸收光谱
 D. 进行光谱分析,可以利用发射光谱,也可以利用吸收光谱

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.(多选)根据玻尔理论,推导出了氢原子光谱谱线的波长公式: $\frac{1}{\lambda}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$, m 与 n 都是正整数,且 $n>m$ 。当 m 取定一个数值时,不同数值的 n 得出的谱线属于同一个线系。如 $m=1$ 时, $n=2,3,4,\dots$,组成的线系叫赖曼系; $m=2$ 时, $n=3,4,5,\dots$,组成的线系叫巴尔末系,则 ()

- A. 赖曼系中 $n=2$ 对应的谱线波长最长
 B. 赖曼系中 $n=2$ 对应的谱线频率最大
 C. 巴尔末系中 $n=3$ 对应的谱线波长最长
 D. 赖曼系中所有谱线的频率都比巴尔末系谱线的频率大

ACD 解析:根据氢原子光谱波长公式 $\frac{1}{\lambda}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ 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, $\frac{1}{\lambda}$ 越小,波长越长, $n=2$ 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, $\frac{1}{\lambda}$ 越小,波长越长, $n=3$ 时 n 最小,波长最长,C正确;赖曼系在 $n=2$ 时有最小频率 $f=c\cdot\frac{3R_{\text{H}}}{4}$,也大于巴尔末系最大频率 $f=\frac{R_{\text{H}}}{4}(n\rightarrow\infty)$,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.已知氢原子光谱中巴尔末线系第一条谱线 H_{α} 的波长为 $6.565\times 10^{-7}\text{ m}$ 。

- (1)试推算里德伯常量的值。
 (2)利用巴尔末公式求其中第四条谱线的波长和对应光子的能量。

解析:(1)巴尔末系中第一条谱线为 $n=3$,即

$$\frac{1}{\lambda_1}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{3^2}\right)$$

$$R_{\text{H}}=\frac{36}{5\lambda_1}=\frac{36}{5\times 6.565\times 10^{-7}}\text{ m}^{-1}\approx 1.097\times 10^7\text{ m}^{-1}.$$

(2)巴尔末系中第四条谱线对应 $n=6$,

$$\text{则}\frac{1}{\lambda_4}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{6^2}\right)$$

$$\lambda_4=\frac{36}{8\times 1.097\times 10^7}\text{ m}\approx 4.102\times 10^{-7}\text{ m}$$

$$E=h\nu=h\cdot\frac{c}{\lambda_4}=\frac{6.63\times 10^{-34}\times 3\times 10^8}{4.102\times 10^{-7}}\text{ J}$$

$$\approx 4.85\times 10^{-19}\text{ J}.$$

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.氢原子光谱除了巴尔末系,还有赖曼系、帕邢系等,其中帕邢系的公式为 $\frac{1}{\lambda}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)$, $n=4,5,6,\dots$, $R_{\text{H}}=1.10\times 10^7\text{ m}^{-1}$ 。若已知帕邢系的氢原子光谱在红外线区域。

- (1) $n=6$ 时,求对应谱线的波长。
 (2)帕邢系形成的谱线在真空中的波速为多少?
 $n=6$ 时,传播频率为多大?

解析:(1)由帕邢系公式 $\frac{1}{\lambda}=R_{\text{H}}\left(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2}\right)$

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 $v=3\times 10^8\text{ m/s}$

$$\text{由}\nu=\frac{v}{\lambda}=\lambda\nu$$

$$\text{得}\nu=\frac{v}{\lambda}=\frac{3\times 10^8}{1.09\times 10^{-6}}\text{ Hz}\approx 2.75\times 10^{14}\text{ Hz}.$$

答案:(1) $1.09\times 10^{-6}\text{ m}$

(2) $3\times 10^8\text{ m/s}$ $2.75\times 10^{14}\text{ Hz}$

4 玻尔的原子模型 能级

学习任务目标

1. 知道玻尔的原子结构理论的内容。(物理观念)
2. 了解能级、能级跃迁、能量量子化、基态、激发态等概念和相关的实验规律。(物理观念)
3. 掌握氢原子能级图,能用原子能级图分析、推理、计算有关问题。(科学思维)
4. 通过对玻尔的原子结构理论的建立过程以及其局限性的了解,体会科学家的探究精神。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 玻尔的原子结构理论

1. 量子化

(1) 轨道量子化: 电子围绕原子核运动的轨道不是任意的, 而是一系列分立的、特定的轨道。

(2) 能量量子化

① 能级: 不同轨道的原子对应不同的状态, 同时具有不同的能量, 这些不同的能量值称为能级, 用 E_n 表示, n 称为量子数。

② 定态: 电子在轨道上运动时, 原子是稳定的, 这些状态称为定态。能量最低的状态称为基态, 其他状态为激发态。

2. 跃迁

(1) 定义: 原子中的电子从一个能量状态到另一个能量状态的突变。

(2) 频率条件: 当电子从能量较高的定态 E_n 跃迁到另一能量较低的定态 E_m 时 (m, n 为量子数且 $m < n$), 会发射一个光子, 该光子的能量 $h\nu = E_n - E_m$, 这个式子被称为玻尔频率条件。

[科学思维]

1. 如何理解玻尔的原子结构理论的基本假设中的定态?

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. 电子由高能量状态跃迁到低能量状态时, 释放出的光子的频率可以是任意值吗?

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. 玻尔认为电子运行轨道半径是任意的, 就像人造地球卫星, 能量大一些, 轨道半径就会大点。(×)

2. 玻尔认为原子的能量是量子化的, 不能连续取值。(√)

3. 原子吸收某种频率的光子时会从较低的能量态跃迁到较高的能量态。(√)

4. 原子能吸收任意频率的光子发生跃迁。(×)

知识点二 用玻尔的原子结构理论解释氢原子光谱

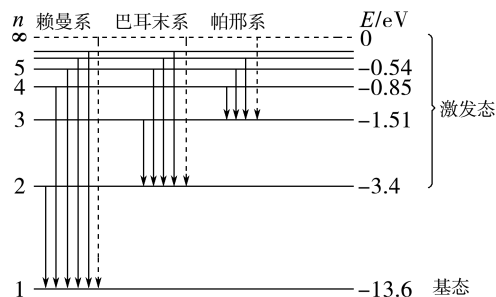
1. 氢原子的能级公式: $E_n = \frac{E_1}{n^2}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), 其中

$$E_1 = -13.6 \text{ eV}.$$

2. 氢原子的轨道半径公式: $r_n = n^2 r_1$ ($n = 1, 2, 3, \dots$), 其中 $r_1 = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

3. 玻尔理论对氢光谱的解释

(1) 氢原子的能级图



(2) 解释巴尔末公式

根据频率条件和能级公式可得光子能量 $h\nu = E_n - E_m = E_1 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$, 将光子的频率 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 代入可得:

$$\frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{hc} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad -\frac{E_1}{hc} \text{ 与里德伯常量相当吻合。}$$

(3) 解释氢原子光谱的谱线系

从玻尔理论来看, 赖曼系谱线是电子由 $n > 1$ 的轨道跃迁到 $n = 1$ 的轨道时向外辐射的光子形成的; 巴耳末系谱线是电子由 $n > 2$ 的轨道跃迁到 $n = 2$ 的轨道时向外辐射的光子形成的; 帕邢系谱线是电

子由 $n > 3$ 的轨道跃迁到 $n = 3$ 的轨道时向外辐射的光子形成的。

4. 玻尔原子结构理论的意义

(1) 成功之处: 玻尔的原子结构理论第一次将量子概念引入原子领域, 成功地解释了氢光谱, 推动了量子理论的发展。

(2) 局限性: 不能解释谱线的强度和偏振情况, 解释复杂光谱时遇到了困难。

[科学思维]

氢原子发生能级跃迁时的能量是如何变化的?

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]

一个氢原子从 $n = 3$ 的能级跃迁到 $n = 2$ 的能级, 该氢原子 ()

- A. 放出光子, 能量增加
- B. 放出光子, 能量减少
- C. 吸收光子, 能量增加
- D. 吸收光子, 能量减少

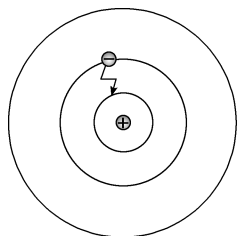
B 解析: 一个氢原子从 $n = 3$ 能级跃迁到 $n = 2$ 能级, 即从高能级向低能级跃迁, 放出光子, 能量减少, 故 B 正确。

任务型课堂

任务一 玻尔的原子结构理论的基本假设

[探究活动]

玻尔是丹麦物理学家, 他于 1913 年在原子结构问题上迈出了革命性的一步, 提出了自己的原子结构假说。他提出原子核外的电子处于一系列不连续的轨道上, 原子在不同的轨道上具有不同的能量(如图所示)。



(1) 原子处于什么状态时稳定, 处于什么状态时不稳定?

提示: 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具有怎样的对应关系?

提示: 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) 氢原子吸收或辐射光子的频率条件是什么?

提示: 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. 根据玻尔理论可知, 氢原子的电子绕氢原子核运动的半径 ()

- A. 可以取任意值
- B. 可以在一定范围内取任意值
- C. 是某一特定值
- D. 是一系列不连续的特定值

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. 关于玻尔的原子模型理论, 下列说法正确的是 ()

- A. 原子可以处于连续的能量状态中
- B. 原子的能量状态是不连续的
- C. 原子中的核外电子绕核做变速运动时一定向外辐射能量
- D. 原子中的电子绕核运动的轨道半径是连续的

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. 氢原子辐射出一个光子后, 根据玻尔理论, 下列说法正确的是 ()

- A. 电子绕核旋转的半径增大
- B. 氢原子的能量增大
- C. 氢原子的电势能增大

D. 氢原子核外电子的速率增大

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.(多选)玻尔在他提出的原子模型中所做的假设有 ()

- A. 原子处在具有一定能量的定态中,虽然电子做变速运动,但不向外辐射能量
 B. 原子的不同能量状态与电子沿不同的圆形轨道绕核运动相对应,而电子的轨道分布是不连续的
 C. 电子从一个轨道跃迁到另一个轨道时,辐射(或吸收)一定频率的光子
 D. 电子跃迁时辐射的光子的频率等于电子绕核做圆周运动的频率

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。

任务总结

1. 量子化

氢原子的能级公式 $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$, 对应的轨道半径 $r_n = n^2 r_1$, 其中 $n = 1, 2, 3 \dots$, n 是正整数, 称为量子数。量子数 n 越大, 表示能级越高。

2. 跃迁

波尔频率条件:

高能级 $E_m \xrightarrow{\text{发射光子 } h\nu = E_m - E_n}$ 低能级 E_n
 $\xleftarrow{\text{吸收光子 } h\nu = E_m - E_n}$

3. 对原子的能量的说明

(1) 原子的能量包括: 原子的原子核与电子所具有的电势能和电子运动的动能, 即

$$E_n = E_{kn} + E_{pn}$$

(2) 电子绕氢原子核运动时:

$$k \frac{e^2}{r_n^2} = m \frac{v_n^2}{r_n}$$

故 $E_{kn} = \frac{1}{2} m v_n^2 = \frac{k e^2}{2 r_n}$, 电子轨道半径越大, 电子绕核运动的动能越小。

(3) 当电子的轨道半径增大时, 库仑引力做负功, 原子的电势能增大; 反之, 电势能减小。

(4) 电子的轨道半径增大时, 说明原子吸收了能量, 电子从能量较低的轨道跃迁到了能量较高的轨道, 即电子轨道半径越大, 原子的能量 E_n 越大。

(5) 一般把自由的电子处于无穷远处且静止时的能量作为零点参考值, 故氢原子的能量值是负值。

任务二 氢原子能级图和跃迁

1. 如图所示为氢原子的能级图。用光子能量为 13.06 eV 的光照射一群处于基态的氢原子, 则可能观测到氢原子发射的不同波长的光有 ()

n	E/eV
5	-0.54
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4

1 ————— -13.6

- A. 15 种 B. 10 种 C. 4 种 D. 1 种

B 解析:基态的氢原子的能级值为 -13.6 eV, 吸收 13.06 eV 的能量后跃迁到能量为 -0.54 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。

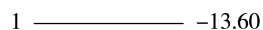
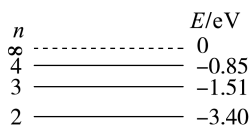
2. 氦原子被电离出一个核外电子, 形成类氢结构的氦离子, 已知基态的氦离子能量为 $E_1 = -54.4$ eV, 氦离子的能级示意图如图所示, 在具有下列能量的光子或者电子中, 不能被基态氦离子吸收而发生跃迁的是 ()

n	E/eV
∞	0
E_4	-3.4 eV
E_3	-6.0 eV
E_2	-13.6 eV
E_1	-54.4 eV

- A. 42.8 eV(光子)
 B. 43.2 eV(电子)
 C. 41.0 eV(电子)
 D. 54.4 eV(光子)

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氦离子吸收, 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。

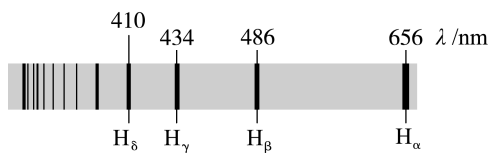
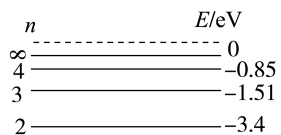
3. 氢原子能级示意图如图所示。光子能量在 1.63~3.10 eV 的光为可见光。要使处于基态($n=1$)的氢原子被激发后可辐射出可见光的光子,最少应给氢原子提供的能量为 ()



- A. 12.09 eV B. 10.20 eV
C. 1.89 eV D. 1.51 eV

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. 图甲为氢原子能级图,图乙为氢原子的光谱, H_α 、 H_β 、 H_γ 、 H_δ 是可见光区的四条谱线,其中 H_β 谱线是氢原子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射产生的。下列说法正确的是 ()

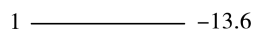
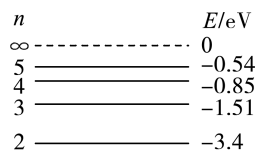


- A. 这四条谱线中, H_α 谱线光子频率最大
B. 氢原子的发射光谱属于连续光谱
C. 用能量为 3.5 eV 的光子照射处于 $n=2$ 的激发态氢原子,氢原子不发生电离
D. 氢原子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级,电子动能增大

D 解析: 由图乙可知 H_α 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. 如图所示为氢原子的能级示意图。已知蓝光光子的能量范围为 2.53~2.76 eV,紫光光子的能量范围为 2.76~3.10 eV。若使处于基态的氢原子被激发后,可辐射蓝光,不辐射紫光,则激发氢原子的光子能量为 ()



- A. 10.20 eV B. 12.09 eV
C. 12.75 eV D. 13.06 eV

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 $\Delta E = E_4 - E_1 = 12.75 \text{ eV}$,C 正确。

任务总结

1. 对氢原子能级图的理解

(1) 能级图中 n 称为量子数, E_1 代表氢原子的基态能量,即量子数 $n=1$ 时对应的能量,其值为 -13.6 eV 。 E_n 代表电子在第 n 个轨道上运动时的能量。

(2) 作能级图时,能级横线间的距离和相应的能级差相对应,能级差越大,横线间隔越宽,所以量子数越大,能级越密,竖直线箭头表示原子跃迁的方向,长度表示辐射光子能量的大小, $n=1$ 是原子的基态, $n \rightarrow \infty$ 是原子电离时对应的状态。

2. 能级跃迁

处于激发态的原子是不稳定的,它会自发地向较低能级跃迁,经过一次或几次跃迁到达基态。所以一群氢原子处于量子数为 n 的激发态时,可能辐射出的光谱线条数为 $N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$ 。

3. 光子的发射

原子由高能级向低能级跃迁时以光子的形式放出能量,发射光子的频率由公式 $h\nu = E_n - E_m$ (E_n 、 E_m 是始、末两个能级值且 $n > m$) 决定。能级差越大,放出光子的频率就越高。

4.使原子发生能级跃迁的两种粒子——光子与实物粒子

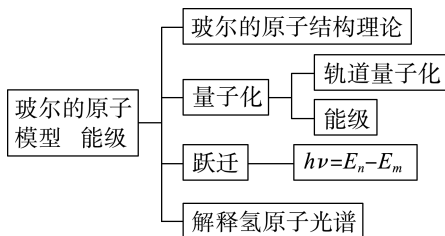
(1)原子若是吸收光子的能量而被激发,该光子的能量必须等于两能级的能量差,否则不被吸收,不存在激发到 n 能级时能量有余,而激发到 $(n+1)$ 能级时能量不足,则会激发到 n 能级的情况。

(2)原子还可以吸收外来实物粒子(例如:自由电子)的能量而被激发,由于实物粒子的动能可部分被原子吸收,因此只要入射粒子的能量大于或等于两能级的能量差($E \geq E_n - E_m$),就可使原子发生能级跃迁。

5.原子的电离

若入射光子的能量大于原子的电离能,如处于基态的氢原子电离能为 13.6 eV ,则原子也会被激发跃迁,这时核外电子脱离原子核的束缚成为自由电子,光子能量大于电离能的部分成为自由电子的动能。

► 提质归纳



课后素养评价(十五)

基础性·能力运用

知识点 1 玻尔的原子结构理论的基本假设

1.(多选)由玻尔理论可知,下列说法中正确的是 ()

- A. 电子绕核运动有加速度,就要向外辐射电磁波
- B. 处于定态的原子,其电子做变速运动,但它并不向外辐射能量
- C. 原子内电子的可能轨道是连续的
- D. 对于氢原子,电子的轨道半径越大,原子的能量越大

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;对于氢原子,电子轨道半径越大,原子能量越大,选项 D 正确。

2.(多选)按照玻尔的原子结构理论,下列表述正确的是 ()

- A. 核外电子运动轨道半径可取任意值
- B. 氢原子中的电子离原子核越远,氢原子的能量越大
- C. 电子跃迁时,辐射或吸收光子的能量由能级的能量差决定,即 $h\nu = E_m - E_n (m > n)$
- D. 氢原子从激发态向基态跃迁的过程,可能辐射能量,也可能吸收能量

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.(多选)根据玻尔理论,氢原子中量子数 n 越大 ()

- A. 电子的轨道半径越大
- B. 核外电子的速率越大
- C. 氢原子能级的能量越大
- D. 核外电子的电势能越大

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。

知识点 2 玻尔理论对氢原子光谱的解释

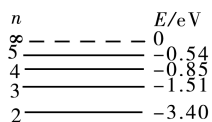
4.一个氢原子中的电子从一半径为 r_a 的轨道自发地直接跃迁到另一半径为 r_b 的轨道,已知 $r_a > r_b$,则在此过程中 ()

- A. 原子发出一系列频率的光子
- B. 原子要吸收一系列频率的光子
- C. 原子要吸收某一频率的光子
- D. 原子要辐射某一频率的光子

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.我国“北斗三号”全球组网卫星采用星载氢原子钟。如图所示为氢原子的能级图,现让一束单色光照射到一群处于基态(量子数 $n=1$)的氢原子上,受激的氢原子能自发地发出 6 种不同频率的光,则照射氢原子的单色光的光子能量为 ()



- A. 13.6 eV
B. 3.4 eV
C. 12.09 eV
D. 12.75 eV

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。

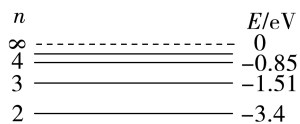
综合性·创新提升

- 6.(多选)根据玻尔理论,氢原子核外电子在 $n=1$ 和 $n=2$ 的轨道上运动,其运动的 ()
- A. 轨道半径之比为 1:4
B. 动能之比为 4:1
C. 速度大小之比为 4:1
D. 周期之比为 1:8

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 $\frac{mv_n^2}{r_n} = \frac{ke^2}{r_n^2}$,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;由电子运动的速度 $v_n = e\sqrt{\frac{k}{mr_n}}$,得 $v_1 : v_2 = 2 : 1$,C 错误;由电子绕核做圆周运动的周期 $T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n} = \frac{2\pi r_n}{e} \sqrt{\frac{mr_n}{k}}$,得 $T_1 : T_2 = 1 : 8$,D 正确。

- 7.2022 年 10 月,我国自主研发的“夸父一号”太阳探测卫星成功发射。该卫星搭载的莱曼阿尔法太阳望远镜可用于探测波长为 121.6 nm 的氢原子谱线(对应的光子能量为 10.2 eV)。根据如图所示的氢原子能级图,可知此谱线来源于太阳中氢原子 ()



1 ————— -13.6

- A. $n=2$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁
B. $n=3$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁
C. $n=3$ 和 $n=2$ 能级之间的跃迁
D. $n=4$ 和 $n=2$ 能级之间的跃迁

A 解析:根据题意可知,波长为 121.6 nm 的氢原子谱线对应的光子能量为 10.2 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.已知氢原子的基态能量为 E_1 ,激发态能量为 $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$,其中 $n=2,3,4,\dots$ 。已知普朗克常量为 h ,电子的质量为 m ,则下列说法正确的是 ()

- A. 氢原子从基态跃迁到激发态后,核外电子动能减小,原子的电势能增大,动能和电势能之和不变
B. 基态氢原子中的电子吸收一频率为 ν 的光子被电离后,电子的速度大小为 $\sqrt{\frac{2(h\nu - E_1)}{m}}$
C. 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 6 种不同频率的光
D. 第一激发态氢原子的电离能等于 $-\frac{1}{4} E_1$

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 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{2r}$,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 $h\nu + E_1 = \frac{1}{2}mv^2$, 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. 红外测温仪的原理: 捕捉被测物体辐射的光线中的红外线, 并转变成电信号。如图所示为氢原子能级示意图, 已知红外线单个光子能量的最大值为 1.62 eV, 要使氢原子辐射出的光子可被红外测温仪捕捉, 最少应给处于激发态的氢原子提供的能量为

()

n	E/eV
∞	0
5	-0.54
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4

1 ————— -13.6

- A. 10.20 eV B. 2.89 eV
C. 2.55 eV D. 1.89 eV

C 解析: 处于 $n=2$ 能级的氢原子不能吸收 10.20 eV、2.89 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 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 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 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 eV, 不能被红外测温仪捕捉, 选项 D 错误。

10. 氢原子基态能量 $E_1 = -13.6$ eV, 电子绕核运动的

半径 $r_1 = 0.53 \times 10^{-10}$ m, $E_n = \frac{E_1}{n^2}$, $r_n = n^2 r_1$, 1 eV

$= 1.6 \times 10^{-14}$ J, 普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s。

当氢原子处于 $n=4$ 激发态时, 求:

- (1) 原子系统具有的能量;
 - (2) 电子在轨道上运动的动能;
 - (3) 电子具有的电势能;
 - (4) 电子向低能级跃迁时辐射的光子的最低频率。
- (结果均保留两位有效数字)

解析: (1) $E_4 = \frac{E_1}{4^2} = -0.85$ eV。

(2) $r_4 = 4^2 r_1$, $k \frac{e^2}{r_4^2} = m \frac{v^2}{r_4}$

$E_{k4} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{ke^2}{32r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{32 \times 0.53 \times 10^{-10}}$ J \approx

1.36×10^{-19} J = 0.85 eV。

(3) 由于 $E_4 = E_{k4} + E_{p4}$, 因此电势能 $E_{p4} = E_4 - E_{k4} = -1.7$ 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 eV $- (-1.51$ eV) = 0.66 eV。

解得 $\nu \approx 1.6 \times 10^{14}$ Hz。

答案: (1) -0.85 eV (2) 0.85 eV

(3) -1.7 eV (4) 1.6×10^{14} Hz

单元活动构建

单元活动 4 原子结构

「单元任务」

任务内容	
任务一	光谱及氢原子光谱
任务二	玻尔的原子模型

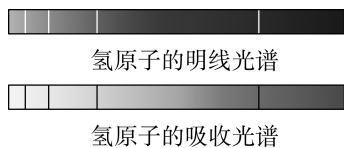
「任务引导」

资料 1:早在 17 世纪,牛顿就发现了日光通过三棱镜后的色散现象,并把实验中得到的彩色光带叫作光谱。在原子的核式结构模型提出之前,科学家就已经知道每种元素的原子发出的光都有自己的特征,于是,光又成为探索原子结构的一个突破口。由于原子发光的频率只与原子结构有关,因此光谱就成了元素的特征,利用原子光谱就可以鉴别物质的化学组成中是否存在这种元素。

资料 2:光,一种大家熟悉却又陌生的物质,那么光是什么?光是怎么产生的?光是由电子能量改变时产生的。光是电子从高能级状态转变到低能级状态时,所失去的能量转化为光子。光的本质是电磁波,电磁波分为无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线等几种。无线电波一般是由导体内的自由电子被激发,在能量降低时发出。红外线、可见光、紫外线是由原子的价电子被激发到高能级后,向低能级跃迁时产生的。X 射线由原子的内层电子激发一跃迁产生。 γ 射线来自原子核内部,在原子核内涉及放射性衰变、核裂变、核聚变等过程中,有电子的产生和消亡时,常有 γ 光子伴随产生。同时,在高速粒子的碰撞、衰变、正反粒子湮灭时也常常产生 γ 光子,例如电子和正电子湮灭时,就产生一对 γ 光子。

任务一 光谱及氢原子光谱

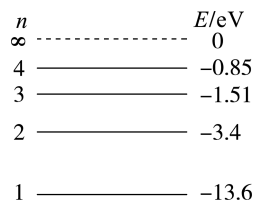
活动 如图所示的是氢原子的两种光谱。比较这两种光谱,可以得到什么结论?



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 玻尔的原子模型

活动 如图所示为氢原子最低的四个能级示意图,大量氢原子在这些能级之间跃迁。



(1)所辐射的光子频率最多有几种?分别对应的能级跃迁如何?

提示: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→3、4→2、4→1、3→2、3→1 和 2→1,共 6 种。

(2)在上述几种光子中频率最低是多少?(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$)

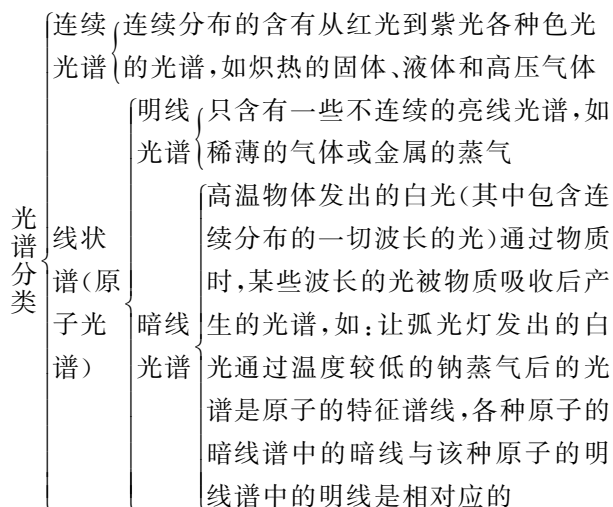
提示:从 $n = 4$ 能级跃迁到 $n = 3$ 能级,辐射的光子能量最小,频率最低,且为

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

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

「知识链接」

1. 光谱的分类



2. 氢原子光谱的实验规律——巴尔末公式

(1)公式: $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) (n = 3, 4, 5, 6)$.

(2)在巴尔末线系中 n 值越大,对应的波长 λ 越短,即 $n=3$ 时,对应的波长最长。 n 只能取正整数。

(3)意义:巴尔末公式以简洁的形式反映了氢原子的线状光谱,即辐射波长的分立特征。

(4)除了巴尔末系,后来发现的氢原子光谱在红外和紫外光区的其他谱线也都满足与巴尔末公式类似的关系式。

3. 自发跃迁与受激跃迁的比较

(1)自发跃迁

①由高能级到低能级,由半径较大的轨道到半径较小的轨道。

②释放能量,放出光子(发光),光子能量 $h\nu = E_{\text{初}} - E_{\text{末}}$ 。

③大量处于能级为 n 的激发态的原子可能产生的光谱线条数为 $\frac{n(n-1)}{2}$ 。

(2)受激跃迁

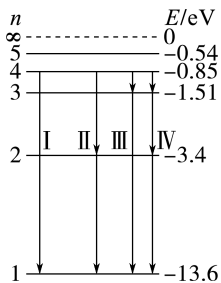
①由低能级到高能级,由半径较小的轨道到半径较大的轨道。

②吸收能量 $\begin{cases} \text{a. 光照射} \\ \text{b. 实物粒子碰撞} \end{cases}$

4. 一个氢原子跃迁和一群氢原子跃迁的区别

(1)一个氢原子跃迁

例如:一个氢原子最初处于 $n=4$ 激发态,它向低能级跃迁时,有 4 种可能情况,如图所示,情形 I 中只有一种频率的光子,情形 II 中有两种,情形 III 中有两种,情形 IV 中有三种。



注意:上述情形中只能出现一种,不可能两种或多种情形同时出现,所以最多辐射出 $(n-1)$ 种不同频率的光子。

(2)一群氢原子跃迁

①确定氢原子所处激发态的能级,画出跃迁示意图。

②运用归纳法,根据数学公式 $N = C_n^2 = \frac{n(n-1)}{2}$

确定跃迁时最多辐射出多少种不同频率的光子。

③根据跃迁能量公式 $h\nu = E_n - E_m (n > m)$,分别计算出各种光子的频率。

「活动达标」

1. 关于光谱,下列说法中正确的是 ()

- A. 炽热的液体发射明线光谱
B. 太阳光谱中的暗线说明太阳缺少与这些暗线对应的元素
C. 明线光谱和暗线光谱都可以用于对物质成分进行分析
D. 发射光谱一定是连续光谱

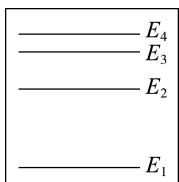
C 解析:连续分布的包含一切波长的光组成的光谱叫作连续光谱,如炽热的液体发出连续光谱,而不是明线光谱,故 A 错误。太阳光谱是吸收光谱,其中的暗线,说明太阳大气层中存在与这些暗线相对应的元素,故 B 错误。明线光谱属于发射光谱,暗线光谱属于吸收光谱。发射光谱是原子自身发光产生的光谱,所以是明线;吸收光谱是原子吸收白光里相应波长的光后产生的光谱,白光本来是连续的,一部分被吸收了之后就产生了暗线;由于不同的原子吸收不同波长的光,每种原子都有其特征的吸收、发射光谱,所以可以用来鉴别物质,故 C 正确。发射光谱有两种类型:连续光谱和明线光谱,故 D 错误。

2. 利用光谱分析的方法能够鉴别物质和确定物质的组成成分。关于光谱分析,下列说法正确的是 ()

- A. 利用高温物体的连续光谱就可鉴别其组成成分
B. 利用物质的线状光谱就可鉴别其组成成分
C. 高温物体发出的光通过物质后形成的光谱上的暗线反映了高温物体的组成成分
D. 同一种物质的线状光谱与吸收光谱,由于光谱不同,它们之间没有关系

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。

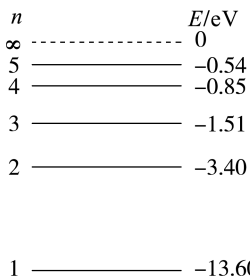
3. 如图所示为氢原子的四个能级,其中 E_1 为基态。若一部分氢原子 A 处于激发态 E_2 ,一部分氢原子 B 处于激发态 E_3 ,则下列说法正确的是 ()



- A. 原子 A 可能辐射出 3 种频率的光子
- B. 原子 B 可能辐射出 3 种频率的光子
- C. 原子 A 能够吸收原子 B 发出的光子并跃迁到能级 E_4
- D. 原子 B 能够吸收原子 A 发出的光子并跃迁到能级 E_4

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。

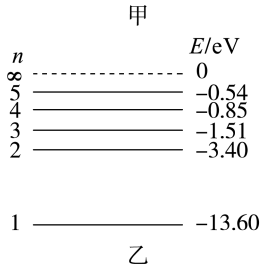
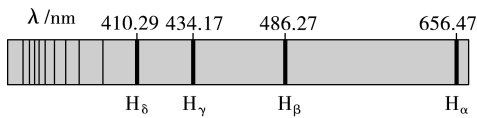
4. 如图所示为氢原子的能级示意图, 关于氢原子跃迁, 下列说法正确的是 ()



- A. 一群处于 $n=5$ 激发态的氢原子, 向低能级跃迁时可以发出 10 种不同频率的光
- B. 一个处于 $n=4$ 激发态的氢原子, 向低能级跃迁时可以发出 6 种不同频率的光
- C. 用 12 eV 的光子照射处于基态的氢原子时, 电子可以跃迁到 $n=2$ 能级
- D. 氢原子中的电子从高能级向低能级跃迁时动能增大, 氢原子的电势能增大

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. (多选) 如图甲所示为氢原子光谱, 图乙为氢原子能级示意图。已知可见光的光子能量为 1.62~3.11 eV, 普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 则 ()



- A. H_γ 对应光子的能量比 H_α 小
- B. 图甲所示的四条谱线均对应可见光
- C. H_β 谱线对应的跃迁过程是氢原子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级
- D. 大量氢原子从 $n=5$ 能级跃迁到较低能级时可以辐射出图甲所示四条可见光

BC 解析:由题图甲可知, H_γ 谱线对应光子的波长小于 H_α 谱线对应光子的波长, 结合 $E = \frac{hc}{\lambda}$ 可知,

H_γ 谱线对应光子的能量大于 H_α 谱线对应光子的能量, 故 A 错误; 由题图甲可知, H_α 谱线对应的波长最长, 其光子的能量最小, 为 $E_\alpha = \frac{hc}{\lambda_\alpha} =$

$$\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{656.47 \times 10^{-9}} \text{ J} = 3.03 \times 10^{-19} \text{ J} \approx 1.89 \text{ eV},$$

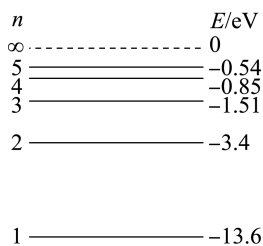
H_δ 谱线对应的波长最短, 其光子的能量最大, 为 $E_\delta = \frac{hc}{\lambda_\delta} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{410.29 \times 10^{-9}} \text{ J} = 4.85 \times 10^{-19} \text{ J} \approx$

3.03 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_β 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 eV, 可知 H_β 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_δ 谱线对应的光子能量 $E_\delta \approx 3.03 \text{ eV}$, 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。

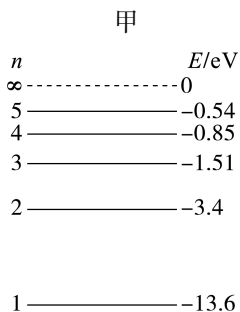
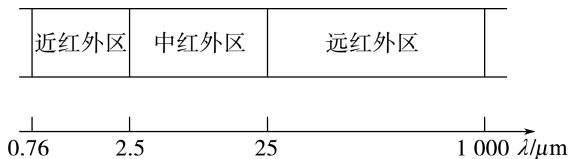
6. (多选) 如图所示为氢原子的能级示意图, 欲使处于基态的氢原子激发或电离, 下列措施可行的是 ()



- A. 用 10.2 eV 的光子照射
 B. 用 11 eV 的光子照射
 C. 用 14 eV 的光子照射
 D. 用 10 eV 的光子照射

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 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 eV 的光子后将跃迁到第二能级, 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 eV, 而 $14 \text{ eV} > 13.6 \text{ eV}$, 故 14 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. (多选) 红外测温具有响应时间快、非接触、安全准确的优点。红外测温仪捕捉被测物体电磁辐射中的红外线部分, 将其转变成电信号。图甲为红外线光谱的三个区域, 图乙为氢原子能级示意图。已知普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 光在真空中的速度 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。下列说法正确的是 ()



乙

- A. 红外线光子能量的最大值约为 1.64 eV
 B. 氢原子从 $n=3$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁时释放出的光子能被红外测温仪捕捉

- C. 大量氢原子从 $n=4$ 能级向低能级跃迁时, 红外测温仪可以捕捉到 2 种频率的红外线
 D. 大量处于 $n=2$ 激发态的氢原子吸收能量为 2.86 eV 的光子后, 辐射出的光子可能被红外测温仪捕捉

AD 解析: 红外线最短波长和最长波长分别为 $\lambda_{\min} = 0.76 \mu\text{m}$, $\lambda_{\max} = 1000 \mu\text{m}$, 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 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. 氢原子光谱除了巴尔末系, 还有赖曼系、帕邢系等,

其中赖曼系的表达式为 $\frac{1}{\lambda} = R_{\text{H}} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 。试求赖曼系中波长最长的波对应的频率。(取里德伯常量 $R_{\text{H}} = 1.10 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$, 光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

解析: 对于赖曼系, 当 $n=2$ 时对应光的波长最长

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

$$\text{波长 } \lambda_1 \text{ 的光对应的频率为 } \nu_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3}{4} R_{\text{H}} c = \frac{3}{4} \times$$

$$1.10 \times 10^7 \times 3 \times 10^8 \text{ Hz} = 2.475 \times 10^{15} \text{ Hz}.$$

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

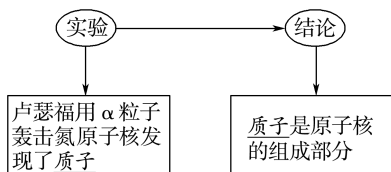
学习任务目标

- 1.了解核子、同位素等基本概念,知道原子核的组成,知道核力及其特点。(物理观念)
- 2.理解原子核的构成,并能分析原子核内的质子数、中子数和核子数。(科学思维)

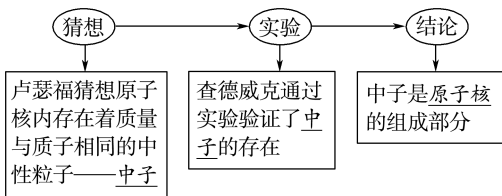
问题式预习

知识点一 原子核的组成和同位素

1.质子的发现

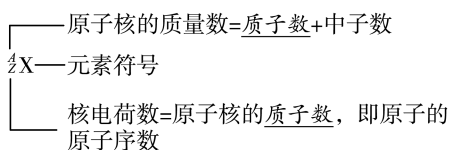


2.中子的发现



3.原子核的组成:由质子和中子组成,它们统称为核子。

4.原子核的符号



5.同位素:原子序数相同而中子数不同的原子核互称同位素。例如,氢有三种同位素,叫作气(氢)、氘(重氢)、氚(超重氢),分别用 ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 来表示。

[科学思维]

1.原子核的电荷数是不是电荷量?

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.原子核的质量数是不是质量?

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 ${}^{166}_{67}\text{Ho}$ 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.质子和中子都不带电,是原子核的组成成分,统称为核子。(×)
- 2.在元素周期表中处在同一位置上,而质量数不同的原子核互为同位素。(√)
- 3.原子核的质量等于核内质子的质量,中子的质量几乎为0,所以原子核的质量几乎等于单个核子质量的整数倍,这个倍数叫作原子核的质量数。(×)

知识点二 核力

1.原子核内核子之间的相互作用力,属于四种基本相互作用中的强相互作用。

2.作用

将原子核中的核子结合在一起,防止原子核在质子间库仑力的作用下而裂开。

[科学思维]

质子的质量为 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电荷量为 $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 静电常量为 $k = 9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, 引力常量为 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 。相距 $r = 1.0 \times 10^{-15} \text{ m}$ 的两个质子, 它们之间的静电力由公式 $F_{\text{电}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ 求出, 代入数据得 $F_{\text{电}} = 2.3 \times 10^2 \text{ N}$; 它

们之间的万有引力由公式 $F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2}$ 求出, 代入数据得 $F_{\text{引}} = 1.9 \times 10^{-34} \text{ N}$ 。由于 $F_{\text{引}} \ll F_{\text{电}}$, 故两个质子不能靠万有引力克服静电力而吸在一起。

[判一判]

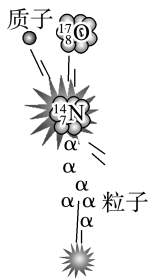
- 1.核力是强相互作用,在任何情况下都比库仑力大。(×)
- 2.核力只存在于质子之间。(×)
- 3.核力是短程力,作用范围很小,只在邻近核子间存在。(√)

任务型课堂

任务一 原子核的组成

[探究活动]

1919年,卢瑟福用 α 粒子轰击氮原子核发现了质子,如图所示为 α 粒子轰击氮原子核的示意图。



(1)人们用 α 粒子轰击多种原子核,都打出了质子,这说明了什么问题?

提示:质子是原子核的组成部分。

(2)绝大多数原子核的质量数都大于其质子数,这说明了什么问题?

提示: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. 锶原子核的符号是 ${}_{38}^{95}\text{Sr}$,那么它的原子 ()

- A. 核外有 38 个电子,核内有 95 个质子
- B. 核外有 38 个电子,核内有 57 个中子
- C. 核外有 57 个电子,核内有 57 个质子
- D. 核外有 57 个电子,核内有 38 个质子

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. 原子核符号 ${}_{1}^3\text{H}$ 中,1 表示 ()

- A. 电子数
- B. 质子数
- C. 中子数
- D. 核子数

B 解析:原子核符号 ${}_{1}^3\text{H}$ 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. 若用 x 代表一个中性原子中核外的电子数, y 代表此原子的原子核内的质子数, z 代表此原子的原子核内的中子数,则对 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 的原子来说 ()

- A. $x=90$ $y=90$ $z=234$
- B. $x=90$ $y=90$ $z=144$
- C. $x=144$ $y=144$ $z=90$
- D. $x=234$ $y=234$ $z=324$

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. (多选)关于核力,下列说法正确的是 ()

- A. 核力是一种特殊的万有引力,存在于原子核内所有的核子间
- B. 原子核内只有相邻的两个核子间才有核力作用
- C. 核力是原子核能稳定存在而不“分崩离析”的原因
- D. 核力是一种短程强相互作用力,其作用的范围仅在 10^{-15} m 左右

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. (多选)对原子核的组成,下列说法正确的是 ()

- A. 核力可使一些中子组成原子核
- B. 核力可使非常多的质子组成原子核
- C. 自然界中存在只有质子的原子核
- D. 质量较大的原子核内一定有中子

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. 已知镭的原子序数是 88,原子核的质量数是 226。请问:

- (1)镭核中有几个质子? 几个中子?
- (2)镭核所带电荷量是多少?
- (3)若镭原子呈电中性,它核外有几个电子?

(4) ${}_{88}^{228}\text{Ra}$ 是镭的一种同位素,让 ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ 原子核和 ${}_{88}^{228}\text{Ra}$ 原子核以相同的速度垂直射入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,它们运动的轨迹半径之比是多少?

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) 1.41×10^{-17} C (3)88

(4)113 : 114

任务总结

1.原子核的组成

(1)原子核是由质子、中子构成的,质子带正电,中子不带电。不同的原子核内质子和中子的个数并不相同。

(2)核电荷数(Z)=质子数=元素的原子序数=中性原子的核外电子数。

(3)质量数(A)=核子数=质子数+中子数。

2.原子核符号的书写及其应用的一般要求

(1)确定原子核的元素符号 X 。

(2)确定原子核的核电荷数,即核内的质子数,也就是这种元素的原子序数 Z 。

(3)确定原子核的质量数,即核内的核子数 A 。如铀 $235 \rightarrow$ 原子序数 $92 \rightarrow$ 核电荷数 $92 \rightarrow$ 质子数 92 ; 质量数 $235 \rightarrow$ 质子数和中子数之和为 235 。核子数为 235 ; 核内中子数为 $235 - 92 = 143$; 元素符号为 U 。

(4)原子核通式为 ${}_Z^AX$, 其中 X 为元素符号, Z 为核电荷数, A 为质量数。

3.核力

(1)核力是四种相互作用中的强相互作用的一种表现。

(2)核力是短程力,约在距离为 10^{-15} m 的数量级上时起作用,距离较大时核力几乎消失。

任务二 同位素

[探究活动]

(1)氢有三种同位素,分别是氕(${}_1^1H$)、氘(${}_1^2H$)、氚(${}_1^3H$),它们的质子数、中子数、核子数分别是多少?

提示:氢的三种同位素 ${}_1^1H$ 、 ${}_1^2H$ 、 ${}_1^3H$ 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)由(1)知,同位素是质子数相同,中子数相同,还是核子数相同?

提示:质子数相同。

[评价活动]

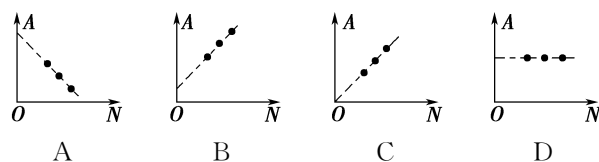
1.(多选)下列有关 ${}^{12}C$ 和 ${}^{14}C$ 的说法,正确的是

()

- A. 它们有相同的质子数
- B. 它们有相同的中子数
- C. 它们有相同的化学性质
- D. 它们有相同的物理性质

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.某种元素具有多种同位素,下列能反映这些同位素的质量数 A 与中子数 N 的关系的图像是 ()



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.(多选) ${}^{228}_{88}Ra$ 与 ${}^{226}_{88}Ra$ 互为同位素,对于这两种镭的原子而言,下列说法正确的是 ()

- A. 它们具有相同的质子数和不同的质量数
- B. 它们具有相同的中子数和不同的原子序数
- C. 它们具有相同的核电荷数和不同的中子数
- D. 它们具有相同的核外电子数和不同的化学性质

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.下列说法正确的是 ()

- A. ${}_m^nX$ 与 ${}_{n-1}^nY$ 互为同位素
- B. ${}_m^nX$ 与 ${}_{m-1}^{n-1}Y$ 互为同位素
- C. ${}_m^nX$ 与 ${}_{m-2}^{n-2}Y$ 的中子数相差 2
- D. ${}_{92}^{235}U$ 核内有 92 个质子,235 个中子

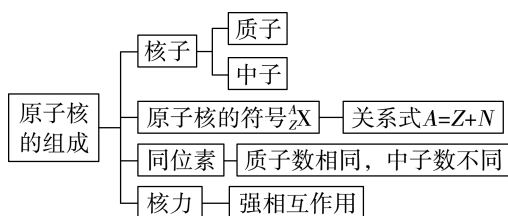
B 解析:A 选项中, ${}_m^nX$ 核与 ${}_{n-1}^nY$ 核的质子数不同,不是同位素;B 选项中, ${}_m^nX$ 核与 ${}_{m-1}^{n-1}Y$ 核质子数都为 m ,而质量数不同,所以互为同位素;C 选项中, ${}_m^nX$ 核内中子数为 $n - m$, ${}_{m-2}^{n-2}Y$ 核内中子数为 $(n - 2) - (m - 2) = n - m$,所以中子数相同;D 选项中, ${}_{92}^{235}U$ 核内有 143 个中子。

任务总结

同位素的几点说明

- (1) 同位素指质子数相同、中子数不同的原子。
- (2) 原子核内的质子数决定了核外电子的数目,进而决定了元素的化学性质。同种元素的原子,其质子数相同,核外电子数也相同,所以有相同的化学性质。
- (3) 它们的中子数不同,所以它们的物理性质不同。

► 提质归纳



课后素养评价(十六)

基础性·能力运用

知识点 1 原子核的组成

1. 在 α 粒子轰击金箔的散射实验中, α 粒子可以表示为 ${}^4_2\text{He}$, 则 ${}^4_2\text{He}$ 中 ()

- A. 4 为核子数, 2 为中子数
 B. 4 为质子数和中子数之和, 2 为质子数
 C. 4 为核外电子数, 2 为中子数
 D. 4 为中子数, 2 为质子数

B 解析: 根据 ${}^A_Z\text{X}$ 所表示的物理意义, ${}^4_2\text{He}$ 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, ${}^4_2\text{He}$ 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. (多选) 某种元素的原子核符号为 ${}^A_Z\text{X}$, 则 ()

- A. 原子核的质子数为 Z , 中子数为 $A-Z$
 B. 原子核的质子数为 Z , 核子数为 A
 C. 原子核的质子数为 A , 中子数为 Z
 D. 原子核的质子数为 A , 中子数为 $A-Z$

AB 解析: ${}^A_Z\text{X}$ 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。

知识点 2 同位素

3. 下列关于 ${}^3_2\text{He}$ 的叙述正确的是 ()

- A. ${}^3_2\text{He}$ 与 ${}^3_1\text{H}$ 互为同位素
 B. ${}^3_2\text{He}$ 原子核内中子数为 2
 C. ${}^3_2\text{He}$ 原子核外电子数为 2
 D. ${}^3_2\text{He}$ 表示原子核内有 2 个质子和 3 个中子的氦原子

C 解析: ${}^3_2\text{He}$ 核内质子数为 2, ${}^3_1\text{H}$ 核内质子数为 1, 两者质子数不同, 不是同位素, A 错误; ${}^3_2\text{He}$ 核内

中子数为 1, B 错误; ${}^3_2\text{He}$ 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. (多选) 下列关于氕 (${}^1_1\text{H}$)、氘 (${}^2_1\text{H}$)、氚 (${}^3_1\text{H}$) 的说法正确的是 ()

- A. 氕、氘、氚互为同位素
 B. 它们具有相同的核外电子数
 C. 它们具有相同的核子数
 D. 它们具有相同的中子数

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。

知识点 3 核力

5. (多选) 关于核力, 下列说法正确的是 ()

- A. 核力是一种特殊的万有引力
 B. 原子核的任意两个核子间都有核力作用
 C. 核力是原子核稳定存在的原因
 D. 核力是一种短程强相互作用

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. (多选) 以下说法正确的是 ()

- A. 每个核子只跟邻近的核子发生核力作用
 B. 在原子核的尺度内, 核力比库仑力大得多
 C. 核力是一种电磁相互作用
 D. 原子核越大, 它的结合能越大, 原子核中核子结合得越牢固

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.(多选)关于核子结合成原子核,下列说法正确的是 ()

- A. 原子核内的中子间均存在核力
- B. 原子核内的质子间均存在核力和库仑力
- C. n 个核子相互靠近至核力作用的范围而结合为原子核,该过程“势能”一定减小

D. 对质子数较多的原子核,中子起到增大核力、维系原子核稳定的作用

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。

综合性·创新提升

8.科学研究表明,自然界中存在四种基本相互作用。我们知道分子之间也存在相互作用的引力和斥力,那么分子间作用力实质上是属于 ()

- A. 引力相互作用
- B. 电磁相互作用
- C. 强相互作用和弱相互作用的共同作用
- D. 四种基本相互作用的共同作用

B 解析:分子间作用力的作用范围约在 10^{-10} 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} m 和 10^{-18} 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.下列说法正确的是 ()

- A. ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 为钍核,由此可知,钍核的质量数为 90,钍核的质子数为 234
- B. ${}_{4}^{9}\text{Be}$ 为铍核,由此可知,铍核的质量数为 9,铍核的中子数为 4
- C. 同一元素的两种同位素具有相同的质量数
- D. 同一元素的两种同位素具有不同的中子数

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. ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 经过一系列 α 衰变和 β 衰变后变成 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$,则 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$ 比 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 少 ()

- A. 16 个中子,8 个质子
- B. 8 个中子,16 个质子
- C. 24 个中子,8 个质子
- D. 8 个中子,24 个质子

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.有关 ${}_{8}^{16}\text{O}$ 、 ${}_{8}^{17}\text{O}$ 、 ${}_{8}^{18}\text{O}$ 三种同位素的比较,请回答下列问题:

(1)三种同位素中哪一种粒子数是不相同的? _____。

A. 质子数 B. 中子数 C. 核外电子数

(2)三种同位素中,哪一个原子的质量最大?

(3)三种同位素的化学性质是否相同?

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.有 J、K、L 三种原子核,已知 J、K 的核子数相同, K、L 的质子数相同,试完成下列表格。

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

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

2 放射性元素的衰变

学习任务目标

- 1.知道天然放射现象及三种射线的本质。(物理观念)
- 2.知道衰变、半衰期及原子核衰变的规律。(物理观念)
- 3.掌握原子核衰变方程的写法及半衰期的计算方法。(科学思维)

问题式预习

知识点一 天然放射性 射线的性质

1.放射性

物质发出射线的性质称为放射性,具有放射性的元素称为放射性元素。

2.放射性的发现

(1)1896年,法国物理学家贝克勒尔发现某些物质具有放射性。

(2)居里夫人和她的丈夫皮埃尔·居里发现了两种放射性更强的新元素,分别命名为钋(Po)和镭(Ra)。

(3)天然放射现象

放射性元素自发地发出射线的现象,叫作天然放射现象,原子序数大于或等于83的元素,都能自发地放出射线。原子序数小于83的元素,有的也能放出射线。

3.三种射线的本质及特性

(1)三种射线:将射线引入强磁场中,射线分成了三束,其中两束在磁场中向相反的方向偏转,说明这两束是带电粒子流;另一束在磁场中不偏转,说明它不带电,这三束射线分别叫作α射线、β射线和γ射线。

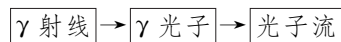
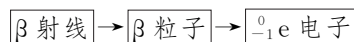
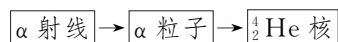
(2)α射线实际上是α粒子(氦原子核)流,速度只有光速的 $\frac{1}{10}$,穿透能力较弱,用一张薄薄的铝箔就能把它们挡住。

(3)β射线是高速电子流,穿透力较强,很容易穿透黑纸,但不能穿透几毫米厚的铝片。

(4)γ射线是波长极短的电磁波,穿透能力极强,能穿过厚的混凝土和铅板。

4.放射性同位素:有些同位素具有放射性,叫作放射性同位素。天然放射性同位素不过40多种,而人工制造的放射性同位素已有3 000多种。

[科学思维]



[判一判]

- 1.贝克勒尔发现了两种放射性更强的新元素,分别命名为钋(Po)和镭(Ra)。 (×)
- 2.α射线是高速电子流,穿透能力很强,还有很强的电离能力。 (×)
- 3.1919年,居里夫妇用镭放射出的α粒子轰击氮原子核,通过实验测定发现了质子。 (×)

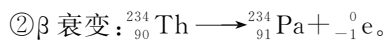
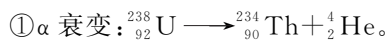
知识点二 衰变及半衰期

1.原子核的衰变

(1)衰变:放射性元素自发地放出射线,蜕变为另一种元素的现象。

(2)衰变形式:常见的衰变有两种,放出α粒子的衰变叫作α衰变,放出β粒子的衰变叫作β衰变,而γ射线经常是伴随α射线或β射线产生的。

(3)衰变方程



(4)衰变规律

原子核衰变前、后核电荷数和质量数均守恒。

2.半衰期

(1)定义:放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间。

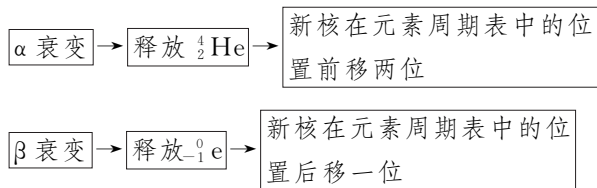
(2)特点

①放射性元素的半衰期是统计规律。

②放射性元素衰变的半衰期是由核内自身的因素决定的,跟原子所处的化学状态和外部条件没有关系。

③不同的放射性元素,半衰期不同,甚至差别非常大。

[科学思维]



[判一判]

1. 由于原子核发生 β 衰变时放出的 β 粒子是电子,可知原子核内一定存在着电子。 (\times)
2. γ 射线是由原子核外的内层电子跃迁产生的。 (\times)
3. 对于不同的放射性元素,尽管其半衰期不同,但对于同一种元素的每一个原子来说,其半衰期是固定的,非常稳定。 (\times)

任务型课堂

任务一 三种射线的性质和特征

[探究活动]

1896年,法国物理学家贝克勒尔首先发现了天然放射现象。

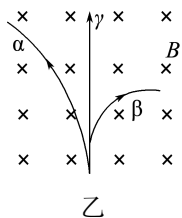
(1) 贝克勒尔是根据什么发现了天然放射现象?

提示: 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) 贝克勒尔以后,又是谁发现了两种更强的放射性元素?

提示: 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) 如图乙所示为三种射线在磁场中的运动轨迹示意图。 α 射线向左偏转, β 射线向右偏转, γ 射线不偏转。该现象说明了什么?



提示: 说明 α 射线带正电, β 射线带负电, γ 射线不带电。

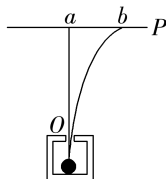
(4) 为什么说(3)问中的三种射线来自原子核?原子核能够发出射线说明了什么问题?

提示: 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. 一电子和一 α 粒子从铅盒上的小孔 O 竖直向上射出后,打到铅盒上方水平放置的屏幕 P 上的 a 和 b

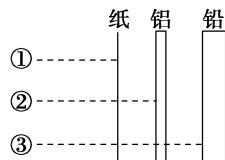
两点, a 点在小孔 O 的正上方, b 点在 a 点的右侧,如图所示。已知 α 粒子的速度约为电子速度的 $\frac{1}{10}$,铅盒与屏幕之间存在匀强电场和匀强磁场,则电场和磁场方向可能为 ()



- A. 电场方向水平向左,磁场方向垂直纸面向里
- B. 电场方向水平向左,磁场方向垂直纸面向外
- C. 电场方向水平向右,磁场方向垂直纸面向里
- D. 电场方向水平向右,磁场方向垂直纸面向外

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 α 粒子所受的向左的电场力 $F_{\text{电}} = 2eE$,所受的向右的洛伦兹力 $F_{\text{洛}} = 2e \times \frac{1}{10}vB = \frac{1}{5}evB$,则 α 粒子所受的洛伦兹力小于电场力,即 α 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 α 粒子所受的向右的电场力 $F_{\text{电}} = 2eE$,所受的向左的洛伦兹力 $F_{\text{洛}} = 2e \times \frac{1}{10}vB = \frac{1}{5}evB$,洛伦兹力小于电场力, α 粒子向右发生偏转。同理分析可知,若 α 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。

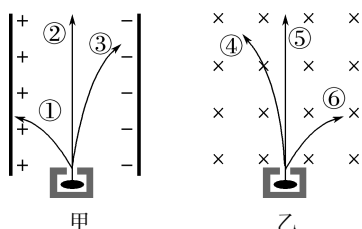
2. (多选)天然放射性元素放出的三种射线的穿透能力实验结果如图所示,由此可推知 ()



- A. ②来自原子核外的电子
 B. ①的电离作用最强,穿透能力最弱
 C. ②的电离作用较强,穿透能力较强
 D. ③的电离作用最弱,属于原子核内释放的光子

BCD 解析:α射线是 ${}^4_2\text{He}$ 原子核,电离作用最强,穿透能力最弱;β射线是 ${}_{-1}^0\text{e}$,电离作用较强,穿透能力较强;γ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。

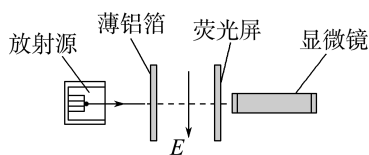
- 3.如图甲、乙所示,放射性元素镭在衰变过程中释放出α、β、γ三种射线,分别进入匀强电场和匀强磁场中。下列说法正确的是 ()



- A. ①和④是α射线,它们有很强的穿透本领
 B. ③和⑥是β射线,它们是高速电子流
 C. ②和⑤是γ射线,它由原子核外的内层电子跃迁产生
 D. ③和④是α射线,它们有很强的电离本领

D 解析:α射线实质为氦核,带正电,有很强的电离本领;β射线为高速电子流,带负电,由核内中子转化为质子时放出;γ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β射线,②为γ射线,③为α射线。根据左手定则可知,α射线受到的洛伦兹力向左,故④是α射线;β射线受到的洛伦兹力向右,故⑥是β射线;γ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γ射线。

- 4.如图所示为研究某未知元素放射性的实验装置示意图,实验开始时在薄铝片和荧光屏之间有图示方向的匀强电场 E ,通过显微镜可以观察到在荧光屏的某一位置上每分钟闪烁的亮点数。若撤去电场后继续观察,发现每分钟闪烁的亮点数没有变化。如果再将薄铝片移开,观察到每分钟闪烁的亮点数大大增加,由此可以判断,放射源发出的射线可能为 ()



- A. α射线和γ射线
 B. α射线和β射线
 C. β射线和X射线
 D. β射线和γ射线

A 解析:三种射线中α射线和β射线带电,进入电场后会发生偏转,而γ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γ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α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α射线,故放射源所发出的射线可能为α射线和γ射线,A正确。

任务总结

1.α、β、γ三种射线的比较

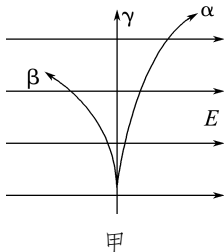
种类	α射线	β射线	γ射线
组成	高速 氦核流	高速 电子流	光子流(高频 电磁波)
粒子 质量	$4m_p$ ($m_p =$ $1.67 \times$ 10^{-27} kg)	$\frac{m_p}{1836}$	静止质量为0
电荷量	$2e$	$-e$	0
速率	$0.1c$	接近 c	c
穿透能力	最弱,用一 张纸就能 挡住	较强,但不 能穿透几 毫米厚的 铝板	最强,能穿透 几厘米厚的 铅板和几十 厘米厚的混 凝土
电离作用	很强	较弱	很弱
在磁场或 电场中	偏转	偏转	不偏转

2.元素的放射性

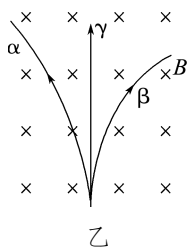
如果一种元素具有放射性,那么不论它是以单质的形式存在,还是以某种化合物的形式存在,其放射性都不受影响。也就是说,放射性与元素存在的状态无关,仅与原子核有关。因此,原子核不是组成原子的最小粒子,原子核内部也存在着一一定的结构。

3. 三种射线在电场和磁场中的偏转

(1) 在匀强电场中： γ 射线不发生偏转，做匀速直线运动， α 粒子和 β 粒子沿相反方向做类平抛运动，在同样的条件下， β 粒子的偏移程度较大，如图甲所示。



(2) 在匀强磁场中： γ 射线不发生偏转，仍做匀速直线运动， α 粒子和 β 粒子沿相反方向做匀速圆周运动，且在相同条件下， β 粒子的轨迹半径较小，如图乙所示。



任务二 对 α 衰变和 β 衰变的理解

[探究活动]

照射大剂量的射线会对人体和动物产生某种损害。如在 400 rad(拉德, 辐射吸收剂量的单位) 的照射下, 受照射的人有 5% 的概率死亡; 若在 650 rad 的照射下, 则人 100% 死亡。照射剂量在 150 rad 以下, 死亡概率为 0, 但并非无损害作用, 往往需经 20 年以上, 一些症状才会表现出来。放射性物质也能损伤遗传物质, 主要在于引起基因突变和染色体畸变, 使一代甚至几代人或动物受害。



当心电离辐射

(1) 通过对课本的学习, 我们知道射线来自原子核内部, 对 α 射线的产生(原子核中的两个中子和两个质子结合起来形成 α 粒子, 并被释放出来) 很好理解, 但是原子核内部没有电子, 那么 β 射线是怎么产生的?

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

(2) γ 射线的本质是光子流(高频电磁波), 它又是怎样产生的?

提示: 放射性的原子核在发生 α 衰变或 β 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 γ 射线。

[评价活动]

1. 放射性同位素钍 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 经 α 衰变和 β 衰变会生成氡, 其衰变方程为 ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{86}^{220}\text{Rn} + x {}_2^4\text{He} + y {}_{-1}^0\text{e}$, 其中 ()

A. $x=1, y=3$

B. $x=2, y=3$

C. $x=3, y=1$

D. $x=3, y=2$

D 解析: 衰变方程为 ${}_{90}^{232}\text{Th} \rightarrow {}_{86}^{220}\text{Rn} + x {}_2^4\text{He} + y {}_{-1}^0\text{e}$, 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. (2024 · 福建卷) ${}_{28}^{63}\text{Ni} \rightarrow {}_{29}^{63}\text{Cu} + \text{X}$, 则其中的 X 表示 ()

A. ${}_2^4\text{He}$

B. ${}_{-1}^0\text{e}$

C. ${}_1^0\text{e}$

D. ${}_0^1\text{n}$

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. (多选) 原子序数大于或等于 83 的所有元素, 都能自发地放出射线。这些射线共有三种: α 射线、 β 射线和 γ 射线。下列说法正确的是 ()

A. 原子核每放出一个 α 粒子, 原子序数减少 2

B. 原子核每放出一个 α 粒子, 原子序数增加 4

C. 原子核每放出一个 β 粒子, 原子序数减少 1

D. 原子核每放出一个 β 粒子, 原子序数增加 1

AD 解析: 原子核发生一次 α 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 β 衰变, 核电荷数、原子序数均增加 1, 故 A、D 正确。

4. 钍核 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 经过 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变后变成铅核, 则 ()

A. 铅核的符号为 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$, 它比 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 少 8 个中子

B. 铅核的符号为 ${}_{78}^{204}\text{Pb}$, 它比 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 少 16 个中子

C. 铅核的符号为 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$, 它比 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 少 16 个中子

D. 铅核的符号为 ${}_{78}^{220}\text{Pb}$, 它比 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 少 12 个中子

C 解析: 经过 1 次 α 衰变, 质子数少 2, 质量数少 4, 经过 1 次 β 衰变中子数减少 1, 质子数增加 1, 质量

数不变,则钍核 ${}_{90}^{232}\text{Th}$ 经过 6 次 α 衰变和 4 次 β 衰变后质子数减少 8,质量数减少 24,为 ${}_{82}^{208}\text{Pb}$,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. ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核经过一系列的衰变后变为 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 核。

- (1) 一共经过几次 α 衰变和几次 β 衰变?
- (2) ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 与 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 相比,质子数和中子数各少多少?
- (3) 写出这一衰变过程的方程。

解析: (1) 设 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核衰变为 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ 核经过 x 次 α 衰变和 y 次 β 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 α 衰变和 6 次 β 衰变。

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

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

答案: (1) 8 次 α 衰变和 6 次 β 衰变 (2) 10 22

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

任务总结

1. α 衰变和 β 衰变的实质

(1) 当原子核发生 α 衰变时,原子核的质子数和中子数各减少 2, α 粒子是原子核内 2 个质子和 2 个中子结合在一起后发射出来的。

(2) 当原子核发生 β 衰变时,原子核中的 1 个中子转化为 1 个质子和 1 个电子,并将电子释放出来,新核的核电荷数相比于原来增加了 1,新核在元素周期表中的位置向后移动了 1 个位次。

(3) 放射性元素的原子核在发生 α 衰变、 β 衰变时,产生的新核常常处于较高能级,这时它要向低能级跃迁,能量就以 γ 光子的形式辐射出来。

2. 判断衰变次数的方法

(1) 根据 β 衰变不改变质量数的特点,可先依据质量数守恒确定 α 衰变的次数,然后计算出电荷数的改变,由其差值可确定 β 衰变的次数。

(2) 在衰变过程中若发生 n 次 α 衰变、 m 次 β 衰变,则衰变方程为 ${}^A_Z\text{X} \longrightarrow {}^{A'}_{Z'}\text{Y} + n {}_2^4\text{He} + m {}_{-1}^0\text{e}$,根据电荷数守恒和质量数守恒可列出 $A = A' + 4n, Z = Z' + 2n - m$,解得 $n = \frac{A - A'}{4}, m =$

$$\frac{A - A'}{2} + Z' - Z$$

任务三 半衰期的理解及计算

[探究活动]

放射性元素氡(${}_{86}^{222}\text{Rn}$)经 α 衰变成为钋(${}_{84}^{218}\text{Po}$),半衰期约为 3.8 天;但勘测表明,经过漫长的地质年代后,目前地壳中仍存在天然的含有放射性元素 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ 的矿石。

甲同学说 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ 主要存在于地球深处的矿石中,温度和压力改变了它的半衰期,这种说法对吗? 如果不对,那到底是什么原因呢?

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 ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ 可能来源于其他放射性元素的衰变。

[评价活动]

1. 关于半衰期,以下说法正确的是 ()

- 所有放射性元素都有一定的半衰期,半衰期的长短与元素的质量有关
- 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
- 一块纯净的放射性元素的矿石,经过一个半衰期以后,它的总质量仅剩下一半
- 放射性元素在高温和高压的情况下,半衰期会变短,但它与其他物质化合后,半衰期会变长

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. 关于半衰期,以下说法正确的是 ()

- 同种放射性元素在化合物中的半衰期比在单质中的长
- 升高温度可以使半衰期缩短
- 氡的半衰期为 3.8 天,若有 4 个氡原子核,经过 7.6 天就只剩下 1 个未发生衰变
- 氡的半衰期为 3.8 天,若有 4 g 氡原子核,经过 7.6 天就只剩下 1 g 未发生衰变

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. 新发现的一种放射性元素 X,它的氧化物 X_2O 半衰期为 8 天, X_2O 与 F_2 能发生如下反应: $2\text{X}_2\text{O} + 2\text{F}_2 \longrightarrow 4\text{XF} + \text{O}_2$,则 XF 的半衰期为 ()

- 2 天
- 4 天
- 8 天
- 16 天

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 X_2O 、 XF 、 X 核的半衰期相同,均为 8 天,C 正确。

4.(2024·山东卷)2024 年是中国航天大年,神舟十八号、嫦娥六号等陆续飞天,部分航天器装载了具有抗干扰性强的核电池。已知 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 衰变为 ${}^{90}_{39}\text{Y}$ 的半衰期约为 29 年; ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 衰变为 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 的半衰期约为 87 年。现用相同数目的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 和 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 各做一块核电池,则下列说法正确的是 ()

- A. ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 衰变为 ${}^{90}_{39}\text{Y}$ 时产生 α 粒子
- B. ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 衰变为 ${}^{234}_{92}\text{U}$ 时产生 β 粒子
- C. 50 年后,剩余的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 数目大于 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 的数目
- D. 87 年后,剩余的 ${}^{90}_{38}\text{Sr}$ 数目小于 ${}^{238}_{94}\text{Pu}$ 的数目

D 解析:根据质量数守恒和电荷数守恒, ${}^{90}_{38}\text{Sr} \rightarrow {}^{90}_{39}\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}$ 为 β 衰变, ${}^{238}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{234}_{92}\text{U} + {}^4_2\text{He}$ 为 α 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。

5.两种放射性元素的半衰期分别为 t_0 和 $2t_0$,在 $t=0$ 时刻这两种元素的原子核总数为 N ,在 $t=2t_0$ 时刻,尚未衰变的原子核总数为 $\frac{N}{3}$,则在 $t=4t_0$ 时刻,尚未衰变的原子核总数为 ()

- A. $\frac{N}{12}$
- B. $\frac{N}{9}$
- C. $\frac{N}{8}$
- D. $\frac{N}{6}$

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。

任务总结

1.半衰期公式

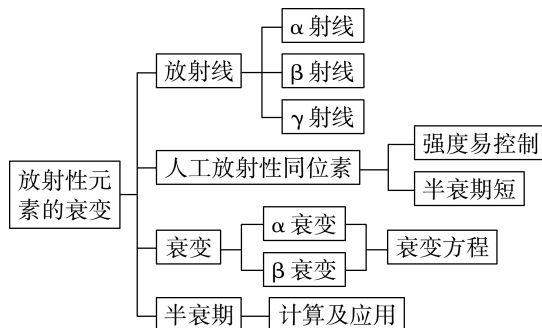
$$N_{\text{余}} = N_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}, m_{\text{余}} = m_{\text{原}} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

式中 $N_{\text{原}}、m_{\text{原}}$ 表示衰变前的原子个数和质量, $N_{\text{余}}、m_{\text{余}}$ 表示衰变后的尚未发生衰变的原子个数和质量, t 表示衰变时间, T 表示半衰期。

2.适用条件

半衰期是一个统计概念,是对大量的原子核衰变规律的总结,对于一个特定的原子核,无法确定其何时发生衰变,但可以确定各个时刻发生衰变的概率,即某时刻衰变的可能性。因此,半衰期只适用于大量的原子核。

► 提质归纳



课后素养评价(十七)

基础性·能力运用

知识点 1 三种射线

- 1.(多选)下列说法正确的是 ()
- A. α 射线与 γ 射线都是电磁波
 - B. β 射线是原子的核外电子电离后形成的电子流
 - C. 从伦琴射线管的阴极发出 X 射线时,阴极中的原子和原子核的结构并没有改变,只是原子从能量较高的定态跃迁到较低的定态
 - D. 放射性元素有射线放出时,元素的原子核的组成

一定发生变化

CD 解析: α 射线是实物粒子流,不是电磁波,A 错误; β 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.(多选)下列关于 β 射线的说法正确的是 ()

- A. 它是高速电子流
 B. β 粒子是原子内层放射出来的电子
 C. β 粒子是从原子核中放射出来的
 D. 它的电离作用比较弱,但它的穿透能力很强,能穿透几厘米厚的铅板

AC 解析: β 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。

知识点 2 对 α 衰变、 β 衰变的理解

3.(多选)关于天然放射现象,下列说法正确的是 ()

- A. α 粒子带正电,所以 α 射线一定是从原子核内射出的
 B. β 粒子带负电,所以 β 射线有可能是核外电子
 C. γ 粒子是光子,所以 γ 射线有可能是由原子发光产生的
 D. α 射线、 β 射线、 γ 射线都是从原子核内部释放出来的

AD 解析: α 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, β 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, γ 射线伴随 α 衰变或 β 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. ${}_{92}^{238}\text{U}$ 经过多次 α 衰变和 β 衰变后变成 ${}_{82}^{206}\text{Pb}$,则下列说法不正确的是 (A)

- A. 此过程中质子数和中子数分别减少 10 和 32
 B. 此过程经过了 8 次 α 衰变和 6 次 β 衰变
 C. β 衰变的实质是核内的一个中子转化成了一个质子和一个电子
 D. 用 α 粒子轰击 ${}_{7}^{14}\text{N}$,可以得到质子

知识点 3 半衰期的理解和计算

5. ${}^{14}\text{C}$ 是一种半衰期为 5 730 年的放射性同位素。若考古工作者探测到某古树中 ${}^{14}\text{C}$ 的含量为原来的 $\frac{1}{4}$,则该古树的死亡时间距今大约为 ()

- A. 22 920 年
 B. 11 460 年
 C. 5 730 年
 D. 2 865 年

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 $\frac{m}{m_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{4}$,解得 $n=2$,所以古树死亡的时间距今约 $5\,730 \times 2$ 年 = 11 460 年,故 B 正确。

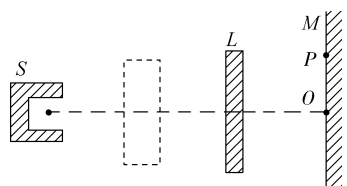
6. 假设有甲、乙两种放射性元素,它们的半衰期分别是 $T_{\text{甲}}=15$ 天、 $T_{\text{乙}}=30$ 天。经过 60 天这两种元素的质量相等,则它们原来的质量之比 $m_{\text{甲}}:m_{\text{乙}}$ 是 ()

- A. 1:4
 B. 4:1
 C. 2:1
 D. 1:2

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。

综合性·创新提升

7. 若如图所示装置处于真空中,S 为能放出 α 、 β 和 γ 三种射线的放射源,虚线框内是方向垂直纸面的匀强磁场,L 是 1 mm 厚的纸板,M 是荧光屏,实验时发现在荧光屏上 O、P 处有亮斑,则以下判断正确的是 ()



- A. 如果磁场方向垂直纸面向里,则 O 点和 P 点分别为 β 射线和 α 射线形成的亮斑
 B. 如果磁场方向垂直纸面向外,则 O 点和 P 点分别为 γ 射线和 β 射线形成的亮斑
 C. 如果磁场方向垂直纸面向里,则 O 点和 P 点分

别为 α 射线和 β 射线形成的亮斑

D. 如果磁场方向垂直纸面向外,则 O 点和 P 点分别为 γ 射线和 α 射线形成的亮斑

B 解析:由于一张纸就可以把 α 射线挡住,则 α 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 γ 射线形成的亮斑, β 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 γ 和 β 射线形成的亮斑,故 B 正确。

8.(多选)某核电站泄漏事故中释放出大量的碘 131,碘 131 是放射性同位素,衰变时会发出 β 射线与 γ 射线,碘 131 被人体摄入后,会危害身体健康,由此引起了全世界的关注。下面关于核辐射的相关知识,说法正确的是 ()

- A. 人类无法通过改变外部环境来改变碘 131 衰变的快慢

- B. 若碘 131 的半衰期为 8.3 天, 则 4 个碘原子核经 16.6 天后就一定剩下 1 个原子核未发生衰变
- C. β 射线与 γ 射线都是电磁波, 但 γ 射线穿透本领比 β 射线强
- D. 碘 131 发生 β 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

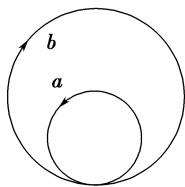
AD 解析: 半衰期是由原子核内部自身因素决定的, 人类无法通过改变外部环境来改变碘 131 衰变的快慢, A 正确; 半衰期是对大量原子核衰变统计得出的规律, 对少量原子核不适用, B 错误; β 射线是高速电子流, γ 射线是电磁波, γ 射线的穿透本领比 β 射线强, C 错误; 碘 131 发生 β 衰变时所释放的电子是原子核内的中子转化为质子时产生的, D 正确。

9. (多选) 元素 X 是 Y 的同位素, 分别进行下列衰变过程: $X \xrightarrow{\alpha} P \xrightarrow{\beta} Q, Y \xrightarrow{\beta} R \xrightarrow{\alpha} S$ 。下列说法正确的是 ()

- A. Q 与 S 互为同位素
- B. X 与 R 原子序数相同
- C. R 比 S 多 2 个中子
- D. R 的质子数少于上述任何元素

AC 解析: 题述变化过程可表示为 ${}^M_Z X \xrightarrow{\alpha} {}^{M-4}_{Z-2} P \xrightarrow{\beta} {}^{M-4}_{Z-1} Q, {}^N_Z Y \xrightarrow{\beta} {}^N_{Z+1} R \xrightarrow{\alpha} {}^{N-4}_{Z-1} S$, 由此可知, Q 与 S 是同位素, R 比 S 多 2 个中子, A、C 正确。

10. (多选) 在匀强磁场中, 一个原来静止的原子发生了衰变, 得到两条如图所示的粒子径迹, 图中箭头表示衰变后粒子的运动方向。不计放出光子的能量, 下列说法正确的是 ()



- A. 发生的是 β 衰变, b 为 β 粒子的径迹
- B. 发生的是 α 衰变, b 为 α 粒子的径迹
- C. 磁场方向垂直于纸面向外
- D. 磁场方向垂直于纸面向里

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 β 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 β 粒子的半径大, 故 b 为 β 粒子的径迹; 在切点, β 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. 放射性元素在医学、工业、能源等领域有很多应用, 不同的放射源可实现不同的目的。下表列出了一些放射性元素的半衰期和可供利用的射线。

元素	半衰期	射线
钋 210	138 天	α
氦 222	3.8 天	β
铯 90	28 年	β
铀 238	4.5×10^9 年	α, β, γ

某塑料公司生产聚乙烯薄膜, 方法是让厚的聚乙烯膜通过轧辊把聚乙烯膜轧薄, 利用适当的放射线来测定通过轧辊后的薄膜厚度是否均匀。可利用的元素是 ()

- A. 钋 210
- B. 氦 222
- C. 铯 90
- D. 铀 238

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 α 射线不合适, 另外, 射线穿透作用还要受薄膜厚度影响, γ 射线穿透能力最强, 薄膜厚度基本不会影响 γ 射线的穿透, 所以只能选用 β 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。

3 核反应 结合能

学习任务目标

1. 知道核反应及其规律。(物理观念)
2. 了解结合能、比结合能和质量亏损等基本概念。(物理观念)
3. 掌握比结合能和质量亏损的含义,能用质能方程进行相关计算。(科学思维)

问题式预习

知识点一 核反应及其结合能

1. 核反应

- (1) 定义:原子核与原子核,或者原子核与其他粒子相互作用产生新核的过程。
- (2) 规律:质量数和核电荷数都守恒。

2. 结合能

分散的核子结合成原子核的过程中所释放出的能量称为原子核的结合能。

3. 质量亏损

- (1) 质量亏损:核反应后原子核的总质量小于核反应前原子核的总质量的现象。
- (2) 质量亏损 Δm 与释放的能量 ΔE 之间的关系是 $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$ 。
- (3) 爱因斯坦的质能方程: $E = mc^2$ 。

[科学思维]

核子 $\xrightarrow{\text{结合}}$ 原子核 \longrightarrow 放出结合能
 原子核 $\xrightarrow{\text{分解}}$ 核子 \longrightarrow 吸收结合能

[判一判]

1. 结合能越大,核子结合得越牢固,原子越稳定。 (×)
2. 质量亏损表明确实存在着原子核的结合能。 (√)
3. 质能方程 $E = mc^2$ 表明了质量与能量可以相互转化。 (×)

知识点二 比结合能曲线

1. 比结合能

原子核的结合能与核子数之比,称为原子核的比结合能,也叫平均结合能。比结合能越大,原子核越稳定。

2. 比结合能曲线

原子核的比结合能随核子数变化的曲线。由曲线可知,中等质量的原子核 ($A = 40 \sim 120$) 的比结合能较大,质量较大的重核 ($A > 120$) 和质量较小的轻核 ($A < 40$) 比结合能都较小。

[科学思维]

为什么说比结合能越大,原子核中核子结合得越牢固,原子核越稳定?

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]

(多选)下列关于结合能和比结合能的说法正确的有

()

- A. 结合能是核子结合成原子核时放出的能量
- B. 结合能是原子核拆解成核子时所需要的最小的能量
- C. 比结合能越大的原子核越稳定,因此它的结合能也一定越大
- D. 重核与中等大小的原子核相比较,重核的结合能和比结合能都较大

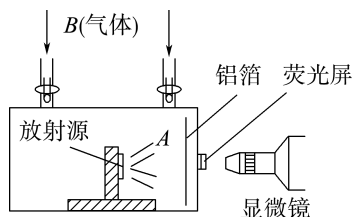
AB 解析:结合能是核子结合成原子核时放出的能量,也是原子核拆解成核子时所需要的最小的能量,A、B 正确;比结合能越大的原子核越稳定,但比结合能越大的原子核,其结合能不一定大,例如中等大小的原子核的比结合能比重核的大,但由于其核子数比重核的少,其结合能比重核的小,C、D 错误。

任务型课堂

任务一 核反应及原子核的人工转变

[探究活动]

如图所示是某著名物理实验装置示意图,科学家利用该装置第一次实现了原子核的人工转变。



(1)请写出该核反应方程。核反应遵循什么规律?

提示: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)请写出这位科学家的名字以及他利用此实验发现了什么。

提示: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.氦核可通过一系列聚变反应释放能量,总的核反应可用 $6{}^2_1\text{H} \rightarrow 2{}^4_2\text{He} + x{}^1_0\text{n} + y{}^1_1\text{p} + 43.15 \text{ MeV}$ 表示,式中 x 、 y 的值分别为 ()

- A. $x=1, y=2$ B. $x=1, y=3$
C. $x=2, y=2$ D. $x=3, y=1$

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.下列核反应方程式书写正确的是 ()

- A. ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \xlongequal{\quad} {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
B. ${}^{30}_{15}\text{P} + {}^0_1\text{H} \longrightarrow {}^{30}_{14}\text{Si}$
C. ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$
D. ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

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.完成下列核反应方程,其中 _____ 是发现质子的核反应方程, _____ 是发现中子的核反应方程。

- (1) ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{14}_6\text{C} + \underline{\hspace{2cm}}$ 。
(2) ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{17}_8\text{O} + \underline{\hspace{2cm}}$ 。
(3) ${}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow \underline{\hspace{2cm}} + {}^4_2\text{He}$ 。
(4) ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow \underline{\hspace{2cm}} + {}^1_0\text{n}$ 。
(5) ${}^{56}_{26}\text{Fe} + {}^2_1\text{H} \longrightarrow {}^{57}_{27}\text{Co} + \underline{\hspace{2cm}}$ 。

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

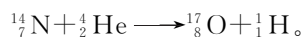
任务总结

1.原子核的人工转变

- (1)条件:用 α 粒子、质子、中子,甚至用 γ 光子轰击原子核使原子核发生转变。
(2)实质:用粒子轰击原子核并不是粒子与原子核碰撞将原子核打开,而是粒子打入原子核内部使原子核发生了转变。
(3)规律:反应前、后核电荷数和质量数守恒。

2.几个典型的人工核转变实例

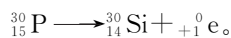
(1)卢瑟福发现质子



(2)查德威克发现中子



(3)居里夫妇发现放射性同位素,同时发现正电子



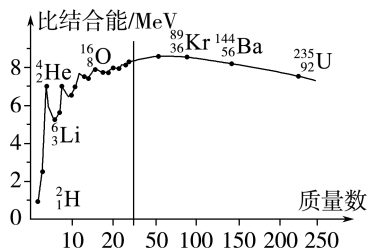
任务二 比结合能与原子核稳定性的关系

1.(多选)对结合能、比结合能的认识,下列说法正确的是 ()

- A. 核子结合为原子核时,一定释放能量
B. 核子结合为原子核时,可能吸收能量
C. 结合能越大的原子核越稳定
D. 比结合能越大的原子核越稳定

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.(多选)原子核的比结合能曲线如图所示。根据该曲线,下列判断正确的有 ()



- A. ${}^4_2\text{He}$ 核的结合能约为 14 MeV
 B. ${}^4_2\text{He}$ 核比 ${}^6_3\text{Li}$ 核更稳定
 C. 两个 ${}^2_1\text{H}$ 核结合成 ${}^4_2\text{He}$ 核时释放能量
 D. ${}^{235}_{92}\text{U}$ 核中核子的比结合能比 ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 核中的大
- BC 解析:根据题图知 ${}^4_2\text{He}$ 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.如果把 ${}^{16}_8\text{O}$ 分成 8 个质子和 8 个中子,要给它提供多少能量? 把它分成 4 个 ${}^4_2\text{He}$,要给它提供多少能量?(已知 ${}^{16}_8\text{O}$ 核子的比结合能是 7.98 MeV, ${}^4_2\text{He}$ 核子的比结合能是 7.07 MeV)

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

任务总结

- 比结合能的大小能够反映原子核的稳定程度,比结合能越大,原子核就越难拆开,表示该核就越稳定。
- 核子数较小的轻核与核子数较大的重核,比结合能都比较小,中等核子数的原子核比结合能较大,表示这些原子核较稳定。
- 当比结合能较小的原子核转化成比结合能较大的原子核时,就可以释放核能。例如,一个核子数较大的重核分裂成两个核子数小一些的核,或者两个核子数很小的轻核结合成一个核子数大一些的核,都能释放出巨大的核能。

任务三 质能方程与质量亏损

[探究活动]

大科学工程“人造太阳”主要是将核反应 ${}^2_1\text{H}+{}^2_1\text{H}\rightarrow{}^3_2\text{He}+{}^1_0\text{n}$ 中释放的能量用来发电。已知 ${}^2_1\text{H}$ 的质量为 2.013 6 u, ${}^3_2\text{He}$ 的质量为 3.016 0 u, ${}^1_0\text{n}$ 的质量为 1.008 7 u,1 u 相当于 931 MeV 的能量。

(1)该核反应的质量亏损为多少?

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

(2)该核反应释放的核能为多少?

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

[评价活动]

1.中子 n、质子 p、氘核 D 的质量分别为 m_n 、 m_p 、 m_D 。

现用光子能量为 E 的 γ 射线照射静止的氘核使之分解,核反应方程为 $\gamma+D\rightarrow p+n$ 。若分解后中子、质子的动能可视为相等,且能量都以动能的形式存在,则中子的动能是 ()

- A. $\frac{(m_D-m_p+m_n)c^2-E}{2}$
 B. $\frac{(m_D+m_n-m_p)c^2+E}{2}$
 C. $\frac{(m_D-m_p-m_n)c^2+E}{2}$
 D. $\frac{(m_D-m_n-m_p)c^2-E}{2}$

C 解析:核反应因质量亏损释放的核能为 $\Delta E=(m_D-m_p-m_n)c^2$,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 $E_k=\frac{\Delta E+E}{2}=\frac{(m_D-m_p-m_n)c^2+E}{2}$,C 正确。

2.2 个质子和 1 个中子结合可以生成 ${}^3_2\text{He}$,核反应方程为 $2{}^1_1\text{H}+{}^1_0\text{n}\rightarrow{}^3_2\text{He}$ 。已知每个质子的质量为 1.007 825 u,中子的质量为 1.008 665 u,氦核的质量为 3.016 029 u。试求 ${}^3_2\text{He}$ 的结合能。(1 u 相当于 931.5 MeV 的能量)

解析:核子结合前、后的质量亏损为

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

由于 1 u 相当于 931.5 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.取质子的质量 $m_p=1.672\ 6\times 10^{-27}\text{ kg}$,中子的质量 $m_n=1.674\ 9\times 10^{-27}\text{ kg}$, α 粒子的质量 $m_\alpha=$

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。

知识点 3 质能方程和核能的计算

5. 为了直接验证爱因斯坦狭义相对论中著名的质能方程 $E=mc^2$, 科学家用中子轰击硫原子, 分别测出原子捕获中子前后质量的变化以及核反应过程中放出的能量, 然后进行比较, 精确验证了质能方程的正确性。设捕获中子前的原子质量为 m_1 , 捕获中子后的原子质量为 m_2 , 被捕获的中子质量为 m_3 , 核反应过程放出的能量为 ΔE , 则这一实验需验证的关系式是 ()

- A. $\Delta E=(m_1-m_2-m_3)c^2$
 B. $\Delta E=(m_1+m_3-m_2)c^2$
 C. $\Delta E=(m_2-m_1-m_3)c^2$
 D. $\Delta E=(m_2-m_1+m_3)c^2$

B 解析: 反应前的质量总和为 m_1+m_3 , 质量亏损 $\Delta m=m_1+m_3-m_2$, 核反应释放的能量 $\Delta E=(m_1+m_3-m_2)c^2$, 选项 B 正确。

6. 氘核和氚核发生的核反应为 ${}^2_1\text{H}+{}^3_1\text{H}\rightarrow{}^4_2\text{He}+{}^1_0\text{n}$ 。已知氘核的比结合能是 2.78 MeV (1 MeV = 1.6×10^{-13} J), 氚核的比结合能是 1.09 MeV, 氦核的比结合能是 7.03 MeV, 则发生核反应时释放的能量为 ()

- A. 1.76×10^7 J
 B. 2.82×10^{-12} J
 C. 1.76×10^{10} J
 D. 2.82×10^{-9} J

B 解析: 反应前氘核的结合能是 $E_1=2\times 1.09$ MeV = 2.18 MeV, 氚核的结合能为 $E_2=3\times 2.78$ MeV = 8.34 MeV, 反应后生成的氦核的结合能为 $E_3=4\times 7.03$ MeV = 28.12 MeV, 反应过程释放出的能量为 $\Delta E=E_3-E_2-E_1=(28.12-8.34-2.18)$ MeV = 17.6 MeV $\approx 2.82\times 10^{-12}$ J, 故 B 正确, A、C、D 错误。

综合性·创新提升

7. 下列有关原子核的说法正确的是 ()

A. 结合能是指将原子核中的核子分开而需要的能量
 B. 结合能越大, 原子核中核子结合得越牢固, 原子核越稳定
 C. 质量亏损是指原子核的质量大于组成它的核子的质量之和
 D. 因为存在质量亏损, 所以在原子核发生衰变时, 质量数不守恒

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。

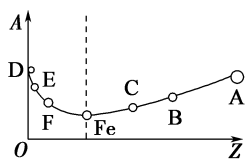
8. (多选) 为纪念爱因斯坦对物理学的巨大贡献, 联合国将 2005 年定为“国际物理年”。关于爱因斯坦提出的质能方程 $E=mc^2$, 下列说法正确的是 ()

A. $E=mc^2$ 表明物体具有的能量与其质量成正比
 B. 根据 $\Delta E=\Delta mc^2$ 可以计算核反应中释放的核能
 C. 一个中子和一个质子结合成氘核时释放出核能, 表明此过程中出现了质量亏损

D. $E=mc^2$ 中的 E 是发生核反应时释放的核能

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. 如图所示是原子核的平均核子质量 A 与原子序数 Z 的关系图像, 下列说法正确的是 ()



- A. 若 D、E 能结合成 F, 结合过程一定要释放能量
 B. 若 D、E 能结合成 F, 结合过程一定要吸收能量
 C. 若 C、B 能结合成 A, 结合过程一定要释放能量
 D. 若 F、C 能结合成 B, 结合过程一定要释放能量

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. 原子质量单位为 u, 1 u 相当于 931 MeV 的能量, 真空中光速为 c , 当质量分别为 m_1 和 m_2 的原子

核结合为质量为 M 的原子核时释放出的能量是 (D)

- A. $(M - m_1 - m_2) u \times c^2$ J
 B. $(m_1 + m_2 - M) u \times 931$ J
 C. $(m_1 + m_2 - M)c$
 D. $(m_1 + m_2 - M) \times 931$ MeV

11. ${}^3_1\text{H}$ 的质量是 $3.016\ 050\ \text{u}$, 质子的质量是 $1.007\ 825\ \text{u}$, 中子的质量是 $1.008\ 665\ \text{u}$ 。 $1\ \text{u}$ 相当于 $931.5\ \text{MeV}$ 的能量, 求: (计算结果均保留三位有效数字)

- (1) 一个质子和两个中子结合为氚核时, 是吸收还是放出能量? 该能量为多少?
 (2) 氚核的结合能和比结合能各是多少?
 (3) 如果(1)中能量是以光子形式放出的, 则光子的频率是多少?

解析: (1) 一个质子和两个中子结合成氚核的核反应方程是 ${}^1_1\text{H} + 2{}^1_0\text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H}$, 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 $m_{\text{H}} = 3.016\ 050\ \text{u}$, 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) 氚核的结合能为 $\Delta E = 8.48\ \text{MeV}$ 。

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 $8.48\ \text{MeV}$

(2) $8.48\ \text{MeV}$ $2.83\ \text{MeV}$ (3) $2.05 \times 10^{21}\ \text{Hz}$

4 核裂变 核聚变

5 粒子物理学发展概况

学习任务目标

- 知道重核的裂变产物和链式反应发生的条件。(物理观念)
- 知道核聚变, 了解受控聚变反应。(物理观念)
- 会判断和书写核裂变、核聚变方程, 能计算核反应释放的能量。(科学思维)
- 知道加速器和对撞机, 知道粒子的分类, 了解夸克模型。(物理观念)
- 了解宇宙起源的大爆炸学说及恒星的演化。(科学思维)

问题式预习

知识点一 核裂变 链式反应

1. 核裂变

(1) 发现: 1938年, 德国物理学家哈恩和他的助手斯特拉斯曼在用中子轰击铀核的实验中发现了铀核的裂变。

(2) 定义: 把重核分裂成几个中等质量的原子核的核反应现象称为核裂变。

(3) 一种典型的铀核裂变



2. 链式反应

(1) 如果一个反应过程的产物能够再次引发这种反

应, 从而使反应一旦开始就能自动延续下去, 这样的反应称为链式反应。

(2) 链式反应的条件: 发生裂变物质的体积大于等于临界体积。

[科学思维]

1. 铀核的裂变是一种天然放射现象吗?

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. 铀核裂变的核反应方程是唯一的吗?

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]

核电站利用原子核链式反应放出的巨大能量进行发电， $^{235}_{92}\text{U}$ 是核电站常用的核燃料。 $^{235}_{92}\text{U}$ 受一个中子轰击后裂变成 $^{144}_{56}\text{Ba}$ 和 $^{89}_{36}\text{Kr}$ 两部分，并产生_____个中子。要使链式反应发生，裂变物质的体积要_____（选填“大于等于”或“小于”）它的临界体积。

解析：由质量数和电荷数守恒可知： $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{144}_{56}\text{Ba} + ^{89}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$ ，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 核反应堆和核电站

1.核反应堆

(1)核反应堆是一种人为可控的核裂变链式反应装置，可分为慢中子反应堆和快中子反应堆。

(2)组成

①燃料：铀棒。

②减速剂：铀235容易捕获慢中子发生反应，常采用普通水、重水或石墨作慢化剂。

③控制棒：由吸收中子能力很强的镉或硼制成，用以控制链式反应的速度。

2.核电站

(1)定义：利用核反应堆进行发电的场所。

(2)工作原理：核反应堆工作时释放出的核能先转变成水的内能，使水变成高温高压的蒸汽，蒸汽推动汽轮发电机发电。

[科学思维]

1.核反应堆中的控制棒是由什么制成的？控制棒起什么作用？

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.慢化剂的作用是什么？是为了减慢裂变速度吗？

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.中子的速度越快，越容易发生铀核裂变。（×）

2.核反应堆是通过调节中子数目来控制反应速度的。（√）

3.核反应堆用过的核废料无毒无害。（×）

知识点三 核聚变和受控热核反应

1.核聚变

(1)定义：把轻原子核聚合成较重原子核的反应。

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

(3)条件

需要上亿摄氏度的温度，因此又叫热核反应。

(4)优点

①能够释放更多的能量。

②废料易处理。

③原料储量丰富。

2.受控热核反应

(1)聚变的难点：地球上没有任何物质结构能够经受热核反应的高温。

(2)控制方法

①磁约束：利用磁场约束参加反应的物质，目前最好的一种磁约束装置是环流器（托卡马克）。

②惯性约束：聚变物质因自身的惯性，在极短时间内来不及扩散就完成了核反应，在惯性约束下，用激光从各个方向照射反应物，使它们“挤”在一起发生反应。

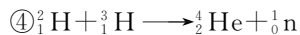
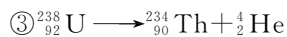
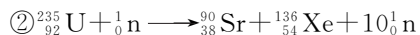
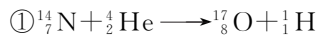
[科学思维]

核聚变为什么需要上亿摄氏度的高温？

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}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]

下列核反应方程中，属于研究“两弹”的基本核反应方程的是（ ）



A. ①④ B. ②③ C. ②④ D. ③④

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 α 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 粒子物理学发展概况

1.加速器和碰撞机

(1)带电粒子加速器

①作用：获得高能粒子来探索物质深层结构。

②原理：带电粒子在电场中受电场力作用而加速。

③分类：直线加速器和回旋加速器。

(2)对撞机

①作用：让高能粒子流实现对撞。

②目的：提高能量的利用率。

2. 粒子及夸克

(1) 粒子的分类: 按照粒子与各种相互作用的关系, 可将粒子分为三大类: 规范玻色子、轻子、强子。

(2) 夸克模型: 1964 年美国物理学家盖尔曼和茨威格各自独立提出了强子结构的夸克模型, 认为强子是由夸克和相应的反夸克组成的, 所带电荷量为 +

$$\frac{2}{3}e \text{ 或 } -\frac{1}{3}e。$$

[做一做]

科学家们正在设法寻找“反物质”, 所谓“反物质”是由“反粒子”构成的, “反粒子”与其对应的正粒子具有相同的质量数和相同的电荷数, 但电荷的符号相反。据此, 若有反 α 粒子, 则它的质量数为 _____, 电荷数为 _____。

解析: 由于 α 粒子为 ${}^4_2\text{He}$, 质量数为 4, 电荷数为 2, 根据题中对“反粒子”的定义, 反 α 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 核裂变和链式反应

[探究活动]

核裂变时, 为什么反应物质必须大于等于临界体积或临界质量才能发生链式反应?

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. 链式反应中, 重核裂变时放出的可以使裂变不断进行下去的粒子是 ()

- A. 质子 B. 中子
C. β 粒子 D. α 粒子

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. 下列核反应中, 表示核裂变的是 ()

- A. ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
B. ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$
C. ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$
D. ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$

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 α 衰变、 β 衰变等。 ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ 是 α 衰变, ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1}\text{e}$ 是 β 衰变, ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \longrightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ 是人工转变, 只有 C 选项是核裂变。

3. (多选) 中国物理学家钱三强与何泽慧等合作, 在利用中子轰击铀的实验中, 观察到三分裂变和四分裂变现象, 其中一种裂变反应式是 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$ 。用 m_{U} 、 m_{Ba} 、 m_{Kr} 分别表示 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 、 ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ 、 ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 核的质量, m_{n} 表示 n 粒子的质量, c 为

真空中的光速。下列说法正确的是 ()

- A. 该核反应过程中质量有所增加
B. 链式反应能否发生跟铀原料的体积有关
C. 裂变产物 ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ 的比结合能大于 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 的比结合能
D. 该核反应中放出的核能为 $(m_{\text{U}} - m_{\text{Ba}} - m_{\text{Kr}} - 3m_{\text{n}})c^2$

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 ${}^{144}_{56}\text{Ba}$ 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。

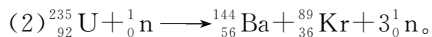
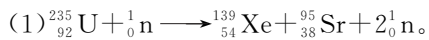
4. 一个 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 原子核在中子的轰击下发生一种可能的裂变反应, 其裂变方程为 ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \longrightarrow \text{X} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + 2{}^1_0\text{n}$, 则下列说法正确的是 ()

- A. X 原子核中含有 86 个中子
B. X 原子核中含有 141 个核子
C. 因为裂变释放能量, 所以根据 $E = mc^2$ 可知裂变后的总质量数增加
D. 因为裂变释放能量, 出现质量亏损, 所以裂变后的总质量数减少

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。

任务总结

1. 典型的裂变方程



2. 核能的释放

由于重核的核子的平均质量大于中等质量原子核的核子的平均质量,因此,铀核裂变为中等质量的原子核时,会发生质量亏损,释放核能。

3. 链式反应发生的条件

(1) 铀块的体积大于等于临界体积。

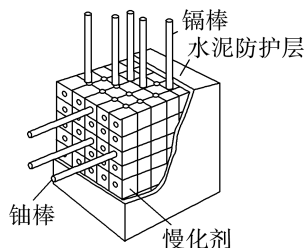
(2) 有足够浓度的铀 235。

(3) 有足够数量的慢中子。

任务二 反应堆和核电站

[探究活动]

如图所示是慢中子核反应堆的示意图。



(1) 快中子与慢中子中,哪一种中子更易使铀 235 发生裂变反应?

提示:慢中子。

(2) 如何控制裂变反应的剧烈程度?

提示: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.(多选)关于原子核反应堆,下列说法正确的是 ()

- A. 铀棒是核燃料,裂变时释放核能
 B. 镉棒的作用是控制反应堆的功率
 C. 石墨的作用是吸收中子
 D. 冷却剂的作用是控制反应堆的温度和输出热能
 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.(多选)截至 2025 年 6 月,秦山核电站(如图所示)已安全发电 33 年,累计发电约 8.7×10^{11} kW·h,相当于减排二氧化碳六亿多吨。为了提高能源利用率,核电站还利用冷却水给周围居民供热。下列说法正确的是 ()



- A. 秦山核电站利用的是核聚变释放的能量
 B. 秦山核电站发电使原子核亏损的质量约为 34.8 kg
 C. 核电站反应堆中需要用镉棒控制链式反应的速度
 D. 反应堆中存在核反应 ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$

CD 解析:秦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 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} =$

$$\frac{8.7 \times 10^{11} \times 1\,000 \times 3\,600}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} = 34.8 \text{ kg}, \text{ 核电站实}$$

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 ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{56}^{144}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$,故 D 正确。

3. 每昼夜消耗 220 g 铀 235 的核电站,如果发电效率为 25%,它能产生的电功率为多大?(已知每个铀核裂变时放出的能量为 200 MeV)

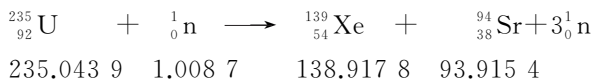
解析:一昼夜消耗的铀所能产生的核能为

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

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

答案: 5.2×10^7 W

4. 裂变反应是目前核能利用中常用的反应。以 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 为燃料的反应堆中, ${}_{92}^{235}\text{U}$ 俘获一个慢中子后发生的裂变反应可以有多种方式,其中一种可表示为



反应方程下方的数字是中子及有关原子的静止质量(以原子质量单位 u 为单位)。已知 $1 u$ 相当于 931.5 MeV 的能量。在此裂变反应过程中:

- (1) 亏损质量为原子质量单位的多少倍?
- (2) 该反应中一个 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 释放出的能量是多少?
- (3) 铀核中平均每个核子释放的能量有多大?

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

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

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

任务总结

1. 核反应堆

原子核的链式反应可以在人工控制下进行, 使核能较平缓地释放出来, 这样释放的核能就能更好地被人类利用, 为人类的和平建设服务。裂变反应堆的结构和工作原理如下表所示:

组成部分	材料	作用
裂变材料 (核燃料)	浓缩铀(${}_{92}^{235}\text{U}$)	提供核燃料
慢化剂 (减速剂)	石墨、重水或普通水	使裂变产生的快中子减速
控制棒	镉和硼	吸收减速后的中子, 控制反应速度
反射层	石墨	阻止中子逃逸
热交换器	水	产生高温蒸汽, 推动汽轮发电机发电
防护层	金属套和钢筋混凝土	防止射线对人体及其他生物体产生侵害

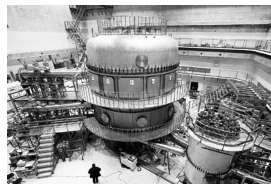
2. 核电站发电的优点

- (1) 消耗的核燃料少。
- (2) 作为核燃料的铀、钍等物质在地球上可采储量较大。
- (3) 对环境的污染要比火力发电小。

任务三 轻核聚变时核能的计算

[探究活动]

据报道, 中国科学院离子物理研究所经过八年的艰苦奋斗, 终于率先建成了世界上第一个全超导的托卡马克试验装置并调试成功。这种装置被



称为“人造太阳”(如图所示), 它能够承受上亿摄氏度的高温, 且能够控制等离子态的核子发生聚变并稳定持续地输出能量, 就像太阳一样为人类提供清洁的能源。

(1) 请写出氘核与氚核发生核聚变的方程式。

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

(2) 请说出核聚变能源的优点。

提示: 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. 一个质子和一个中子聚变结合成一个氘核, 同时辐射一个 γ 光子。已知质子、中子、氘核的质量分别为 m_1 、 m_2 、 m_3 , 普朗克常量为 h , 真空中的光速为 c 。下列说法正确的是 ()

- A. 核反应方程是 ${}_1^1\text{H} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_1^2\text{H} + \gamma$
- B. 聚变反应中的质量亏损 $\Delta m = m_1 + m_2 - m_3$
- C. 辐射出的 γ 光子的能量 $E = (m_3 - m_1 - m_2)c^2$
- D. γ 光子的波长 $\lambda = \frac{h}{(m_1 + m_2 - m_3)c}$

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 ${}_1^1\text{H} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_1^2\text{H} + \gamma$, 故选项 A 错误; 聚变过程中辐射出 γ 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 γ 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, γ 光子的波长 $\lambda = \frac{hc}{(m_1 + m_2 - m_3)c}$, 故选项 D 错误。

2. 新一代人造太阳“中国环流三号”已经建成并实现放电。该装置是我国新一代先进磁约束核聚变实验研究装置, 其核反应方程是 ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} \longrightarrow {}_2^4\text{He} + \text{X} + 17.6 \text{ MeV}$ 。已知氘核、氚核的比结合能分别是 1.09 MeV 、 2.78 MeV , $1 u = 931.5 \text{ MeV}/c^2$ 。下列结论正确的是 ()

- A. X 核的结合能为 13.73 MeV
- B. 氦原子核的比结合能为 7.03 MeV
- C. 氘核结合能为 3.27 MeV
- D. 聚变反应中质量亏损为 $0.01 u$

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 MeV ,选项 B 正确;因为氘核的比结合能是 1.09 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 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 $\Delta m = \frac{17.6}{931.5} \text{ u} = 0.0189 \text{ u}$,选项 D 错误。

3. (2025 · 上海卷,节选)太阳内部发生的反应是核聚变,即氢原子核在高温高压条件下聚合成氦原子核并释放能量的过程,其核反应方程为 $4\text{}^1_1\text{H} \longrightarrow \text{X} + 2\text{}^0_1\text{e}$,则 X 是 ()

- A. H 核 B. He 核
C. Li 核 D. Be 核

B 解析:根据核反应方程 $4\text{}^1_1\text{H} \longrightarrow \text{X} + 2\text{}^0_1\text{e}$,反应前氘核的质量数总和为 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 $A = 4$, $Z = 2$, $\text{}^4_2\text{He}$ 的质量数为 4,电荷数为 2,故选 B。

4. 氘核($\text{}^2_1\text{H}$)和氚核($\text{}^3_1\text{H}$)结合成氦核($\text{}^4_2\text{He}$)的核反应方程如下: $\text{}^2_1\text{H} + \text{}^3_1\text{H} \longrightarrow \text{}^4_2\text{He} + \text{}^1_0\text{n} + 17.6 \text{ MeV}$ 。

- (1) 这个核反应属于_____。
(2) 要发生这样的核反应,需要将反应物质的温度加热到上亿开尔文。式中 17.6 MeV 是核反应中_____ (选填“放出”或“吸收”)的能量,核反应后生成物的总质量比核反应前物质的总质量_____ (选填“增加”或“减少”)了_____ kg (结果保留一位有效数字)。

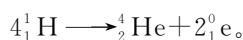
解析:在轻核聚变反应中,由于质量亏损放出核能,由 $\Delta E = \Delta mc^2$,可求得 $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{17.6 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{(3 \times 10^8)^2} \text{ kg} \approx 3 \times 10^{-29} \text{ kg}$ 。

答案:(1)核聚变 (2)放出 减少 3×10^{-29}

5. 太阳内部持续不断地发生着四个质子聚变为一个氦核同时放出两个正电子的热核反应,这个核反应释放出的大量能量就是太阳的能源。(已知质子质量为 $m_{\text{H}} = 1.00783 \text{ u}$,氦核质量为 $m_{\text{He}} = 4.00260 \text{ u}$,电子质量为 $m_{\text{e}} = 0.00055 \text{ u}$, 1 u 相当于 931.5 MeV 的能量)

- (1) 写出该过程的核反应方程。
(2) 这一核反应能释放多少能量?
(3) 已知太阳每秒释放的能量为 $3.8 \times 10^{26} \text{ J}$,则太阳每秒减少的质量为多少千克?

解析:(1)由题意可得核反应方程为



(2) 反应前的总质量

$$m_1 = 4m_{\text{H}} = 4 \times 1.00783 \text{ u} = 4.03132 \text{ u}$$

反应后的总质量

$$m_2 = m_{\text{He}} + 2m_{\text{e}} = 4.00260 \text{ u} + 2 \times 0.00055 \text{ u} = 4.00370 \text{ u}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0.02762 \text{ u}$$

由爱因斯坦质能方程得,释放的能量

$$\Delta E = 0.02762 \times 931.5 \text{ MeV} \approx 25.73 \text{ MeV}.$$

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

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

任务总结 ■■■■■

- 轻核聚变是放能反应;从比结合能的图像看,轻核聚变后比结合能增加,因此聚变反应是一个放能反应。
- 典型核聚变方程: $\text{}^2_1\text{H} + \text{}^3_1\text{H} \longrightarrow \text{}^4_2\text{He} + \text{}^1_0\text{n} + 17.6 \text{ MeV}$ 。
- 轻核聚变释放核能的计算方法

(1) 根据爱因斯坦质能方程,用核子结合成原子核时质量亏损(Δm)的千克数乘以真空中光速的平方,即 $\Delta E = \Delta mc^2$ 。

(2) 根据 1 个原子质量单位(u)相当于 931.5 MeV 的能量,用核子结合成原子核时质量亏损的原子质量单位数乘以 931.5 MeV ,即 $\Delta E = \Delta m \times 931.5 \text{ MeV}$ 。

任务四 对夸克模型的理解

[探究活动]

已知 π^+ 介子、 π^- 介子都是由一个夸克(夸克 u 或夸克 d)和一个反夸克(反夸克 \bar{u} 或反夸克 \bar{d})组成的,它们所带电荷量如表所示, e 为元电荷。

分类	π^+	π^-	u	\bar{u}	d	\bar{d}
电荷量	$+e$	$-e$	$+\frac{2}{3}e$	$-\frac{2}{3}e$	$-\frac{1}{3}e$	$+\frac{1}{3}e$

(1) π^+ 介子应由哪两个夸克组成?

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

(2) π^- 介子又应由哪两个夸克组成?

提示: 同理, π^- 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.(多选)关于人们发现的新粒子,下列说法正确的是 ()

- A. 许多粒子都有自己的反粒子
- B. 粒子可分为强子、轻子、规范玻色子、希格斯玻色子
- C. 质子属于强子
- D. 光子属于轻子

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.目前普遍认为,质子和中子都是由被称为 u 夸克和 d 夸克的两类夸克组成的。u 夸克的电荷量为 $\frac{2}{3}e$,

d 夸克的电荷量为 $-\frac{1}{3}e$, e 为元电荷。下列论断可能正确的是 ()

- A. 质子由 1 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成,中子由 1 个 u 夸克和 2 个 d 夸克组成
- B. 质子由 2 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成,中子由 1 个 u 夸克和 2 个 d 夸克组成
- C. 质子由 1 个 u 夸克和 2 个 d 夸克组成,中子由 2 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成
- D. 质子由 2 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成,中子由 1 个 u 夸克和 1 个 d 夸克组成

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.(多选)“轨道电子俘获”是放射性同位素衰变的一种形式,它是指原子核(母核)俘获一个核外电子,其内部一个质子转变为中子,从而变成一个新核

(子核),并且放出一个中微子的过程。中微子的质量极小,不带电,很难探测到,人们最早就是通过子核的反冲而间接证明中微子的存在。若一个静止的原子核发生“轨道电子俘获”(电子的初动量不计),则 ()

- A. 母核的质量数比子核的质量数多 1 个
- B. 母核的电荷数比子核的电荷数多 1 个
- C. 子核的动量与中微子的动量大小相等
- D. 子核的动能大于中微子的动能

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.在 β 衰变中常伴有一种称为“中微子”的粒子放出。中微子的性质十分特殊,且在实验中很难探测。1953 年,莱因斯和柯文建造了一个由大水槽和探测器组成的实验系统,利用中微子与水中 ${}^1_1\text{H}$ 的核反应,间接地证实了中微子的存在。

(1)中微子与水中的 ${}^1_1\text{H}$ 发生核反应,产生中子(${}^1_0\text{n}$)和正电子(${}^0_1\text{e}$),即:中微子 + ${}^1_1\text{H} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_1\text{e}$ 。可以判定,中微子的质量数和电荷数分别是 _____ 和 _____。

(2)上述核反应产生的正电子与水中的电子相遇,与电子形成几乎静止的整体后,可以转变为两个光子(γ),即 ${}^0_1\text{e} + {}^0_{-1}\text{e} \rightarrow 2\gamma$ 。已知正电子和电子的质量都为 $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$,反应中产生的每个光子的能量约为 _____ J。正电子与电子相遇不可能只转变为一个光子,原因是什么?

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) 8.2×10^{-14} 见解析

任务总结

1. 夸克的种类

上夸克(u)、下夸克(d)、奇异夸克(s)、粲夸克(c)、底夸克(b)和顶夸克(t)。

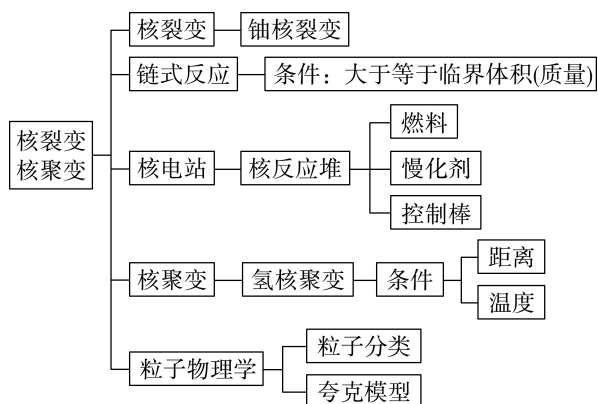
2. 夸克所带电荷量

夸克所带的电荷量是分数电荷量, 即其电荷量为元电荷的 $+\frac{2}{3}$ 或 $-\frac{1}{3}$ 。例如上夸克带的电荷量为 $+\frac{2e}{3}$, 下夸克带的电荷量为 $-\frac{e}{3}$ 。

3. 意义

电子所带电荷量不再是电荷的最小单位, 即存在分数电荷。

► 提质归纳



课后素养评价(十九)

基础性·能力运用

知识点 1 核裂变和链式反应

1. 裂变反应中释放出的能量来自 ()

- A. 核子消失转化为能量
- B. 原子中电子与原子核的电势能减小
- C. 入射的中子消失转化为能量
- D. 原子核的比结合能变大, 释放出能量

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. (多选) 下列有关核反应的说法正确的是 ()

- A. 目前核潜艇是利用重核裂变来提供动力的
- B. 重核裂变反应前后一定有质量亏损
- C. ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{54}^{140}\text{Xe} + {}_{38}^{94}\text{Sr} + d{}_0^1\text{n}$ 式中 $d=1$
- D. 铀核裂变后的新核比铀核的比结合能小

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。

知识点 2 反应堆与核电站

3. (多选) 下列关于核电站的说法正确的是 ()

- A. 核电站直接将核能转化为电能
- B. 反应堆中减速剂是控制核反应速度的
- C. 核反应的快慢是由控制棒来控制的
- D. 目前我国核电站所用的核燃料为浓缩铀

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发电机发电; 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. 在核反应中, 控制铀 235 核裂变反应速度的方法是 ()

- A. 使用浓缩铀
- B. 改变铀块的临界体积
- C. 通过自动控制装置, 改变镉棒插入的深度, 以控制反应速度
- D. 利用石墨与中子的碰撞来改变中子的速度

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。

知识点 3 核聚变

5. (多选) 关于核聚变, 以下说法正确的是 ()

- A. 两个轻核聚变为中等质量的原子核时放出能量
- B. 同样质量的较轻核聚变时放出的能量比同样质量的较重核裂变时释放的能量大得多
- C. 聚变反应的条件是聚变物质的体积达到临界体积
- D. 发生聚变反应时的原子核必须有足够大的动能

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} 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。

知识点 4 “基本”粒子

- 6.(多选)下列说法正确的是 ()
- A. 强子是参与强相互作用的粒子
 B. 轻子是不参与强相互作用的粒子
 C. 目前发现的轻子只有 8 种
 D. 夸克有 6 种,它们带的电荷量分别为元电荷的

$$+\frac{2}{3} \text{ 或 } -\frac{1}{3}$$

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。

综合性·创新提升

- 7.铀核裂变时,关于产生链式反应的重要因素,下列说法正确的是 ()
- A. 铀块的质量是重要因素,与体积无关
 B. 为了使裂变的链式反应容易发生,最好直接利用裂变时产生的中子
 C. 若铀 235 的体积超过它的临界体积,裂变的链式反应就能够发生
 D. 能否发生链式反应与铀块的质量无关

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.(2025·湖北卷)PET(正电子发射断层成像)是核医学科重要的影像学诊断工具,其检查原理是将含放射性同位素(如 $^{18}_9\text{F}$)的物质注入人体参与人体代谢,从而达到诊断的目的。 $^{18}_9\text{F}$ 的衰变方程为 $^{18}_9\text{F} \rightarrow \text{X} + {}^0_{-1}\text{e} + {}^0_0\nu$,其中 ${}^0_0\nu$ 是中微子。已知 $^{18}_9\text{F}$ 的半衰期是 110 min。下列说法正确的是 ()

- A. X 为 $^{17}_8\text{O}$
 B. 该反应为核聚变反应
 C. 1 g $^{18}_9\text{F}$ 经 110 min 剩下 0.5 g $^{18}_9\text{F}$
 D. 该反应产生的 ${}^0_0\nu$ 在磁场中运动时会发生偏转
- 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 β 衰变),而非核聚变,故 B 错误;1 g $^{18}_9\text{F}$ 经过 110 min 即一个衰变周期,则有一半发生衰变, $^{18}_9\text{F}$ 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.(多选)据报道,由我国自行设计和研制的世界第一套全超导核聚变装置(又称“人造太阳”)已完成了

工程调试。下列关于“人造太阳”的说法正确的是 ()

- A. “人造太阳”的核反应方程是 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$
 B. “人造太阳”的核反应方程是 ${}^{238}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$
 C. “人造太阳”释放的核能的计算式是 $E = \frac{1}{2}mc^2$
 D. “人造太阳”释放的核能的计算式是 $\Delta E = \Delta mc^2$

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 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$,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.设氢弹内装的是氘核和氚核,试求在氢弹中合成 1 kg 的氦核时所释放出的能量(氘核 ${}^2_1\text{H}$ 的质量为 2.014 1 u,氚核 ${}^3_1\text{H}$ 的质量为 3.016 0 u,氦核 ${}^4_2\text{He}$ 的质量为 4.002 6 u,中子的质量为 1.008 7 u,1 u 相当于 931.5 MeV 的能量)。

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

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: $2.625 \times 10^{27} \text{ MeV}$

- 11.一个静止的钚核 ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ 自发衰变成为一个铀核 ${}^{235}_{92}\text{U}$ 和另一个原子核 X,并释放出一定的能量,其核衰变方程为 ${}^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow {}^{235}_{92}\text{U} + \text{X}$ 。

(1) 方程中的“X”是什么?

(2) 已知铀核的质量为 $239.052\ 2\ \text{u}$, 钍核的质量为 $235.043\ 9\ \text{u}$, X 核的质量为 $4.002\ 6\ \text{u}$, $1\ \text{u}$ 相当于 $931\ \text{MeV}$ 的能量, 则:

① 该衰变过程放出的能量是多少?

② 假设铀核衰变释放出的能量全部转变为钍核和 X 核的动能, 则 X 核的动能约为多少?

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

$$E_{k_{\text{Th}}} : E_{k_X} = m_X : m_{\text{Th}} = 4 : 235$$

$$\text{则 } E_{k_X} = 5.31 \times \frac{235}{239}\ \text{MeV} = 5.22\ \text{MeV}.$$

答案: 见解析

单元活动构建

单元活动 5 神秘而又威力无穷的原子核

「单元任务」

任务内容	
任务一	衰变中的动量守恒、能量守恒和圆周运动
任务二	原子核变化、质能方程和核能

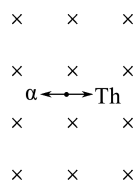
「任务引导」

资料 1: 关于原子核组成的研究, 物理学的发展过程经历了如下几个重要的阶段: 1919 年, 卢瑟福用 α 粒子轰击氮核从而发现了质子; 1920 年, 卢瑟福预言了中子的存在; 1930 年, 约里奥·居里夫妇用钋 (Po) 放出的 α 粒子轰击铍 (Be), 产生了一种贯穿能力极强的射线, 研究发现这种射线是一种中性粒子流; 1932 年, 查德威克用这种射线轰击氢原子和氮原子, 打出了一些氢核 (质子) 和氮核, 测量出被打出的氢核和氮核的速度, 并由此推算出这种粒子的质量而发现了中子。

资料 2: 太阳真的会老化吞没地球吗? 在某国产科幻电影中, 因为太阳极速老化迅速膨胀, 即将在百年后吞没地球, 所以人类试图带着地球一起逃离太阳系。而目前的太阳主要靠氢聚变成氦爆发出能量, 同时在万有引力的作用下维持其正常发光发热的太阳活动, 这大约可以维持几十亿年。电影所展示的“氦闪”是因为太阳核心的大部分氢燃料所剩无几, 随着温度不断升高开始引爆以氦为燃料的聚变反应, 爆发的能量超出了太阳的万有引力所能束缚的界限, 从而导致太阳内部几秒钟内就发生剧烈的氦聚变反应, 形成“氦闪”, 同时太阳表面强力膨胀, 可能吞没地球。

任务一 衰变中的动量守恒、能量守恒和圆周运动

活动 如图所示, 静止的 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核发生 α 衰变后生成反冲核 Th 核, 两个产物都在垂直于它们速度方向的匀强磁场中运动。



(1) 试写出该衰变方程。

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

(2) 静止的 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 核发生衰变后, 射出的 α 粒子和生成的反冲核 Th 核在匀强磁场中做什么运动? 遵循什么规律? 运动轨迹有什么特点?

提示: Th 核和 α 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, α 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 原子核变化、质能方程和核能

活动 某国产科幻大片讲述了太阳即将在未来出现“核燃烧”现象, 从而导致人类无法生存, 人类决定移民到半人马座比邻星的故事。据科学家论证, 太阳向外辐射的能量来自其内部发生的各种热核反应, 当太阳内部达到一定温度时, 会发生“核燃烧”, 其核反应方程为 ${}^4_2\text{He} + X \longrightarrow {}^8_4\text{Be} + \gamma$, 方程中 X 表示某种粒子, ${}^8_4\text{Be}$ 是不稳定的粒子, 其半衰期为 T 。

(1) X 粒子是什么粒子?

提示: X 粒子是 ${}^4_2\text{He}$ 。

(2)“核燃烧”属于哪种核反应?

提示:“核燃烧”的核反应是轻核聚变反应。

(3)随着“核燃烧”,太阳温度持续升高, ${}^8_4\text{Be}$ 的半衰期会发生什么变化?

提示: ${}^8_4\text{Be}$ 的半衰期不会变化。

「知识链接」

1.衰变中的几个问题

- (1) α 衰变和 β 衰变满足质量数守恒、电荷数守恒。
- (2)一个静止的放射性原子核发生衰变时,产物组成的系统满足动量守恒定律。
- (3)一个静止的放射性原子核在匀强磁场中发生衰变时,在洛伦兹力作用下, α 粒子(β 粒子)和新核均做匀速圆周运动。

2.原子核变化的四种类型

类型	可控性	方程典例
衰变	α 衰变	自发 ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$
	β 衰变	自发 ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + {}^0_{-1}\text{e}$
人工转变	人工控制	${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$ (卢瑟福发现质子)
		${}^4_2\text{He} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$ (查德威克发现中子)
		${}^{27}_{13}\text{Al} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$ ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}\text{e}$ (约里奥·居里夫妇发现放射性同位素,同时发现正电子)
重核裂变	容易控制	${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n}$
		${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{139}_{54}\text{Xe} + {}^{95}_{38}\text{Sr} + 2{}^1_0\text{n}$
轻核聚变	很难控制	${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

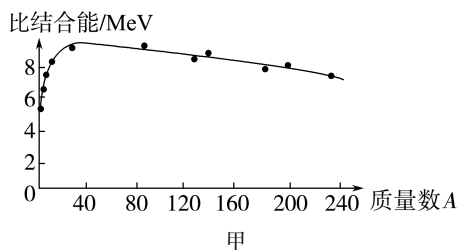
3.方程式的书写

- (1)熟记常见基本粒子的符号是正确书写方程的基础。如质子(${}^1_1\text{H}$)、中子(${}^1_0\text{n}$)、 α 粒子(${}^4_2\text{He}$)、 β 粒子(${}^0_{-1}\text{e}$)、正电子(${}^0_{+1}\text{e}$)、氘核(${}^2_1\text{H}$)、氚核(${}^3_1\text{H}$)等。
- (2)由于原子核变化不可逆,因此书写方程式时只能用“ \rightarrow ”表示反应方向。

(3)衰变和核反应过程中质量数守恒,电荷数守恒。掌握核反应方程和衰变方程遵循的规律是正确书写方程式或判断方程式是否正确的依据。

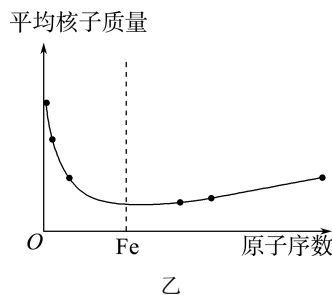
4.从两种图像理解核能

(1)比结合能曲线:不同原子核的比结合能随质量数变化的图线如图甲所示。



当比结合能较小的原子核转化为比结合能较大的原子核时,就释放核能。例如重核裂变为两个中等质量的核,或者两个轻核聚变为一个质量较大的核。

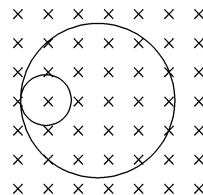
(2)平均核子质量曲线:各种元素的原子核中核子的平均质量与原子序数的关系图像如图乙所示。



重核裂变和轻核聚变反应前后,尽管质量数(核子数)都守恒,但核子的平均质量减小,所以有质量亏损,要释放能量。

「活动达标」

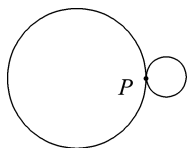
- 1.(多选)一个静止的放射性原子核处于匀强磁场中,由于发生了衰变从而在磁场中形成如图所示的两个圆形径迹,两圆半径之比为1:16。下列说法正确的是 ()



- 该原子核发生了 α 衰变
 - 反冲原子核在小圆上逆时针运动
 - 放射出的粒子与反冲核的运动周期相同
 - 原来静止的核,其原子序数为15
- 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 β 粒子,发生了 β 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 β 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.(多选)已知某放射性元素原子核可记为 ${}^A_Z X$,静止在匀强磁场中的该核在P点发生 α 衰变后,新核做逆时针方向的匀速圆周运动,二者的运动轨迹如图所示。下列说法正确的是 ()

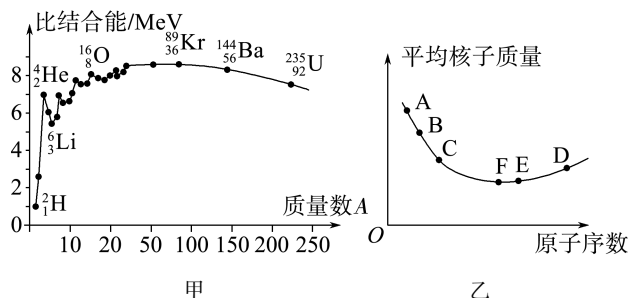


- A. 新核的动能比 α 粒子的动能大
 B. 磁场方向垂直纸面向里
 C. 新核和衰变出来的粒子做匀速圆周运动的半径之比为 $\frac{Z-2}{2}$
 D. 新核和衰变出来的粒子做匀速圆周运动的等效电流之比为 $\frac{(Z-2)^2}{A-4}$

BD 解析:衰变过程中满足动量守恒,设新核的符号为 ${}^{A-4}_{Z-2} Y$,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 α 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 α 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 α 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。

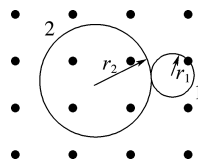
- 3.如图所示,图甲为原子核的比结合能与质量数关系曲线,图乙为原子核的平均核子质量与原子序数的关系曲线。根据两曲线,下列说法正确的是 ()



- A. 根据图甲可知, ${}^4_2\text{He}$ 核的结合能约为7 MeV
 B. 根据图甲可知, ${}^{235}_{92}\text{U}$ 核的结合能比 ${}^{89}_{36}\text{Kr}$ 核的结合能更大
 C. 根据图乙可知,核D裂变成核E和F的过程中,比结合能减小
 D. 根据图乙可知,若A、B能结合成C,结合过程一定要吸收能量

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.在匀强磁场中,一个静止的铀原子核 ${}^{238}_{92}\text{U}$,经衰变后变成一个新核 ${}^{234}_{90}\text{Th}$,放出一个粒子,得到的径迹为如图所示的两个相切圆1和2,两个相切圆半径分别为 r_1 和 r_2 ,且满足 $r_1 < r_2$ 。已知 ${}^{238}_{92}\text{U}$ 的半衰期为45亿年,则下列说法正确的是 ()



- A. 铀原子核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 发生了 β 衰变
 B. 两个相切圆半径 r_1 与 r_2 之比为 1 : 46
 C. 经过 90 亿年, 2 kg 的 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核中有 1.5 kg 发生了衰变
 D. 衰变前后质量不变

C 解析: 新核 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 的质量数比铀原子核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 少 4, 质子数少 2, 因此铀原子核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 发生了 α 衰变, 选项 A 错误; 衰变前, 铀核 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 的动量为 0, 根据动量守恒定律可知, 衰变后产生的新核 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 与 α 粒子的动量大小相等、方向相反, 新核 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 与 α 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 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 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 ${}_{90}^{234}\text{Th}$ 核的质量与 α 粒子的质量之和小于衰变前 ${}_{92}^{238}\text{U}$ 核的质量, 选项 D 错误。

5. 我国自主研发的钍基熔盐堆是瞄准未来 10~20 年核能产业发展需求的第四代核反应堆, 是一种液态燃料堆, 使用钍铀核燃料循环, 以液态氟化盐为冷却剂, 将天然核燃料和可转化核燃料熔融于高温氯化盐中, 携带核燃料在反应堆内部和外部进行循环。钍 232 不能直接使用, 需要俘获一个中子后经过 2 次 β 衰变转化成铀 233 再使用, 铀 233 的一种典型裂变方程是 ${}_{92}^{233}\text{U} + {}_0^1\text{n} \rightarrow {}_{56}^{142}\text{Ba} + {}_{36}^{89}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$ 。已知铀 233 的结合能为 E_1 , 钡 142 的结合能为 E_2 , 氪 89 的结合能为 E_3 , 则 ()

- A. 铀 233 比钍 232 少一个质子
 B. 铀 233、钡 142、氪 89 三个核中氪 89 的结合能最小, 比结合能却最大
 C. 铀 233、钡 142、氪 89 三个核中铀 233 的结合能最大, 比结合能也最大
 D. 铀 233 发生裂变反应释放的能量为 $\Delta E = E_1 - E_2 - E_3$

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 β 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、钡 142、氪 89 三个核中氪 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. 20 世纪 40 年代初, 我国科学家王淦昌先生首先提出证明中微子存在的实验方案: 如果静止原子核 ${}_{4}^7\text{Be}$ 俘获核外 K 层电子, 可生成一个新原子核 X, 并放出中微子 ν_e , 即 ${}_{4}^7\text{Be} + {}_{-1}^0\text{e} \rightarrow \text{X} + {}_{0}^0\nu_e$ 。根据核反应后原子核 X 的动能和动量, 可以间接测量中微子的能量和动量, 进而确定中微子的存在。下列说法正确的是 ()

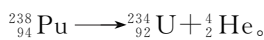
- A. 原子核 X 是 ${}_{3}^7\text{Li}$
 B. 核反应前后的总质子数不变
 C. 核反应前后总质量数不同
 D. 中微子 ν_e 的电荷量与电子的相同

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 ${}_{3}^7\text{Li}$, A 正确, C 错误; 由选项 A 可知, 原子核 X 是 ${}_{3}^7\text{Li}$, 则核反应方程为 ${}_{4}^7\text{Be} + {}_{-1}^0\text{e} \rightarrow {}_{3}^7\text{Li} + {}_{0}^0\nu_e$, 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 ν_e 的电荷量与电子的不相同, D 错误。

7. 核电池又叫“放射性同位素电池”, 它是利用放射性同位素在衰变过程中连续释放的核能转变为电能而制成的。某核电池由放射性同位素 ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 制成, 已知 ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ 衰变为铀核(符号 U)和 α 粒子, 其半衰期为 88 年。若该电池在第一个 88 年内的平均功率为 10 W, 其发电效率为 10%。光速 $c = 3 \times 10^8$ m/s, 一年约有 3.2×10^7 s, 不考虑其他衰变。

- (1) 写出衰变方程;
 (2) 求该电池在第一个 88 年内释放的核能和亏损的质量(结果均保留一位有效数字)。

解析: (1) 根据质量数守恒和电荷数守恒得衰变方程为



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

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

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

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

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

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

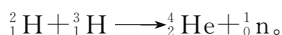
8. 鉴于核裂变产生的放射性废物的处理难度较大且危害性较高,核物理学家致力于核聚变发电以减少核污染。核聚变发电站最有可能的燃料是氢的两种同位素:氘和氚。核聚变是靠温度和压力的共同作用完成的,在地球实验室中完成可控核聚变需要达到1亿摄氏度的极高温度。氘核和氚核聚变时的核反应方程为 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^b_a\text{X}$ 。请回答下列问题:

(1) 补充完整上述核反应方程。

(2) 已知 ${}^2_1\text{H}$ 的比结合能是1.09 MeV, ${}^3_1\text{H}$ 的比结合能是2.78 MeV, ${}^4_2\text{He}$ 的比结合能是7.03 MeV。一个氘核与一个氚核聚变过程释放出的能量为多少?

(3) 设质子、中子的质量均为 m 。在氘与氚两核达到核力作用范围完成核聚变前必须要克服强大的库仑斥力,该反应中两核克服库仑力做功为 W 。若一个氘核与一个速度大小相等的氚核发生对撞,达到核力作用范围,不计周围粒子影响,反应前氘核速度至少多大?

解析:(1) 根据质量数和电荷数守恒可得该核反应方程为



(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,氘核($3m$)和氚核($2m$)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

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

$$\text{解得 } v = \sqrt{\frac{5W}{12m}}$$

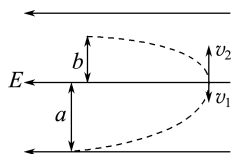
答案:(1) ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \longrightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$

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

9. 静止在匀强电场中的 ${}^{14}_6\text{C}$ 原子核,某时刻衰变放出的某种粒子与新核的初速度方向均与电场方向垂直,且经过相等时间后形成的轨迹如图所示,光速为 c ,忽略粒子与新核之间的作用力。

(1) 写出 ${}^{14}_6\text{C}$ 的衰变方程并求出图中 a 、 b 的比值(新核用 X 表示)。

(2) 若已知新核的动能为 E ,且衰变过程中放出的核能全部转化为两种粒子的动能,求此衰变过程的质量亏损 Δm 。



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 α 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) 根据动能与动量的关系 $E = \frac{p^2}{2m}$

所以新核的动能与 α 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 $E + E_\alpha = \Delta mc^2$

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

答案:(1) ${}^{14}_6\text{C} \longrightarrow {}^{10}_4\text{X} + {}^4_2\text{He}$ $\frac{5}{2}$ (2) $\frac{7E}{2c^2}$

第六章

波粒二象性

1 量子论初步

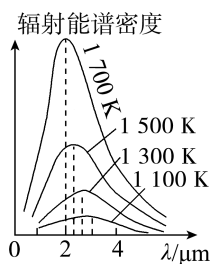
学习任务目标

1. 知道热辐射、黑体与黑体辐射的概念,了解黑体辐射的实验规律。(物理观念)
2. 了解普朗克的量子假说,知道能量子的概念、表达式及普朗克常量。(物理观念)
3. 掌握黑体辐射的规律,提高分析问题、解决问题的能力。(科学思维)

问题式预习

知识点一 热辐射 黑体辐射

1. 热辐射:一切物体都在以电磁波的形式向外辐射能量,而且辐射强度随波长如何分布与物体的温度有关。这种辐射称为热辐射。
2. 黑体:如果某种物体能够全部吸收外来的电磁波而不发生反射,这种物体就称为绝对黑体,简称黑体。
3. 黑体辐射:加热腔体,黑体表面就向外辐射电磁波,这就是黑体辐射。
4. 辐射能谱密度:辐射的电磁波在单位体积内、单位波长(或单位频率)区间内的能量叫作辐射能谱密度,单位是 $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{nm})$ 或 $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{Hz})$ 。
5. 黑体辐射的实验规律



- (1) 黑体辐射的能谱密度按波长分布的情况只与黑体的温度有关。
- (2) 随着温度的升高:各种波长的辐射能谱密度都增加,并且辐射能谱密度的极大值向波长较短的方向移动。

[科学思维]

热辐射一定是高温物体才有吗?一定看得见吗?

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果,但仍产生热辐射。

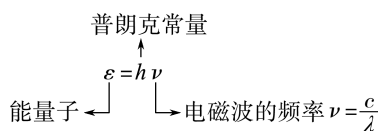
[判一判]

1. 只有高温物体才能辐射电磁波。 (×)
2. 能吸收各种电磁波而不反射电磁波的物体称为黑体。 (√)
3. 温度越高,黑体辐射电磁波的强度越大。 (√)

知识点二 量子论的诞生

1. 量子:普朗克认为,带电谐振子的能量是不连续的,只能取某一最小能量值 $h\nu$ 的整数倍,最小的一份能量为 $\epsilon = h\nu$,称为能量子。
2. 量子的大小: $\epsilon = h\nu$,其中 ν 是谐振动的频率。 h 称为普朗克常量,通常取 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。
3. 量子的意义:标志着量子论的诞生。

[科学思维]



[做一做]

以下宏观概念属于量子化的是 ()

- A. 物体的质量
- B. 物体的动量
- C. 导体中的电流
- D. 东北虎的个数

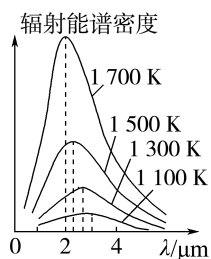
D 解析:物体的质量、动量及导体中的电流的数值均可以取小数或分数,甚至可以取无理数(可取数轴上的任意值),因而是连续的,非量子化的,故 A、B、C 错误;东北虎的只数只能取正整数,不能取分数或小数,因而是连续的,是量子化的,故 D 正确。

任务型课堂

任务一 黑体辐射的实验规律

[探究活动]

在实验室或工厂的高温炉子上开一小孔,小孔可看作黑体,由小孔的热辐射特征,就可以确定炉内的温度。如图所示为黑体的辐射能谱密度与其辐射电磁波波长 λ 的关系图像。



(1)热辐射一定要在高温下才能发生吗?

提示: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)我们周围的物体都在进行热辐射,为什么我们只能观察到部分物体的热辐射?

提示: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)根据黑体的辐射强度与辐射电磁波波长 λ 的关系图像,黑体辐射有怎样的规律?

提示: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.(多选)下列叙述正确的是 ()

- A. 一切物体都在辐射电磁波
- B. 一般物体辐射电磁波的情况只与温度有关
- C. 一般物体辐射电磁波的情况只与材料有关
- D. 黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体温度有关

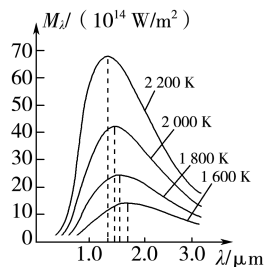
AD 解析:根据热辐射的定义知,A正确;根据热辐射和黑体辐射的特点可知,一般物体辐射电磁波的情况除与温度有关外,还与材料种类和表面状况有关,而黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体温度有关,B、C错误,D正确。

2.(多选)根据黑体辐射的实验规律,以下说法正确的是 ()

- A. 在同一温度下,波长越短的电磁波辐射强度越大
- B. 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
- C. 温度越高,辐射强度的极大值就越大
- D. 温度越高,辐射强度最大的电磁波的波长越短

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。

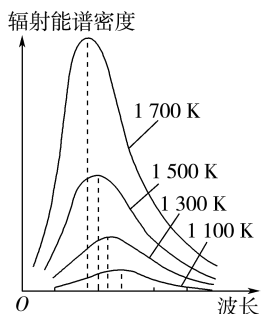
3.热辐射是指所有物体在一定的温度下都要向外辐射电磁波的现象。辐射强度指垂直于电磁波方向的单位面积在单位时间内所接收到的辐射能量。在研究同一物体在不同温度下向外辐射的电磁波的波长与其辐射强度的关系时,得到如图所示的图线,图中横轴 λ 表示电磁波的波长,纵轴 M_λ 表示某种波长的电磁波的辐射强度(功率密度),则由 $M_\lambda-\lambda$ 图线可知,同一物体在不同温度下 ()



- A. 向外辐射同一波长的电磁波的辐射强度相同
- B. 向外辐射的电磁波的波长范围是相同的
- C. 向外辐射的电磁波的总能量随温度升高而减小
- D. 辐射强度的极大值随温度升高而向波长较短的方向移动

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.(多选)黑体辐射的实验规律如图所示,由图可知 ()

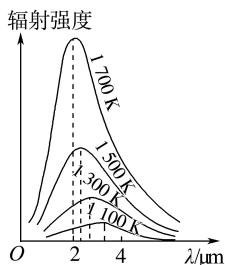


- A. 随温度升高,各种波长的辐射能谱密度都有所增加
- B. 随温度降低,各种波长的辐射能谱密度都有所增加
- C. 随温度升高,辐射能谱密度的极大值向波长较短的方向移动
- D. 随温度降低,辐射能谱密度的极大值向波长较长的方向移动

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。

任务总结

- 1.对于一般材料的物体,辐射电磁波的情况除了与温度有关外,还与材料的种类及表面状况有关。
- 2.黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体的温度有关。如图所示,随着温度的升高,一方面,各种波长的辐射强度都有增加,另一方面,辐射强度的极大值向波长较短的方向移动。



任务二 普朗克能量量子化假说

- 1.(多选)关于普朗克“能量量子化”的假设,下列说法正确的是 ()
- A. 认为带电微粒辐射或吸收能量时,是一份一份地辐射或吸收
 - B. 认为能量值是连续的

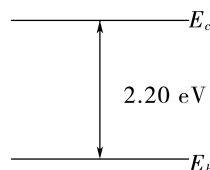
- C. 认为微观粒子的能量是量子化的、连续的
- D. 认为微观粒子的能量是分立的

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.下列关于能量量子化的说法,正确的是 ()
- A. 能量子与电磁波的频率成反比
 - B. 电磁波波长越长,其能量子越大
 - C. 微观粒子的能量是不连续的
 - D. 能量子假设是由爱因斯坦最早提出来的

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;普朗克提出了能量子假设,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;能量子假设是由普朗克最早提出来的,故 D 错误。

- 3.(2024·江西卷)近年来,江西省科学家发明硅衬底氮化镓基系列发光二极管(LED),开创了国际上第三条 LED 技术路线。某氮化镓基 LED 材料的简化能级如图所示,若能级差为 2.20 eV(约 3.52×10^{-19} J),普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s,则发光频率约为 ()



- A. 6.38×10^{14} Hz
- B. 5.67×10^{14} Hz
- C. 5.31×10^{14} Hz
- D. 4.67×10^{14} Hz

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

- 4.能引起人的眼睛产生视觉效应的最小能量为 1×10^{-18} J,已知可见光的平均波长约为 600 nm,普朗克常量为 6.63×10^{-34} J·s,则进入人眼的光子数至少为多少个才能引起人的眼睛的视觉效应?

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

任务总结

1. 能量子假说的意义

(1) 宏观世界里的能量是连续的,而微观世界里的能量是不连续的,是量子化的,是分立的。

(2) 普朗克的能量子假说,使人类对微观世界的本质有了全新的认识,对现代物理学的发展产生了革命性的影响。普朗克常量 h 是自然界中最基本的常量之一,它体现了微观世界的基本特征,架起了电磁波的波动性与粒子性之间的桥梁。

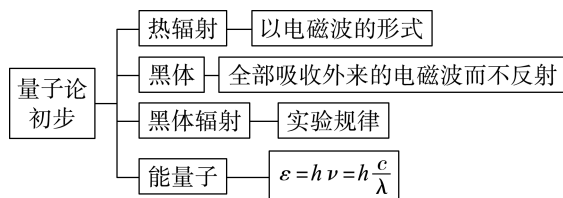
2. 能量子相关计算

(1) 应用 $\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ 计算不同波长的光的能量子的大小。

(2) 应用 $\lambda = h \frac{c}{\varepsilon}$ 计算光的波长。

(3) 应用 $E = n\varepsilon = nh\nu = nh \frac{c}{\lambda}$ 计算光子数。

► 提质归纳



课后素养评价(二十)

基础性·能力运用

知识点 1 黑体、黑体辐射及其实验规律

1. (多选) 对热辐射的认识, 下列说法正确的是 ()

- A. 温度越高, 物体辐射的电磁波越强
- B. 冷的物体只吸收电磁波
- C. 辐射强度按波长的分布情况只与物体的温度有关, 与材料的种类及表面状况无关
- D. 常温下看到的不透明、非发光物体的颜色是反射光的颜色

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. (多选) 以下关于辐射强度与波长关系的说法正确的是 ()

- A. 物体在某一温度下只能辐射某一固定波长的电磁波
- B. 当铁块呈现黑色时, 说明它的温度不太高
- C. 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
- D. 早晚时分太阳呈现红色, 而中午时分太阳呈现白色, 说明中午时分太阳温度最高

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。

知识点 2 能量子

3. (多选) 对于带电微粒辐射和吸收能量时的特点, 以下说法正确的是 ()

- A. 以某一个最小能量值一份一份地辐射或吸收
- B. 辐射和吸收的能量是某一最小值的整数倍
- C. 吸收的能量可以是连续的
- D. 辐射和吸收的能量是量子化的

ABD 解析: 根据普朗克能量子假说, 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. 光子的能量与其 ()

- A. 频率成正比
- B. 波长成正比
- C. 速度成正比
- D. 速度平方成正比

A 解析: 由 $\varepsilon = h\nu$ 、 $c = \lambda\nu$ 得 $\varepsilon = h \frac{c}{\lambda}$, 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. 硅光电池能将光辐射的能量转化为电能。若有 N 个频率为 ν 的光子打在硅光电池的极板上, 这些光子的总能量为 (h 为普朗克常量) ()

- A. $h\nu$ B. $\frac{1}{2}Nh\nu$ C. $Nh\nu$ D. $2Nh\nu$

C 解析: 根据量子假说可知, 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. 两束能量相同的色光, 都垂直地照射到物体表面, 第一束光在某段时间内打在物体表面的光子数与第二束光在相同时间内打在物体表面的光子数之

比为 5 : 4, 则这两束光的光子能量和波长之比分别为 ()

- A. 4 : 5 4 : 5 B. 5 : 4 4 : 5
C. 5 : 4 5 : 4 D. 4 : 5 5 : 4

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。

综合性·创新提升

7. 一盏电灯的发光功率为 100 W, 假设它发出的光向四周均匀辐射, 光的平均波长 $\lambda = 6.0 \times 10^{-7}$ m, 在距电灯 $r = 10$ m 远处, 以电灯为球心的球面上, 1 m^2 的面积每秒通过的能量子数约为 ()

- A. 2×10^{17} 个 B. 2×10^{16} 个
C. 2×10^{15} 个 D. 2×10^{23} 个

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^2 的面积每秒

通过的能量子数 $n' = \frac{n}{4\pi r^2} = \frac{E\lambda}{4\pi r^2 hc} = \frac{100 \times 6.0 \times 10^{-7}}{4 \times \pi \times 10^2 \times 6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}$ 个 $\approx 2.4 \times 10^{17}$ 个, 故选 A。

8. 氦-氖激光器能发出波长为 633 nm 的激光, 当激光器的输出功率为 1.0 mW (毫瓦) 时, 每秒发出的光子数为 ()

- A. 2.2×10^{15} 个 B. 3.2×10^{15} 个
C. 2.2×10^{14} 个 D. 3.2×10^{14} 个

B 解析: 根据 $Pt = nh\nu$ 和 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 可得每秒发出的光子数 $n = \frac{P\lambda t}{hc} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 633 \times 10^{-9} \times 1}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}$ 个 $\approx 3.2 \times 10^{15}$ 个, 选项 B 正确。

9. 在自然界生态系统中, 蛇、老鼠和其他生物通过营养关系构成食物链, 在维持生态平衡方面发挥着重要作用。蛇是老鼠的天敌, 它是通过接收热辐射来发现老鼠的。假设老鼠体温约 $37 \text{ }^\circ\text{C}$, 它发出的最强的热辐射的波长为 λ 。根据热辐射理论, λ 与辐射源的绝对温度 T 的关系近似为 $T\lambda = 2.90 \times$

$10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$, 则老鼠发出的最强的热辐射的波长为 ()

- A. $7.8 \times 10^{-5} \text{ m}$ B. $9.4 \times 10^{-6} \text{ m}$
C. $1.16 \times 10^{-4} \text{ m}$ D. $9.7 \times 10^{-8} \text{ m}$

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. “约瑟夫森结”由超导体和绝缘体制成。若在结的两端加上恒定电压 U , 则它会辐射频率为 ν 的电磁波, 且 ν 与 U 成正比, 即 $\nu = kU$ 。已知比例系数 k 仅与元电荷 e 的 2 倍和普朗克常量 h 有关。比例系数 k 的值可能为 ()

- A. $\frac{h}{2e}$ B. $\frac{2e}{h}$ C. $2eh$ D. $\frac{1}{2eh}$

B 解析: 根据题中给出的 $\nu = kU$, 结合普朗克能量子 $\epsilon = h\nu$ 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. 小灯泡的发光功率 $P = 1 \text{ W}$, 设其发出的光向四周均匀辐射, 平均波长 $\lambda = 10^{-6} \text{ m}$, 在距离 $d = 1.0 \times 10^4 \text{ m}$ 处, 每秒钟落在垂直于光线方向面积为 $S = 1 \text{ cm}^2$ 的球面上的光子数是 ($h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$) ()

- A. 4×10^5 B. 1×10^5
C. 4×10^3 D. 4×10^9

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. 红宝石激光器发射的激光是不连续的一道道闪光,每道闪光称为一个光脉冲。现有一红宝石激光器,发射功率为 1.0×10^{10} W,所发射的每个光脉冲持续的时间 $\Delta t = 1.0 \times 10^{-11}$ s,波长为 793.4 nm。已知光速 $c = 3 \times 10^8$ m/s。每列光脉冲的长度 l 是多少?其中含有的光子数 n 约为多少?(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J·s)

解析:由题意可知 $l = c\Delta t = 3.0 \times 10^8 \times 1.0 \times 10^{-11}$ m $= 3.0 \times 10^{-3}$ m $= 3.0$ 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 λ 和 ν 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 $\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

所以该列光脉冲含有的光子数

$$n = \frac{E}{h\nu} = \frac{\lambda P \Delta t}{hc} = \frac{793.4 \times 10^{-9} \times 1.0 \times 10^{10} \times 1.0 \times 10^{-11}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8} \text{ J} \approx 4.0 \times 10^{17} \text{ 个}.$$

答案: 3.0 mm 4.0×10^{17} 个

2 光电效应

学习任务目标

1. 知道光电效应、截止频率、光子、逸出功等概念。(物理观念)
2. 通过实验探究,掌握光电效应的实验规律。(科学探究)
3. 能应用爱因斯坦光电效应方程解释相关规律,提高分析问题、解决问题的能力。(科学思维)
4. 了解康普顿效应和光子的动量,理解光的波粒二象性。(物理观念)

问题式预习

知识点一 光电效应

1. 光电效应:照射到金属表面的光,能使金属中的电子逸出金属表面,这种现象称为光电效应。
2. 光电子:光电效应中逸出来的电子称为光电子。
3. 光电效应的实验规律

(1) 存在截止频率(极限频率):对给定的阴极材料,都存在一个发生光电效应所需的入射光的最小频率,称为光电效应的截止频率。

(2) 存在饱和光电流:在入射光的频率保持不变的条件下,入射光越强,饱和光电流越大。

(3) 最大初动能:光电子的最大初动能与入射光的频率呈线性关系,与强度无关。

(4) 光电效应具有瞬时性:从光照射到产生光电流的时间约 10^{-9} s。

[科学思维]

同样强度的红光和紫光,单位时间里包含的光子数相等吗?

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 ν_1 小于紫光的频率 ν_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. 金属表面是否发生光电效应与入射光的强弱有关。 (×)
2. 在发生光电效应的条件下,入射光强度越大,饱和光电流越大。 (√)
3. 在光电效应实验中,增大入射光的强度,光电流增大。 (√)

知识点二 光量子 光电效应方程

1. 光子

爱因斯坦认为光本身就是不连续的,而是由单个的能量子组成的,这些能量子称为光子。每一个光子的能量为 $\epsilon = h\nu$, ν 为光子的频率, h 为普朗克常量。

2. 逸出功

在光电效应中,电子由金属内逸出表面时所需做的功 W ,叫作逸出功(光电子逸出金属表面所需的最小能量)。

3. 光电效应方程

(1) 光电效应方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + W.$$

(2)对光电效应规律的解释

①由光电效应方程可知 $\frac{1}{2}mv_m^2$ 与入射光的频率 ν 呈线性关系。

②当 $\frac{1}{2}mv_m^2=0$ 时,金属表面不再有光电子逸出,入射光的频率就是截止频率 ν_0 ,即 $\nu_0=\frac{W}{h}$ 。

③当入射光的频率不变,而光的强度增加时,单位时间内照射到金属表面的光子数增多,从金属中逸出的光电子数目增加,因而饱和电流增大。

④光子的全部能量立刻被金属中的电子吸收,不需要积累能量的时间,光电流自然几乎是瞬时产生的。

[科学思维]

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_m^2 + W$$

普朗克常量 ← h 入射光的频率 ν 逸出功 W
 入射光子的能量 ← $h\nu$ 光电子的最大初动能 $\frac{1}{2}mv_m^2$

[做一做]

(多选)一束单色光照到某金属表面时,有光电子从金属表面逸出。下列说法正确的是 ()

- A. 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
- B. 只增大入射光的强度,光电子的最大初动能将增大
- C. 只增大入射光的频率,光电子的最大初动能将增大
- D. 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

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 康普顿效应

1.康普顿效应

美国物理学家康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时发现,X 射线经物质散射后波长变长,这个现象称为康普顿效应。

2.光子说对康普顿效应的解释

假定 X 射线光子与电子发生弹性碰撞:

(1)在碰撞过程中能量与动量都是守恒的,电子带走一部分能量与动量,散射出去的光子能量与动量都减小,于是散射后的 X 射线波长增大。

(2)因为碰撞中交换的能量与碰撞的角度有关,所以波长改变与散射角有关。

3.康普顿效应证明了光子不但有能量,而且有动量,进一步证实了爱因斯坦的光量子理论。

[科学思维]

光电效应与康普顿效应研究问题的角度有何不同?

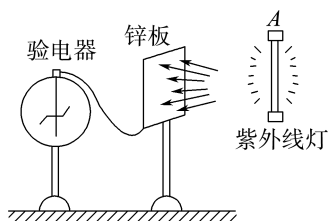
提示:光电效应常用于电子吸收光子的问题,而康普顿效应常用于讨论光子与电子碰撞且没有被电子吸收的问题。

任务型课堂

任务一 光电效应现象

[探究活动]

一验电器与锌板相连,如图所示,用一紫外线灯照射锌板,关灯后,验电器指针保持一定偏角。



(1)现用一带负电的金属小球与锌板接触,则验电器指针偏角将怎样变化?

提示:偏角减小。

(2)使验电器指针回到 0,再用相同强度的钠灯发出的黄光照射锌板,验电器指针无偏转。那么,若改用强度更大的红外线灯照射锌板,验电器指针如何偏转?

提示:指针不偏转。

[评价活动]

1.(2025·广西卷)已知金属铷、钾、钠、钙的逸出功分别为 2.13 eV、2.25 eV、2.29 eV、3.20 eV。用光子

能量为 2.20 eV 的单色光照射这些金属的表面,能逸出光电子的金属是 ()

- A. 铷 B. 钾 C. 钠 D. 钙

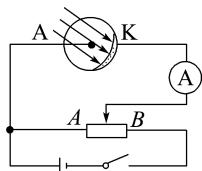
A 解析: 当光子的能量大于金属的逸出功时就能发生光电效应,可知用能量为 2.20 eV 的光子分别照射到四种金属表面上,会发生光电效应的金属是铷。故选 A。

2. (多选) 下列对光电效应的理解正确的是 ()

- A. 金属钠的每个电子可以吸收一个或一个以上的光子,当它积累的动能足够大时,就能逸出金属表面
 B. 在光电效应中,一个电子只能吸收一个光子
 C. 如果入射光子的能量小于金属表面的电子克服原子核的引力而逸出时所需做的最小功,便不能发生光电效应
 D. 发生光电效应时,入射光越强,光子的能量就越大,光电子的最大初动能就越大

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。

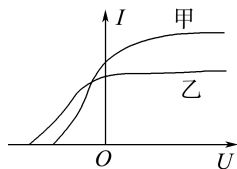
3. 利用光电管研究光电效应的实验如图所示,用频率为 ν 的可见光照射阴极 K,电流表中有电流通过,则 ()



- A. 用紫外线照射,电流表中一定有电流通过
 B. 用红光照射,电流表中一定无电流通过
 C. 用红外线照射,电流表中一定无电流通过
 D. 用频率为 ν 的可见光照射 K,当滑动变阻器的滑动触头移到 A 端时,电流表中一定无电流通过

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 ν 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. 在研究光电效应现象时,先后用两种不同色光照射同一光电管,所得的光电流 I 与光电管两端所加电压 U 间的关系曲线如图所示。下列说法正确的是 ()



- A. 乙光的频率小、光强大
 B. 乙光的频率大、光强大
 C. 若使乙光的强度减为原来的一半,无论电压多大,乙光产生的光电流一定比甲光产生的光电流小
 D. 若另一光电管所加的正向电压不变,甲光能产生光电流,则乙光一定能产生光电流

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。

任务总结

1. 对光电效应现象及规律的理解

- (1) 光电效应中的“光”不是特指可见光,也包括不可见光,由光的频率决定。
- (2) 能否发生光电效应,取决于入射光的频率,与光的强度无关。当入射光的频率 ν 小于截止频率 ν_c 时,一定不能发生光电效应。当入射光的频率 ν 大于或等于截止频率 ν_c 时,才能发生光电效应。
- (3) 发生光电效应时,在入射光频率 ν 不变的情况下,饱和光电流随入射光强度的增大而增大。
- (4) 发生光电效应时,截止电压随入射光频率 ν 的增大而增大,与光的强度无关。

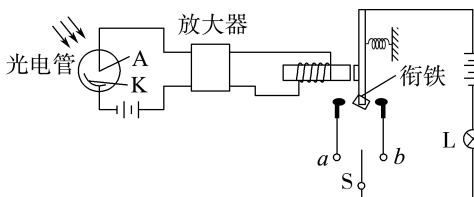
2. 光的波动说与光电效应现象的矛盾

- (1) 从光照射金属表面到光电子产生,需要能量的积累,光越弱,能量积累时间越长,光电子不可能瞬间产生。
- (2) 只要光照时间足够长,总能让金属中的电子吸收到足够的能量,从金属表面逸出,与入射光的频率无关。
- (3) 电子接收的能量越多,逸出的电子的最大初动能也越大。

任务二 爱因斯坦光电效应方程

[探究活动]

深沉的夜色中,在大海上航行的船舶依靠航标灯指引航道,如图所示是一个航标灯自动控制电路的示意图。电路中的光电管阴极 K 涂有可发生光电效应的金属。下表反映的是各种金属发生光电效应的极限频率和极限波长,又知可见光的波长为 $400 \sim 760 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)。



金属	铯	锌	银	铂
极限频率/Hz	4.545×10^{14}	8.065×10^{14}	1.153×10^{15}	1.529×10^{15}
极限波长/ μm	0.660 0	0.372 0	0.260 0	0.196 2

(1) 光电管阴极 K 上应涂有哪种金属?

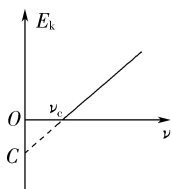
提示: 因为可见光的波长只小于铯的极限波长,所以光电管阴极 K 上应涂有金属铯。

(2) 控制电路中的开关 S 应接触“a”还是“b”?

提示: 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. (多选) 在做光电效应的实验时,某金属被光照射发生了光电效应,实验测得光电子的最大初动能 E_k 与入射光的频率 ν 的关系如图所示,由实验图线可求出 ()



- A. 该金属的极限频率和极限波长
- B. 普朗克常量
- C. 该金属的逸出功
- D. 单位时间内逸出的光电子数

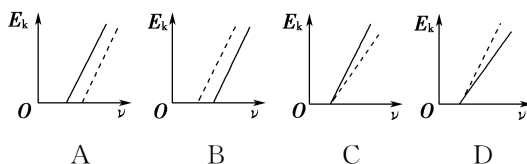
ABC 解析: 根据 $E_k = h\nu - W_0$ 得,纵坐标截距的绝对值等于金属的逸出功 W_0 ,由逸出功 $W_0 = h\nu_c$

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. 用不同频率的紫外线分别照射钨和锌的表面而产生光电效应,可得到光电子的最大初动能 E_k 随入射光频率 ν 变化的 $E_k - \nu$ 图像。已知钨的逸出功是 3.28 eV , 锌的逸出功是 3.24 eV , 若将二者的图线画在一个 $E_k - \nu$ 坐标图中,用实线表示钨,用虚线表示锌,则能正确反映这一过程的图像是 ()



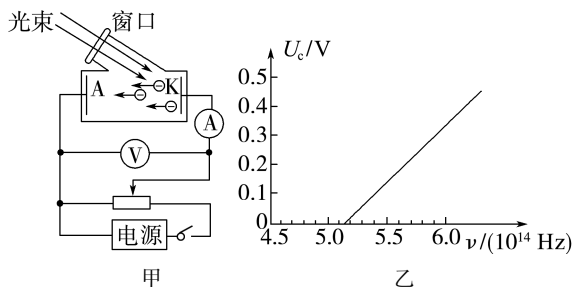
B 解析: 根据光电效应方程 $E_k = h\nu - W_0$ 可知, $E_k - \nu$ 图线的斜率代表了普朗克常量 h , 因此钨和锌的 $E_k - \nu$ 图线应该平行, C、D 错误;图线的横轴截距代表了截止频率 ν_c , 而 $\nu_c = \frac{W_0}{h}$, 因此钨的 ν_c 大, B 正确, A 错误。

3. (多选) X 射线光电子能谱仪是利用 X 光照射材料表面激发出光电子,并对光电子进行分析的科研仪器。用某一频率的 X 光照射某种金属表面,逸出了光电子,若增加此 X 光的强度,则 ()

- A. 该金属的逸出功增大
- B. X 光的光子能量不变
- C. 逸出的光电子最大初动能增大
- D. 单位时间逸出的光电子数增多

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. 小明用阴极为金属铷的光电管观察光电效应现象,实验装置电路如图甲所示。已知普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。



(1)图甲中电极 A 为光电管的 _____ (选填“阴极”或“阳极”)。

(2)实验中测得铷的截止电压 U_c 与入射光频率 ν 之间的关系如图乙所示,则铷的截止频率 $\nu_c =$ _____ Hz,逸出功 $W_0 =$ _____ J。

(3)如果实验中入射光的频率 $\nu = 7.00 \times 10^{14}$ Hz,则产生的光电子的最大初动能 $E_k =$ _____ J。

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。

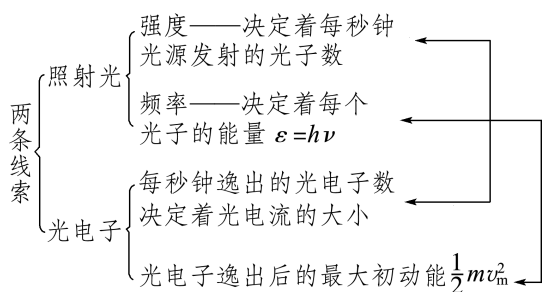
答案:(1)阳极 (2) 5.15×10^{14} ($5.12 \times 10^{14} \sim 5.18 \times 10^{14}$ 均正确) 3.41×10^{-19} ($3.39 \times 10^{-19} \sim 3.43 \times 10^{-19}$ 均正确)

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

任务总结

1. 光电效应规律中的两条线索、两个关系

(1)两条线索



(2)两个关系

①入射光强度大 \rightarrow 光子数目多 \rightarrow 发射光电子数多 \rightarrow 光电流大。

②入射光频率高 \rightarrow 光子能量大 \rightarrow 产生的光电子的最大初动能大。

2. 对光电效应方程 $E_{k\max} = h\nu - W$ 的理解

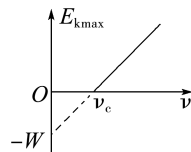
(1)式中的 $E_{k\max}$ 是光电子的最大初动能,就某个光电子而言,其离开金属时初动能大小在 $0 \sim E_{k\max}$ 。

(2)光电效应方程实质上是能量守恒方程:能量为 $\epsilon = h\nu$ 的光子被电子吸收,电子把这些能量的一部分用来克服金属表面对它的吸引,另一部分就是电子离开金属表面时的初动能。如果克服金属表面引力做功最少为 W ,电子离开金属表面时动能最大为 $E_{k\max}$,则根据能量守恒定律可知 $E_{k\max} = h\nu - W$ 。

(3)光电效应方程包含了发生光电效应的条件,

即 $h\nu \geq W$, $\nu_c = \frac{W_0}{h}$ 是光电效应的截止频率。

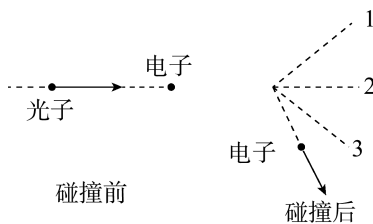
(4) $E_{k\max} - \nu$ 图线:如图所示是光电子最大初动能 $E_{k\max}$ 随入射光频率 ν 的变化图线。横轴上的截距是截止频率或极限频率;纵轴上截距的绝对值等于逸出功;斜率等于普朗克常量。



任务三 康普顿效应

[探究活动]

康普顿效应证实了光子不仅具有能量,而且具有动量。如图所示给出了光子与静止电子碰撞后电子的运动方向,则碰后光子可能沿 1、2、3 哪个方向? 波长如何变化?



提示:可能沿 1 方向,波长变长。

[评价活动]

科学研究证明,光子有能量也有动量,当光子与电子碰撞时,光子的一些能量转移给了电子。假设光子与电子碰撞前的波长为 λ ,碰撞后的波长为 λ' ,则碰撞过程中 ()

- A. 能量守恒,动量守恒,且 $\lambda = \lambda'$
 B. 能量不守恒,动量不守恒,且 $\lambda = \lambda'$
 C. 能量守恒,动量守恒,且 $\lambda < \lambda'$
 D. 能量守恒,动量守恒,且 $\lambda > \lambda'$

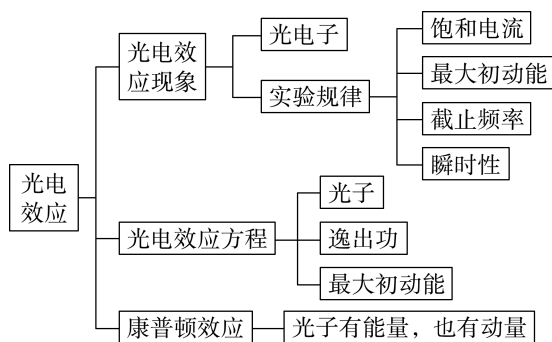
C 解析:能量守恒和动量守恒是自然界的普遍规律,适用于宏观世界,也适用于微观世界,光子与电子碰撞时遵循这两个守恒定律。光子与电子碰撞前光子的能量 $\epsilon = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$,当光子与电子碰撞时,光子的一些能量转移给了电子,光子的能量 $\epsilon' = h\nu' = h\frac{c}{\lambda'}$,由 $\epsilon > \epsilon'$,可知 $\lambda < \lambda'$,选项 C 正确。

任务总结

康普顿效应

- (1)若光子和外层电子相碰撞,光子有一部分能量传给电子,散射光子的能量减少,于是散射光的波长大于入射光的波长。
- (2)若光子和束缚很紧的内层电子相碰撞,光子将与整个原子交换能量,由于光子质量远小于原子质量,根据碰撞理论,碰撞前、后光子能量几乎不变,波长不变。
- (3)因为碰撞中交换的能量和碰撞的角度有关,所以波长的改变量和散射角有关。

► 提质归纳



课后素养评价(二十一)

基础性·能力运用

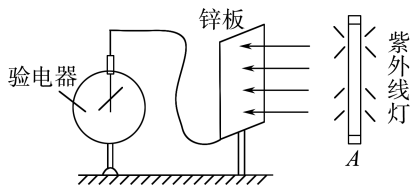
知识点 1 光电效应现象

- 1.(多选)现用某一光电管进行光电效应实验,当用某一频率的光照射时,有光电流产生。下列说法正确的是 ()
- A. 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
 - B. 入射光的频率变高,光电子的最大初动能变大
 - C. 保持入射光的光强不变,不断减小入射光的频率,始终有光电流产生
 - D. 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

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。

知识点 2 光电效应方程

- 2.在演示光电效应的实验中,原来不带电的一块锌板与验电器相连,用紫外线灯照射锌板时,验电器的指针张开一个角度,如图所示。下列说法正确的是 ()



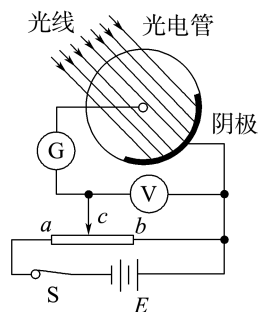
- A. 验电器的指针带正电
- B. 若仅增大紫外线的频率,则锌板的逸出功增大
- C. 若仅增大紫外线灯照射的强度,则单位时间内产生的光电子数减少
- D. 若仅减小紫外线灯照射的强度,则可能不发生光电效应

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.若能量为 E_0 的光子照射到某金属表面时,从金属表面逸出的光电子的最大初动能为 E ,则能量为 $2E_0$ 的光子照射到该金属表面时,逸出的光电子的最大初动能为 ()
- A. $E_0 + E$
 - B. $E_0 - E$
 - C. $2E$
 - D. $2E_0 - E$

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. 用如图所示的实验装置研究光电效应现象。用光子能量为 2.75 eV 的光照射到光电管上时发生了光电效应, 电流表 G 的示数不为零, 移动变阻器的触点 c , 发现当电压表的示数大于或等于 1.7 V 时, 电流表示数为零, 则在该实验中 ()



- A. 光电管阴极的逸出功为 1.05 eV
 B. 光电子的最大初动能为 1.05 eV
 C. 若开关 S 闭合, 当滑动触头向 a 端滑动时, 电流表 G 示数可能增大
 D. 若开关 S 断开, 用光子能量为 1.00 eV 的强光照射, 电流表 G 可能满偏

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 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。

知识点 3 康普顿效应

5. 物理学家康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时, 用 X 光对静止的电子进行照射, 照射后电子获得速度的同时, X 光光子的运动方向也会发生相应的改变。下列说法正确的是 ()

- A. 入射光子与晶体中的电子碰撞时, 把部分动量转移给电子, 因此光子散射后频率变大
 B. 康普顿效应揭示了光的粒子性, 表明光子除了具有能量之外还具有动量
 C. X 光散射后与散射前相比, 速度变小
 D. 散射后的光子虽然改变了原来的运动方向, 但频率保持不变

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。

综合性·创新提升

6. 分别用 a 、 b 、 c 三种颜色的光照射某金属板, 当用 b 光照射时, 发现金属表面有光电子逸出。已知三种光的波长关系是 $\lambda_a < \lambda_b < \lambda_c$, 则下列判断正确的是 ()

- A. 用 c 光照射这块金属板时, 一定不会有光电子逸出
 B. 用 a 光照射这块金属板时, 可能没有光电子逸出
 C. 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
 D. b 光的照射强度越强, 从金属表面逸出的光电子的最大初动能就会越大

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。

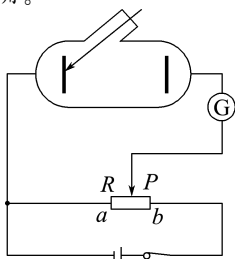
7. (多选) 分别用波长为 λ 和 2λ 的光照射同一种金属, 产生的光电子最大速度之比为 $2:1$, 普朗克常量和真空中的光速分别用 h 和 c 表示, 那么下列说法正确的有 ()

- A. 该种金属的逸出功为 $\frac{hc}{3\lambda}$
 B. 该种金属的逸出功为 $\frac{hc}{\lambda}$
 C. 波长超过 2λ 的光都不能使该金属发生光电效应
 D. 波长超过 4λ 的光都不能使该金属发生光电效应

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. 如图所示为一光电管电路,滑动变阻器触头位于 ab 上某点,用黄光照射光电管阴极,电流表指针无偏转。要使电流表指针偏转,可能有用的措施是



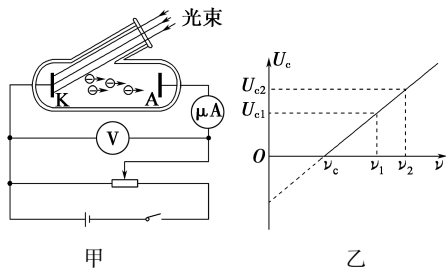
- ()
- A. 增大黄光的强度
B. 换用蓝光照射
C. 将 P 向 a 滑动
D. 将电源正、负极对调

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. 从 1907 年起,美国物理学家密立根开始以精湛的技术测量光电效应中几个重要的物理量。他通过如图甲所示的实验装置测量某金属的截止电压 U_c 与入射光频率 ν ,作出的 $U_c-\nu$ 图像,如图乙所示,由

此算出普朗克常量 h ,并与普朗克根据黑体辐射测出的 h 相比较,以检验爱因斯坦光电效应方程的正确性。图中频率 ν_1, ν_2 ,截止电压 U_{c1}, U_{c2} 及电子的电荷量 e 均为已知量。求:

- (1) 普朗克常量 h ;
(2) 该金属的截止频率 ν_c 。



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 $W_0 = h\nu_c$

$$\text{得 } U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_c$$

$$\text{结合图像知 } k = \frac{h}{e} = \frac{U_{c2} - U_{c1}}{\nu_2 - \nu_1} = \frac{U_{c1}}{\nu_1 - \nu_c}$$

$$\text{解得普朗克常量 } h = \frac{e(U_{c2} - U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1}$$

$$\text{该金属的截止频率 } \nu_c = \frac{U_{c2}\nu_1 - U_{c1}\nu_2}{U_{c2} - U_{c1}}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{e(U_{c2} - U_{c1})}{\nu_2 - \nu_1} \quad (2) \frac{U_{c2}\nu_1 - U_{c1}\nu_2}{U_{c2} - U_{c1}}$$

3 波粒二象性

学习任务目标

1. 知道光的波粒二象性,理解其对立统一关系,并能利用波粒二象性解释有关现象。(科学思维)
2. 知道德布罗意波及其波长公式,会计算物质波的波长。(物理观念)
3. 知道实物粒子也具有波动性及其实验验证方法。(物理观念)

问题式预习

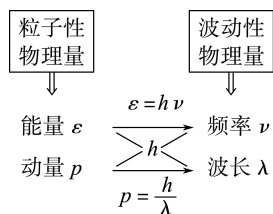
知识点一 光的波粒二象性

1. 光的干涉和衍射现象表明光具有波动性,光电效应和康普顿效应则表明光具有粒子性。
2. 光既具有波动性,又具有粒子性,即光具有波粒二象性。
3. 光子的能量 ϵ 和动量 p 可以表示为 $\epsilon = h\nu$ 和 $p = \frac{h}{\lambda}$ 。其中能量 ϵ 和动量 p 是描述光子的粒子性的

重要物理量,波长 λ 和频率 ν 是描述光子的波动性的特征物理量。

[科学思维]

1. 光的波粒二象性
 - 有时表现出波动性:光的干涉、衍射、偏振等
 - 有时表现出粒子性:光电效应、康普顿效应等
2. 普朗克常量 h 的“桥梁”作用



[判一判]

1. 光既具有波动性, 又具有粒子性, 这是互相矛盾和对立的。 (×)
2. 光的波动性类似于机械波, 光的粒子性类似于质点。 (×)
3. 光的波长越长, 其波动性越显著; 波长越短, 其粒子性越显著。 (√)

知识点二 德布罗意物质波假说及实验验证

1. 粒子的波动性

(1) 德布罗意波

实物粒子像光子一样, 也具有波粒二象性, 其对应的波称为德布罗意波, 也叫作物质波。

(2) 德布罗意关系式

$$\text{波长 } \lambda = \frac{h}{p}; \text{ 频率 } \nu = \frac{\varepsilon}{h}$$

2. 物质波实验验证

(1) 实验探究思路

干涉、衍射是波特有的现象, 如果实物粒子具有波动性, 则在一定条件下, 也应该发生干涉或衍射现象。

(2) 实验验证

戴维孙及其合作者革末和 G.P. 汤姆孙分别用单晶和多晶薄膜做了电子束衍射的实验, 得到了电子的衍射图样, 证实了电子的波动性。

(3) 推广

实验相继证实了中子、质子以及原子、分子在一定条件下也会发生干涉、衍射现象, 对于这些粒子, 德布罗意关系式仍然成立。

3. 概率波与经典波的差异

(1) 概率波: 物质波是一种概率波。即物质波在某一地方的强度跟在该处找到它所代表的粒子的概率成正比。

(2) 在电子的衍射现象中, 强度大的地方, 电子到达的概率大, 强度小的地方, 电子到达的概率小。

[科学思维]

为什么不能直接看到物质波的衍射现象?

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. 一切宏观物体都伴随着一种波, 即物质波。 (×)
2. 速度大的物体, 其物质波的波长短。 (×)
3. 湖面上的水波就是物质波。 (×)
4. 光子数量越大, 其粒子性越明显。 (×)

任务型课堂

任务一 光的波粒二象性

1. (多选) 下列说法正确的是 ()

- A. 光电效应表明光具有波动性
- B. 光的康普顿散射现象表明光具有粒子性
- C. 光的干涉现象表明光具有波动性
- D. 光的衍射现象表明光具有粒子性

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. 下列关于光的波粒二象性的说法, 正确的是 ()

- A. 一束传播的光, 有的光是波, 有的光是粒子
- B. 光波与机械波是同样的一种波
- C. 光的波动性是由于光子间的相互作用而形成的
- D. 光是一种波, 同时也是一种粒子, 光子说并未否

定电磁说, 在光子能量 $\varepsilon = h\nu$ 中, 频率 ν 仍表示的是波的特性

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. 下列关于光的波粒二象性的说法, 正确的是 ()

- A. 有的光是波, 有的光是粒子
- B. 光子与电子是同一种粒子
- C. 光的波长越长, 其波动性越显著; 波长越短, 其粒子性越显著
- D. 大量光子的行为往往显示出粒子性

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,所以不能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. 由中国科学院高能物理研究所牵头的中国高海拔宇宙线观测站(LHAASO,拉索)国际合作组曾在北京宣布,在银河系内发现大量超高能宇宙加速器,并记录到 1.4×10^{15} 电子伏的伽马光子,这是人类观测到的最高能量光子,则该光子的动量约为

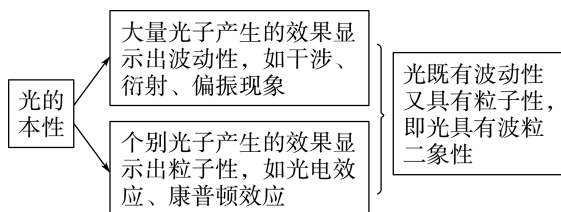
- A. $7 \times 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- B. $7 \times 10^{-12} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- C. $7 \times 10^{-10} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- D. $7 \times 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

A 解析: 伽马光子的能量为 $E = 1.4 \times 10^{15} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.24 \times 10^{-4} \text{ J}$, 根据 $E = mc^2$, 可得该光子动量为 $p = \frac{E}{c} = \frac{2.24 \times 10^{-4}}{3 \times 10^8} \text{ kg} \cdot \text{m/s} \approx 7 \times 10^{-13} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, 故选 A。

任务总结

对光的本性的理解

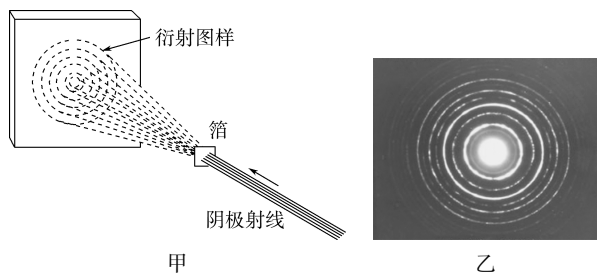
- (1) 光既有波动性又有粒子性,二者是统一的。
- (2) 光表现出波动性,只是光的波动性显著,粒子性不显著而已。
- (3) 光表现出粒子性,只是光的粒子性显著,波动性不显著而已。
- (4)



任务二 粒子的波动性

[探究活动]

如图甲所示,利用金属晶格(大小约 10^{-10} m)作为障碍物观察电子的衍射图样,方法是让电子束通过电场加速后,照射到金属晶格上,从而得到电子的衍射图样,如图乙所示。



(1) 若已知电子质量为 m , 电荷量为 e , 初速度为 0, 加速电压为 U , 普朗克常量为 h , 则电子的德布罗意波长为多少?

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

(2) 若加速电压增大, 电子衍射现象变得越明显还是越不明显?

提示: 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. (多选) 波粒二象性是微观世界的基本特征, 下列说法正确的是 ()

- A. 光电效应和康普顿效应揭示了光的粒子性
- B. 电子束的晶体衍射实验表明实物粒子具有波动性
- C. 动能相等的质子和电子的德布罗意波长相等
- D. 低频电磁波的粒子性显著, 高频电磁波的波动性显著

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. (多选) 关于实物粒子的波粒二象性, 下列说法正确的是 ()

- A. 不仅光子具有波粒二象性, 而且一切运动的微观粒子都具有波粒二象性
- B. 运动的微观粒子与光子一样, 当它们通过一个小孔时, 没有特定的运动轨迹
- C. 波动性和粒子性, 在宏观现象中是矛盾的、对立的

光的速度为 $c = \frac{\epsilon\lambda}{h}$ 或 $c = \frac{\epsilon}{p}$ 。

2. 德布罗意认为实物粒子也具有波动性, 他给出了德布罗意波长的表达式 $\lambda = \frac{h}{p}$ 。现用同样的直流电压加速原来静止的一价氢离子 H^+ 和二价钙离子 Ca^{2+} 。已知氢离子与钙离子的质量比为 1 : 40, 则加速后的氢离子和钙离子的德布罗意波长之比为 ()

- A. 1 : $4\sqrt{3}$ B. $4\sqrt{3}$: 1
C. 1 : $4\sqrt{5}$ D. $4\sqrt{5}$: 1

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

3. (2025 · 重庆卷) 在科学实验中可利用激光使原子减速, 若一个处于基态的原子朝某个方向运动, 吸收一个沿相反方向运动的能量为 E 的光子后跃迁到相邻激发态, 原子速度减小, 动量变为 p 。已知普朗克常量为 h , 光速为 c , 则 ()

- A. 光子的波长为 $\frac{E}{hc}$
B. 该原子吸收光子后质量减少了 $\frac{E}{c^2}$
C. 该原子吸收光子后德布罗意波长变为 $\frac{h}{p}$
D. 一个波长更长的光子也能使该基态原子跃迁到激发态

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. 如果一个中子和一个质量为 10 g 的子弹都以 10^3 m/s 的速度运动, 则它们的德布罗意波长分别是多长? (中子的质量为 1.67×10^{-27} kg, 普朗克常

量 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J · s)

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

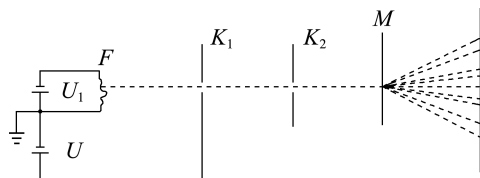
$$\lambda_1 = \frac{h}{p_1}, \lambda_2 = \frac{h}{p_2}$$

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 $\lambda_1 \approx 4.0 \times 10^{-10}$ m, $\lambda_2 = 6.63 \times 10^{-35}$ m。

答案: 4.0×10^{-10} m 6.63×10^{-35} m

5. 如图所示为证实电子波动性存在的实验装置示意图, 从灯丝 F 上飘出的热电子可认为初速度为 0, 所加加速电压 $U = 1 \times 10^4$ V, 电子质量为 $m = 0.91 \times 10^{-30}$ kg。电子被加速后通过小孔 K_1 和 K_2 后入射到薄的金箔 M 上, 发生衍射, 结果在照相底片上形成同心圆环的明暗条纹。试计算电子的德布罗意波长。(普朗克常量 $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J · s, 结果保留三位有效数字)



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

电子的动量 $p = m v = \sqrt{2mE_k} = \sqrt{2meU}$

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

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

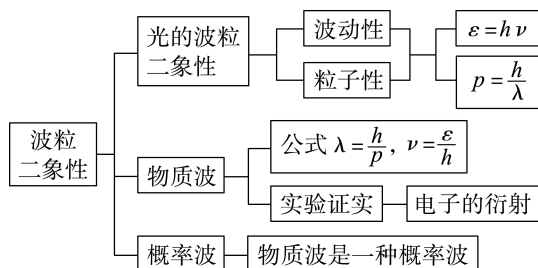
答案: 1.23×10^{-11} m

任务总结

计算物质波波长的方法

- (1) 根据已知条件, 写出宏观物体或微观粒子动量的表达式 $p = mv$ 。
- (2) 根据波长公式 $\lambda = \frac{h}{p}$ 求解。

► 提质归纳



课后素养评价(二十二)

基础性·能力运用

知识点 1 光的本性

1. 根据爱因斯坦的“光子说”可知 ()

- A. “光子说”本质就是牛顿的“微粒说”
 B. 光的波长越长,光子的能量越小
 C. 一束单色光的能量可以连续变化
 D. 只有光子数目很多时,光才具有粒子性

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. 关于光的波动性与粒子性,以下说法正确的是 ()

- A. 爱因斯坦的光子说否定了光的电磁说
 B. 光电效应现象说明了光的粒子性
 C. 光的波动性和粒子性是相互矛盾的,无法统一
 D. 以上说法均错误

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。

知识点 2 粒子的波动性

3. 电子衍射实验证明电子具有波动性,这种波可称为 ()

- ①电磁波 ②概率波 ③德布罗意波 ④物质波
 A. ①② B. ①④
 C. ①②③ D. ②③④

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. 下列说法正确的是 ()

- A. 物质波属于机械波
 B. 只有像电子、质子、中子这样的微观粒子才具有波动性
 C. X射线的衍射实验,证实了德布罗意假设是正确的
 D. 宏观物体运动时也具有波动性,但是不容易观察到

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。

知识点 3 物质波波长的计算

5. 质量为 m 的粒子原来的速度为 v ,现将粒子的速度增大为 $2v$,则该粒子的物质波的波长将(粒子的质量保持不变) ()

- A. 保持不变
 B. 变为原来波长的 2 倍
 C. 变为原来波长的一半
 D. 变为原来波长的 $\sqrt{2}$ 倍

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. (多选)频率为 ν 的光子,德布罗意波长为 $\lambda = \frac{h}{p}$,能量为 E ,则该光子的速度大小为 ()

- A. $\frac{E\lambda}{h}$ B. pE C. $\frac{E}{p}$ D. $\frac{h^2}{Ep}$

AC 解析:波长为 $\lambda = cT = \frac{c}{\nu} = \frac{h}{p}$ (c 为光速),波的能量为 $E = h\nu = pc$,可得 $c = \frac{E}{p} = \frac{E\lambda}{h}$,A、C 正确。

综合性·创新提升

7. (2024·新课标卷)三位科学家由于在发现和合成量子点方面的突出贡献,荣获了2023年诺贝尔化学奖,不同尺寸的量子点会发出不同颜色的光。现有两种量子点分别发出蓝光和红光,则下列说法正确的是 ()

- A. 蓝光光子的能量大于红光光子的能量
- B. 蓝光光子的动量小于红光光子的动量
- C. 在玻璃中传播时,蓝光的速度大于红光的速度
- D. 蓝光在玻璃中传播时的频率小于它在空气中传播时的频率

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。

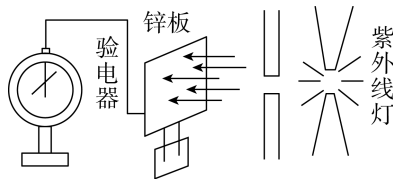
8. (2024·湖南卷)量子技术是当前物理学应用研究的热点,下列关于量子论的说法正确的是 ()

- A. 普朗克认为黑体辐射的能量是连续的
- B. 光电效应实验中,红光照射可以让电子从某金属表面逸出,若改用紫光照射,也可以让电子从该金属表面逸出
- C. 康普顿研究石墨对 X 射线的散射时,发现散射后仅有波长小于原波长的射线成分
- D. 德布罗意认为质子具有波动性,而电子不具有波动性

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. 如图所示,紫外线灯发出的光经一狭缝后,在锌板上形成亮暗相间的条纹,与锌板相连的验电器的指

针有张角,则该实验不能证明 ()



- A. 光具有波动性
- B. 从锌板上逸出带正电的粒子
- C. 光能发生衍射
- D. 光具有波粒二象性

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. (2025·四川卷)某多晶薄膜晶格结构可以等效成缝宽约为 3.5×10^{-10} m 的狭缝。下列粒子束穿过该多晶薄膜时,衍射现象最明显的是 ()

- A. 德布罗意波长约为 7.9×10^{-13} m 的中子
- B. 德布罗意波长约为 8.7×10^{-12} m 的质子
- C. 德布罗意波长约为 2.6×10^{-11} m 的氮分子
- D. 德布罗意波长约为 1.5×10^{-10} m 的电子

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 λ 决定了其波动性,衍射的明显程度通常与波长 λ 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. 现用电子显微镜观测线度为 d 的某生物大分子的结构,为满足测量要求,将显微镜工作时电子的德布罗意波长设定为 $\frac{d}{n}$,其中 $n > 1$ 。已知普朗克常量为 h ,电子质量为 m ,电子的电荷量为 e ,电子的初速度不计,则显微镜工作时电子的加速电压应为 ()

- A. $\frac{n^2 h^2}{med^2}$
- B. $\left(\frac{md^2 h^2}{n^2 e^3}\right)^{\frac{1}{3}}$
- C. $\frac{d^2 h^2}{2men^2}$
- D. $\frac{n^2 h^2}{2med^2}$

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. 质量为 $1\ 000\text{ kg}$ 的小汽车以 $v=40\text{ m/s}$ 的速度在高速公路上行驶, 求小汽车的德布罗意波长。(普朗克常量 $h=6.63\times 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s}$)

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: $1.7\times 10^{-38}\text{ m}$

单元活动构建

单元活动 6 量子力学的初步建立

「单元任务」

任务内容	
任务一	光电效应的相关图像
任务二	光电效应与能级跃迁

「任务引导」

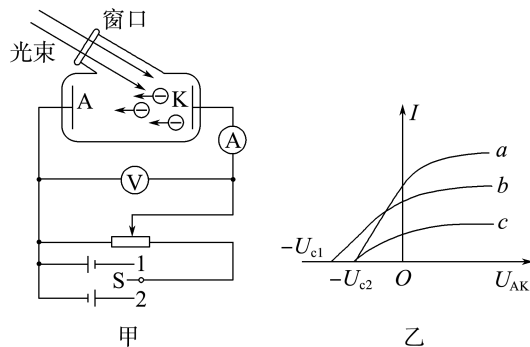
资料 1: 大家都知道光是具有波粒二象性的, 也都知道光的双缝干涉实验证明了光存在波的属性, 改变一下实验条件: 每一次只发射一个光子, 结果将如何? 荧幕上是否会产生如同波干涉一样的条纹(如果粒子不受其他粒子影响, 按经典理论该粒子应当重复之前的路径)? 结果是一次只发射一个光子时, 光子依旧会产生干涉现象(显像位置按概率出现, 无法使用经典理论解释)。由此引出了量子论的关键观点之一: 互补性原理。

资料 2: 光电效应现象是赫兹在做证实麦克斯韦的电磁理论的火花放电实验时偶然发现的, 而这一现象却成了突破麦克斯韦电磁理论的一个重要证据。爱因斯坦在研究光电效应时给出的光量子解释不仅推广了普朗克的量子理论, 证明波粒二象性不只是能量才具有, 光辐射本身也是量子化的, 而且为唯物辩证法的对立统一规律提供了自然科学证据, 具有不可估量的哲学意义。这一理论还为玻尔的原子结构理论和德布罗意物质波理论奠定了基础。密立根的定量实验研究不仅从实验角度为光量子理论进行了证明, 而且也为玻尔原子理论提供了证据。

任务一 光电效应的相关图像

活动 用图甲装置研究光电效应, 分别用 a 光、 b 光、 c 光照射阴极 K , 得到图乙中光电流 I 与 A 、 K 间的电压 U_{AK} 的关系曲线。

(1) 在开关 S 扳向 1 时, 测得的数据描绘的图线是图乙中纵轴左侧的图线还是右侧的图线?



提示: 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, 说明什么问题?

提示: 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 光对应的截止电压相等, 但饱和光电流却不相同, 说明什么问题?

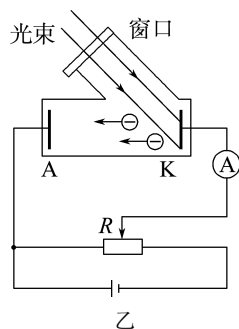
提示: a 光和 c 光的饱和光电流不相同, 说明光照强度不同, a 光的光照强度大于 c 光的光照强度。

任务二 光电效应与能级跃迁

活动 图甲为氢原子部分能级图, 大量的氢原子处于 $n=4$ 的激发态, 向低能级跃迁时, 会辐射出若干种不同频率的光。用辐射出的光照射图乙光电管的阴极 K 。已知阴极 K 的逸出功为 4.54 eV 。

n	E/eV
∞	0
5	-0.54
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4

1	-13.6
---	-------



(1)这些氢原子能辐射几种不同频率的光子?

提示:光子数 $N=C_4^2=6$ 种。

(2)阴极 K 逸出光电子的最大初动能是多少?

提示: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 $\Delta E=E_4-E_1=[-0.85-(-13.6)]$ eV=12.75 eV,由光电效应方程知 $E_{k\max}=h\nu-W_0=(12.75-4.54)$ eV=8.21 eV。

「知识链接」

1.光电效应的四类图像及应用

图像名称	图线形状	由图像可得到的信息
最大初动能 $E_{k\max}$ 与入射光频率 ν 的关系图像		①极限频率:横轴截距 ν_c ; ②逸出功:等于纵轴截距的绝对值,即 $W= -E =E$; ③普朗克常量:等于图线的斜率,即 $k=h$
颜色相同、强度不同的光,光电流与电压的关系图像		①截止电压:横轴截距 U_c ; ②饱和光电流:电流的最大值 I_m 或 I'_m ; ③最大初动能: $E_{k\max}=eU_c$
颜色不同时,光电流与电压的关系图像		①截止电压: U_{c1} 、 U_{c2} ; ②饱和光电流:电流的最大值; ③最大初动能: $E_{k1}=eU_{c1}$, $E_{k2}=eU_{c2}$
截止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系图像		①极限频率:横轴截距 ν_c ; ②截止电压 U_c :随入射光频率的增大而增大; ③普朗克常量 h :等于图线的斜率与电子电荷量的乘积,即 $h=ke$

2.解决该类问题的关键

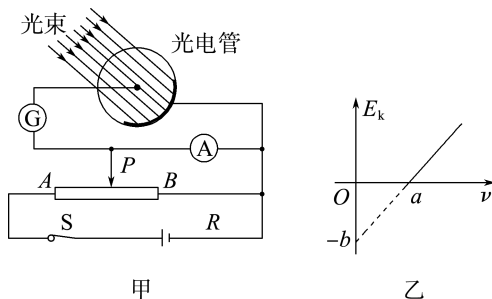
(1)知道能级间跃迁辐射或吸收光子的能量等于两能级间的能量差。

(2)掌握光电效应方程 $E_{k\max}=h\nu-W$ 。

(3)光子的能量是能级跃迁和光电效应的中间量。

「活动达标」

- 1.用如图甲所示的装置研究光电效应现象。闭合开关 S,用频率为 ν 的光照射光电管时发生了光电效应。图乙是该光电管发生光电效应时光电子的最大初动能 E_k 与入射光频率 ν 的关系图像,图线与横轴的交点坐标为 $(a, 0)$,与纵轴的交点坐标为 $(0, -b)$ 。下列说法正确的是 ()

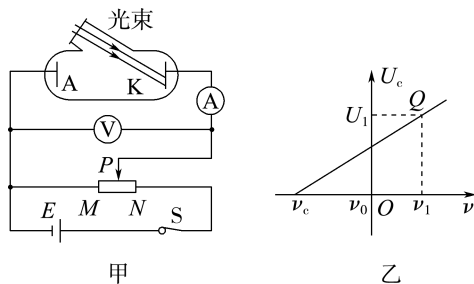


- A. 普朗克常量为 $h = \frac{a}{b}$
 B. 断开开关 S 后,电流表 G 的示数不为零
 C. 仅增加照射光的强度,光电子的最大初动能将增大
 D. 仅增加照射光的强度,电流表 G 的示数保持不变

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.物理学家密立根利用如图甲所示的电路研究金属钾的截止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系,其图像如图乙所示。已知电子的电荷量为 e 。下列说法正确的是 ()



- A. 若仅增大入射光的光强,则光电子的最大初动能增大
 B. 若增大入射光的频率,则光电子的最大初动能保持不变
 C. 由 $U_c-\nu$ 图像可知,金属钾的截止频率为 ν_0

D. 由 $U_c-\nu$ 图像可求出普朗克常量为 $\frac{eU_1}{\nu_1-\nu_c}$

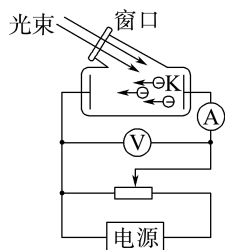
D 解析:根据爱因斯坦光电效应方程可知, $E_k = h\nu - W_0$, 光电子的最大初动能与入射光的强度无关,与入射光的频率有关,随着入射光频率的增大,光电子的最大初动能增大,故 A、B 错误;根据爱因斯坦光电效应方程可知, $E_k = h\nu - W_0 = eU_c$, 而 W_0

$= h\nu_c$, 解得 $U_c = \frac{h\nu}{e} - \frac{h\nu_c}{e}$, 图线的斜率 $\frac{h}{e} = \frac{U_1}{\nu_1 - \nu_c}$,

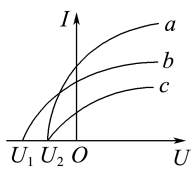
普朗克常量 $h = \frac{eU_1}{\nu_1 - \nu_c}$, 图像的横轴截距为金属钾

的截止频率,即 ν_c ,故 C 错误,D 正确。

3. 图甲为某实验小组探究光电效应规律的实验装置示意图,使用 a 、 b 、 c 三束单色光在同一光电管中实验,得到光电流与对应电压之间的关系图像如图乙所示。下列说法正确的是 ()



甲



乙

- A. a 光频率最大, c 光频率最小
 B. a 光与 c 光为同种色光,但 a 光强度大
 C. a 光波长小于 b 光波长
 D. a 光与 c 光照射同一金属,逸出光电子的初动能都相等

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. 氢原子能级示意图如图所示。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,则处在 $n=4$ 能级的一大群氢原子跃迁时所放出的光子中有几种光子能使该金属发生光电效应 ()

n	E/eV
∞	0
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4
1	-13.6

- A. 2 B. 3 C. 4 D. 8

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. (2025·广东卷)有甲、乙两种金属,甲的逸出功小于乙的逸出功。使用某频率的光分别照射这两种金属,只有甲发射光电子,其最大初动能为 E_k 。下列说法正确的是 ()

- A. 使用频率更小的光,可能使乙也发射光电子
 B. 使用频率更小的光,若仍能使甲发射光电子,则其最大初动能小于 E_k
 C. 频率不变,减弱光强,可能使乙也发射光电子
 D. 频率不变,减弱光强,若仍能使甲发射光电子,则其最大初动能小于 E_k

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.(多选)已知金属铯的逸出功为 1.88 eV,氢原子能级图如图所示。下列说法正确的是 ()

n	E/eV
∞	0
5	-0.54
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4

1 ————— -13.6

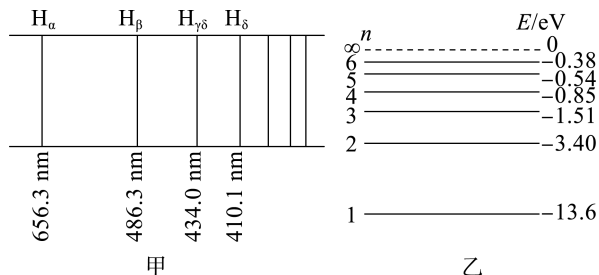
- A. 大量处于 $n=4$ 能级的氢原子跃迁到基态的过程中最多可释放出 6 种频率的光子
- B. 氢原子从 $n=2$ 能级跃迁到基态过程中辐射出光子的动量约为 $5.44 \times 10^{-27} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$
- C. 氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级过程中辐射出的光子不能使金属铯发生光电效应
- D. 大量处于 $n=2$ 能级的氢原子跃迁到基态过程中发出的光照射金属铯,产生的光电子的最大初动能为 8.32 eV

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 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 $E_{\text{km}} = h\nu - W_0$,则产生的光电子最大初动能为 $E_{\text{km}} = (10.2 - 1.88) \text{ eV} = 8.32 \text{ eV}$,D 正确。

7.如图甲所示为氢原子光谱的巴尔末系(其光谱线是氢原子从由 $n \geq 3$ 的能级向 $n=2$ 的能级跃迁时发

出的),四条可见光谱线的波长已在图甲中标出。

氢原子能级图如图乙所示, $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$,其中 $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ 。几种金属的逸出功如表所示。已知可见光的能量范围是 1.62 ~ 3.11 eV,则下列说法正确的是 ()



金属	钨	钙	钾	铷
W/eV	4.54	3.20	2.25	2.13

- A. 用 H_β 光照射时可让表中的两种金属发生光电效应
- B. H_α 谱线对应光子的能量大于 H_β 谱线对应光子的能量
- C. H_α 谱线对应的光子是氢原子从 $n=4$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁发出的
- D. 氢原子从 $n=2$ 能级向 $n=1$ 能级跃迁时发出的光属于红外线

A 解析:根据题图甲可知 H_α 谱线对应的光波长最长, H_δ 谱线对应的光波长最短,根据 $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ 可知, H_α 谱线对应光子的能量最小, H_δ 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_β 光照射时可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_α 谱线对应光子的能量小于 H_β 谱线对应光子的能量,故 B 错误; H_α 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 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。

章末质量评估(三)

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1.在 α 粒子穿过金箔发生大角度偏转的过程中,下列说法正确的是 ()

- A. α 粒子先受到金原子核的斥力作用,后受到金原子核的引力作用
 B. α 粒子一直受到金原子核的斥力作用
 C. α 粒子先受到金原子核的引力作用,后受到金原子核的斥力作用
 D. α 粒子一直受到斥力,速度一直减小

B 解析: α 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; α 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.已知氦离子(He^+)的能级图如图所示,根据能级跃迁理论可知 ()

n	He^+	E/eV
∞	-----	0
6	-----	-1.51
5	-----	-2.18
4	-----	-3.40
3	-----	-6.04
2	-----	-13.6
1	-----	-54.4

- A. 氦离子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级,需要吸收能量
 B. 大量处在 $n=5$ 能级的氦离子向低能级跃迁,能发出12种不同频率的光子
 C. 氦离子处于 $n=1$ 能级时,能吸收能量为60 eV的光子
 D. 氦离子从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级比从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出的光子的波长短

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 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.原子核中能放出 α 、 β 、 γ 射线,关于原子核的组成,下列说法正确的是 ()

- A. 原子核中有质子、中子,还有 α 粒子
 B. 原子核中有质子、中子,还有 β 粒子
 C. 原子核中有质子、中子,还有 γ 粒子
 D. 原子核中只有质子和中子

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 α 粒子的来源,不能据此认为 α 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 β 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 γ 光子的形式辐射出来,形成 γ 射线,故原子核里也没有 γ 粒子。故D正确。

4.设氢原子的核外电子从高能级 b 向低能级 a 跃迁时,电子动能的增量 $\Delta E_k = E_{ka} - E_{kb}$,电势能的增量 $\Delta E_p = E_{pa} - E_{pb}$,则下列表述正确的是 (D)

- A. $\Delta E_k > 0, \Delta E_p < 0, \Delta E_k + \Delta E_p = 0$
 B. $\Delta E_k < 0, \Delta E_p > 0, \Delta E_k + \Delta E_p = 0$
 C. $\Delta E_k > 0, \Delta E_p < 0, \Delta E_k + \Delta E_p > 0$
 D. $\Delta E_k > 0, \Delta E_p < 0, \Delta E_k + \Delta E_p < 0$

5.(2025·河南卷)由于宇宙射线的作用,在地球大气层产生了铍的两种放射性同位素 ${}^7_4\text{Be}$ 和 ${}^{10}_4\text{Be}$ 。测定不同高度大气中单位体积内二者的原子个数比,可以研究大气环境的变化。已知 ${}^7_4\text{Be}$ 和 ${}^{10}_4\text{Be}$ 的半衰期分别约为53天和139万年。在大气层某高度采集的样品中,研究人员发现 ${}^7_4\text{Be}$ 和 ${}^{10}_4\text{Be}$ 的总原子个数经过106天后变为原来的 $\frac{3}{4}$,则采集时该高度的大气中 ${}^7_4\text{Be}$ 和 ${}^{10}_4\text{Be}$ 的原子个数比约为 (B)

- A. 1:4
 B. 1:2
 C. 3:4
 D. 1:1

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 $\frac{x \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 + y}{x + y} = \frac{3}{4}$,解得 $\frac{x}{y} = \frac{1}{2}$,故选 B。

6.波粒二象性是微观世界的基本特征,以下说法正确的是 (B)

- A. 光电效应现象揭示了光的波动性
- B. 热中子束射到晶体上产生衍射图样说明中子具有波动性
- C. 黑体辐射的实验规律可用光的波动性解释
- D. 以上说法均错误

7.X 射线是一种高频电磁波,若 X 射线在真空中的波长为 λ ,以 h 表示普朗克常量, c 表示真空中的光速,以 E 和 p 分别表示 X 射线每个光子的能量和动量,则 ()

- A. $E = \frac{hc}{\lambda}, p = 0$
- B. $E = \frac{hc}{\lambda}, p = \frac{h}{\lambda}$
- C. $E = \frac{hc}{\lambda}, p = 0$
- D. $E = \frac{hc}{\lambda}, p = \frac{h}{\lambda}$

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。

二、多项选择题:本题共 3 小题,每小题 6 分,共 18 分。每小题有多项是符合题目要求的。全部选对的得 6 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分。

8.如图所示,匀强磁场中的 O 点有 $\times \times \times$ 一静止的原子核 ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 发生了某种衰变,衰变方程为 ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^A_Z\text{Y} + {}^0_{-1}\text{e}$,反应生成的粒子 ${}^0_{-1}\text{e}$ 的速度方向垂直于磁场方向。关于该衰变,下列说法正确的是 (BC)

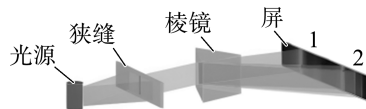
- A. ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 发生的是 α 衰变
- B. ${}^{234}_{90}\text{Th}$ 发生的是 β 衰变
- C. $A = 234, Z = 91$
- D. 新核 ${}^A_Z\text{Y}$ 和粒子 ${}^0_{-1}\text{e}$ 在磁场中运动的轨迹外切于 O 点

9.下列说法正确的是 ()

- A. 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
- B. ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$ 是核裂变方程,当铀块体积大于临界体积时,才能发生链式反应
- C. 从金属表面逸出的光电子的最大初动能与照射光的强度无关,与照射光的频率成正比
- D. 香烟燃烧会释放一种放射性元素钋(${}^{210}_{84}\text{Po}$),如果每天抽 1 包香烟,一周后累积的辐射量相当于 3 次胸透的辐射量, ${}^{210}_{84}\text{Po}$ 发生一次 α 衰变和一次 β 衰变后产生了新核,新核的中子数比质子数多 40 个

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 α 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 α 衰变和一次 β 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。

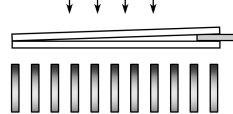
10.(2025·浙江卷)若氢原子从 $n = 4, 6$ 的能级向 $n = 2$ 的能级跃迁时分别发出光 P, Q ,则下列说法正确的是 ()



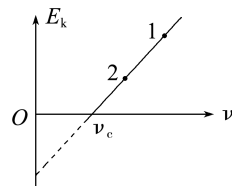
甲:光谱的形成



乙:弯曲的玻璃棒导光



丙:劈尖干涉及条纹



丁: $E_k - \nu$ 图像

- A. P, Q 经过甲图装置时在屏上的谱线分别为 2、1

- B. 若乙图玻璃棒能导出 P 光, 则一定也能导出 Q 光
- C. 若丙图是 P 入射时的干涉条纹, 则 Q 入射时条纹间距会减小
- D. 用 P 、 Q 照射某金属均发生光电效应, 丁图中的点 1、2 分别对应 P 、 Q

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。

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 12~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (10 分) 我国自行设计并研制的“人造太阳”——托卡马克实验装置运行获得重大进展, 这标志着我国已经迈入可控热核反应领域先进国家行列。该反应所进行的聚变过程是 ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, 反应原料氘(${}^2_1\text{H}$) 富存于海水中, 而氚(${}^3_1\text{H}$) 是放射性元素, 自然界中不存在, 但可以利用中子轰击锂核(${}^6_3\text{Li}$) 进行人工核转变得到的。

(1) 请把下列用中子轰击锂核(${}^6_3\text{Li}$) 产生一个氚核(${}^3_1\text{H}$) 和一个新核的人工核转变方程填写完整:

$$\underline{\hspace{2cm}} + {}^1_0\text{n} \rightarrow \underline{\hspace{2cm}} + {}^3_1\text{H}.$$

(2) 在(1)中, 每产生 1 g 氚的同时有 个 ${}^6_3\text{Li}$ 核实现了核转变(取阿伏伽德罗常量 $N_A = 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$)。

(3) 一个氚核和一个氚核发生核聚变时, 平均每个核子释放的能量为 5.6×10^{-13} J, 进行一次该核聚变过程中的质量亏损是 kg。

解析: (1) 核反应方程为 ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ 。

(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 2.0×10^{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) ${}^6_3\text{Li} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{H}$ (2) 2.0×10^{23}

(3) 3.1×10^{-29}

12. (10 分) α 粒子的质量约为电子质量的 7 300 倍, 如果 α 粒子以速度 v 与电子发生弹性正碰(假定电子原来是静止的)。求碰撞后 α 粒子的速度变化了多少, 并由此说明为什么原子中的电子不能使 α 粒子发生明显偏转。

解析: 设电子的质量为 m_e , α 粒子的质量为 m_α , 碰撞后 α 粒子的速度为 v_α , 电子的速度为 v_e 。

由于 α 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 α 粒子发生明显偏转。

答案: 见解析

13. (10 分) 已知氢原子的基态电子轨道半径为 $r_1 = 0.528 \times 10^{-10}$ m, 量子数为 n 的能级值为 $E_n = -\frac{13.6}{n^2}$ eV。(静电力常量 $k = 9 \times 10^9$ N·m²/C²,

电子的电荷量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

(1) 求电子在基态轨道上运动时的动能。

(2) 有一群氢原子处于量子数 $n=3$ 的激发态, 画一张能级图, 在图上用箭头标明这些氢原子能发出哪几种光谱线。

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: $\frac{ke^2}{r_1^2} = \frac{mv_1^2}{r_1}$

$$\text{又知 } E_k = \frac{1}{2} mv^2$$

故电子在基态轨道上运动时的动能为:

$$E_k = \frac{ke^2}{2r_1} = \frac{9 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{2 \times 0.528 \times 10^{-10}} \text{ J} = 13.6 \text{ eV}.$$

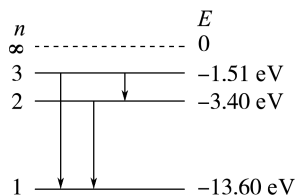
(2) 当 $n=1$ 时, 能级值为

$$E_1 = \frac{-13.6}{1^2} \text{ eV} = -13.6 \text{ eV}$$

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。

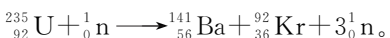


答案: (1) 13.6 eV (2) 见解析

14. (12分) 用一个中子轰击 ${}_{92}^{235}\text{U}$, 可发生裂变反应生成 ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ 和 ${}_{36}^{92}\text{Kr}$, 已知 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 的质量为 235.043 9 u, ${}_{56}^{141}\text{Ba}$ 的质量为 140.913 9 u, ${}_{36}^{92}\text{Kr}$ 的质量为 91.897 3 u, 中子的质量为 1.008 7 u. (1 u 相当于 931 MeV 的能量)

- (1) 请写出裂变过程的核反应方程。
- (2) 求一个 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 在裂变反应中释放的核能。
- (3) 1 g ${}_{92}^{235}\text{U}$ 全部反应释放的能量为多少?

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

$$\Delta m = (235.043 9 + 1.008 7 - 140.913 9 - 91.897 3 - 3 \times 1.008 7) \text{ u} = 0.215 3 \text{ u}$$

释放的核能为

$$\Delta E = \Delta m \times 931 \text{ MeV} = 0.215 3 \times 931 \text{ MeV} \approx 200 \text{ MeV}$$

(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

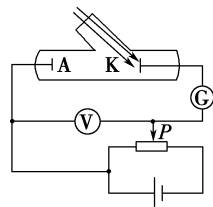
$$E = N\Delta E = nN_A\Delta E = \frac{1}{235} \times 6.02 \times 10^{23} \times 200 \text{ MeV} \approx 5.1 \times 10^{23} \text{ MeV}$$

答案: (1) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n} \longrightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + {}_{36}^{92}\text{Kr} + 3{}_0^1\text{n}$

(2) 200 MeV (3) $5.1 \times 10^{23} \text{ MeV}$

15. (12分) 如图所示, 阴极 K 用极限波长是 $\lambda_c = 0.66 \mu\text{m}$ 的金属铯制成, 用波长 $\lambda = 0.50 \mu\text{m}$ 的绿光照射阴极 K, 调整两个极板电压。当 A 极电压比阴极高出 2.5 V 时, 光电流达到饱和, 电流表 G 的示数为 $0.64 \mu\text{A}$ 。

- (1) 求阴极每秒发射的光电子数和光电子飞出阴极 K 时的最大初动能。
- (2) 若把入射到阴极的绿光的光强增大到原来的 2 倍, 求阴极每秒发射的光电子数和光电子到达 A 极的最大动能。
- (3) 求截止电压 U_c 。



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, 则阴极每秒钟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) 4.0×10^{12} 个 $9.6 \times 10^{-20} \text{ J}$

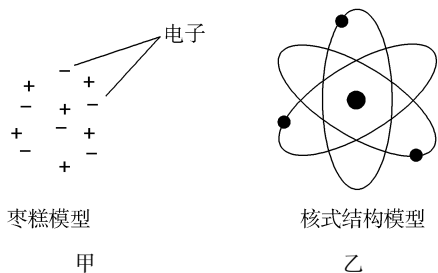
(2) 8.0×10^{12} 个 $4.96 \times 10^{-19} \text{ J}$ (3) 0.6 V

综合质量评估

(时间:75分钟 分值:100分)

一、单项选择题:本题共7小题,每小题4分,共28分。每小题只有一项是符合题目要求的。

1.人们在研究原子结构时提出过许多模型,其中比较有名的是枣糕模型和核式结构模型,它们的模型示意图分别如图甲、乙所示。下列说法正确的是 ()



- A. α 粒子散射实验与枣糕模型和核式结构模型的建立无关
- B. 科学家通过 α 粒子散射实验否定了枣糕模型,建立了核式结构模型
- C. 科学家通过 α 粒子散射实验否定了核式结构模型,建立了枣糕模型
- D. 科学家通过 α 粒子散射实验否定了枣糕模型和核式结构模型,建立了玻尔的原子模型

B 解析: α 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.下列对光电效应的解释正确的是 ()

- A. 金属内的每个电子要吸收一个或一个以上的光子,当它积累的能量足够大时,就能逸出金属表面
- B. 如果入射光子的能量小于金属表层的电子克服原子核的引力而逸出时所需做的最小功,便不能发生光电效应
- C. 发生光电效应时,入射光越强,光子的能量就越大,光电子的最大初动能就越大
- D. 若频率为 ν 的色光可使金属铯产生光电效应,则该色光一定也可以使其他金属产生光电效应

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.下列对分子动理论和物质结构的认识正确的是 ()

- A. 分子间距离减小时分子势能一定减小
- B. 温度越高,物体中分子的无规则运动越剧烈
- C. 物体热运动速率大的分子数占总分子数的比例与温度无关
- D. 非晶体的物理性质表现为各向同性,而晶体的物理性质都表现为各向异性

B 解析: 若 $r < r_0$, 分子间距离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。

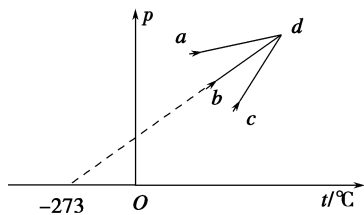
4.(2025·上海卷)一群氢原子处于量子数 $n=4$ 的激发态,这些氢原子能够自发地跃迁到 $n=2$ 的较低能量状态, R_H 为里伯德常量, c 是真空中光速,则在此过程中 ()

- A. 吸收光子, $\nu = R_H c \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right)$
- B. 放出光子, $\nu = R_H c \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right)$
- C. 吸收光子, $\nu = R_H c \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$
- D. 放出光子, $\nu = R_H c \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$

D 解析: 氢原子从高能级向低能级跃迁时会放出

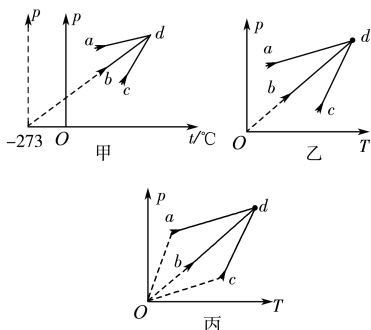
光子,光子的能量等于两个能级的能量差。氢原子能级公式为 $E_n = -\frac{13.6 \text{ eV}}{n^2}$,光子的能量 $E = h\nu$,根据巴尔末-里德伯公式 $\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$,又因为 $\nu = \frac{c}{\lambda}$,可得 $\nu = cR_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$,其中 n 是跃迁前的能级, m 是跃迁后的能级。氢原子从 $n=4$ 跃迁到 $n=2, n=4, m=2$,根据 $\nu = cR_H \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ 可得 $\nu = R_{HC} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$,且是从高能级向低能级跃迁,放出光子,D 正确。

5. 如图所示是一定质量的理想气体的三种升温过程,则下列四种解释正确的是 ()



- A. $a \rightarrow d$ 的过程气体体积增大
 B. $b \rightarrow d$ 的过程气体体积增大
 C. $c \rightarrow d$ 的过程气体体积增大
 D. $a \rightarrow d$ 的过程气体体积减小

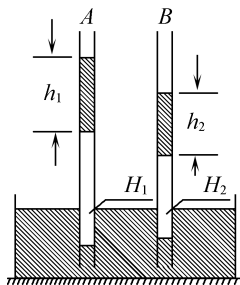
A 解析: 由 $\frac{pV}{T} = C$ 得 $p = \frac{C}{V}T$,可见等容过程的 $p-T$ 图线的反向延长线过坐标原点,由于 $T/K = t/^\circ\text{C} + 273$,与 $p-t$ 图像对应的 $p-T$ 图像如图乙所示。



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. 如图所示,两根粗细相同、两端开口的直玻璃管 A 和 B,竖直插入同一水银槽中,各用一段水银柱封闭着一定质量且温度相同的空气,空气柱长度 $H_1 > H_2$,水银柱长度 $h_1 > h_2$ 。现使封闭气柱降低相同的温度(大气压保持不变),则两管中气柱上方水银柱的移动情况是 ()

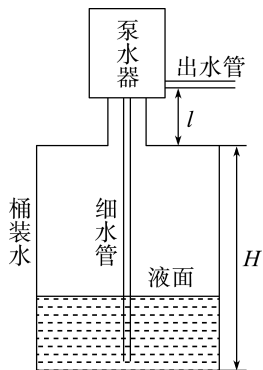


- A. 均向下移动,A 管中的移动的距离较大
 B. 均向上移动,A 管中的移动距离较大
 C. A 管中的向上移动,B 管中的向下移动
 D. 无法判断

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 ΔT 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. (2025 · 江西卷) 如图所示,一泵水器通过细水管与桶装水相连。按压一次泵水器可将压强等于大气

压强 p_0 、体积为 V_0 的空气压入水桶中。在设计泵水器时应计算出 V_0 的临界值 V_{0c} ，当 $V_0 = V_{0c}$ 时，在液面最低的情况下仅按压一次泵水器恰能出水。设桶身的高度和横截面积分别为 H 、 S ，颈部高度为 l ，按压前桶中气体压强为 p_0 。不考虑温度变化和漏气，忽略桶壁厚度及桶颈部、细水管和出水管的体积。已知水的密度为 ρ ，重力加速度为 g 。该临界值 V_{0c} 等于 ()



- A. $\frac{\rho g S}{p_0} H^2$ B. $\frac{\rho g S}{p_0} H(H+l)$
 C. $\frac{p_0 - \rho g(H+l)}{p_0} SH$ D. $\frac{p_0 + \rho g(H+l)}{p_0} SH$

B 解析：根据题意，设往桶内压入压强为 p_0 、体积为 V_{0c} 的空气后，桶内气体压强增大到 p ，根据玻意耳定律有 $p_0 SH + p_0 V_{0c} = p SH$ ，按压一次泵水器恰能出水满足 $p = p_0 + \rho g(H+l)$ ，联立解得 $V_{0c} = \frac{\rho g S}{p_0} H(H+l)$ ，故选 B。

二、多项选择题：本题共 3 小题，每小题 6 分，共 18 分。每小题有多项是符合题目要求的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

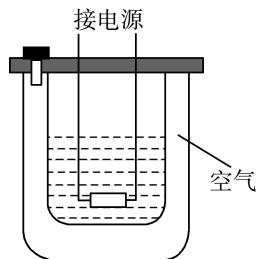
8. 下列说法正确的有 ()

- A. 低频光子的粒子性更显著，高频光子的波动性更显著
 B. 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
 C. 动量相同的质子和电子，它们的德布罗意波长相等
 D. 光的波动性是由光子间的相互作用形成的

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. 如图所示为某实验器材的结构示意图，金属内筒和隔热外筒间封闭了一定体积的空气，内筒中有水，在水加热升温的过程中，被封闭的空气 (AB)



- A. 内能增加
 B. 压强增大
 C. 分子间引力和斥力都减小
 D. 所有分子的运动速率都增大

10. (2025·黑吉辽蒙卷) 某理论研究认为， $^{100}_{42}\text{Mo}$ 原子核可能发生双 β 衰变，衰变方程为 $^{100}_{42}\text{Mo} \rightarrow ^A_{44}\text{Ru} + y \cdot ^0_{-1}\text{e}$ 。处于第二激发态的 $^A_{44}\text{Ru}$ 原子核先后辐射能量分别为 0.590 8 MeV 和 0.539 5 MeV 的 γ_1 、 γ_2 两光子后回到基态。下列说法正确的是 ()

- A. $A=100$
 B. $y=2$
 C. γ_1 的频率比 γ_2 的大
 D. γ_1 的波长比 γ_2 的大

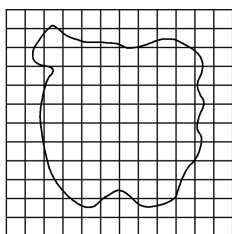
ABC 解析：由核反应方程质量数守恒和电荷数守恒可得 $100 = A + 0$ ， $42 = 44 - y$ ，解得 $A = 100$ ， $y = 2$ ，A、B 正确；由题可得 γ_1 光子的能量大于 γ_2 光子的能量，光子的能量公式 $\varepsilon = h\nu$ ，波长 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ ，

可得 γ_1 的频率大于 γ_2 的频率, γ_1 的波长小于 γ_2 的波长, C 正确, D 错误。

三、非选择题: 本题共 5 小题, 共 54 分。其中第 12~15 小题解答时请写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤; 有数值计算时, 答案中必须明确写出数值和单位。

11. (10 分) 测量分子大小的方法有很多, 如油膜法。

(1) 在“用油膜法估测油酸分子大小”的实验中, 用移液管量取 0.25 mL 油酸, 倒入酒精使溶液总体积达到 250 mL, 然后用滴管吸取这种溶液向小量筒中滴入 100 滴溶液, 溶液的液面恰好达到量筒中 1 mL 的刻度, 再用滴管取配好的油酸酒精溶液, 向撒有痱子粉的盛水浅盘中滴入 2 滴溶液, 在液面上形成油酸薄膜, 待薄膜稳定后, 放上带有正方形坐标格的玻璃板, 勾画出油膜轮廓, 如图所示。坐标格的正方形大小为 $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ 。由图可以估算出油膜的面积是 _____ cm^2 , 由此估算出油酸分子的直径是 _____ m。(结果均保留两位有效数字)



(2) 查找资料, 得知油酸分子的直径约为 $4.6 \times 10^{-10}\text{ m}$, 则造成实验结果偏差的原因可能是 _____。

- A. 痱子粉撒得过多
- B. 勾画油膜轮廓时面积圈大了
- C. 计算每滴油酸酒精溶液的体积时, 1 mL 溶液的滴数多记了几滴
- D. 在滴入量筒之前, 配制的溶液在空气中搁置了较长时间

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

$$V = 2 \times \frac{1}{100} \times \frac{0.25}{250}\text{ mL} = 2 \times 10^{-5}\text{ mL} = 2 \times 10^{-5}\text{ cm}^3$$

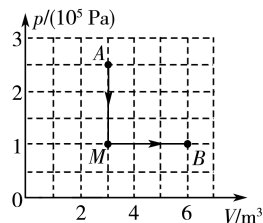
$$\text{油酸分子的直径为 } d = \frac{V}{S} \approx 7.7 \times 10^{-10}\text{ m}.$$

(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) 2.6×10^2 7.7×10^{-10} (2) A

12. (10 分) 如图所示, 一定质量的理想气体处在 A 状态时, 温度为 $t_A = 27\text{ }^\circ\text{C}$, 气体从状态 A 等容变化到状态 M, 再等压变化到状态 B, A、M、B 的状态参量如图所示。求:

- (1) 状态 B 的温度;
- (2) 从状态 A 到状态 B 气体对外做的功。



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

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\text{解得 } T_2 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 V_1} = 240\text{ K}$$

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. (10分) 在一个铀核 ${}_{92}^{235}\text{U}$ 裂变成钡和氙的裂变反应中, 质量亏损 $\Delta m = 0.2153 \text{ u}$, 那么一个铀核裂变释放的能量为多少? 反应中平均每个核子释放的能量为多少? (1 u 相当于 931.5 MeV 的能量)

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. (10分) 一定质量的理想气体由状态 A 经状态 B 变化到状态 C, 其中 $A \rightarrow B$ 的过程为等压变化, $B \rightarrow C$ 的过程为等容变化。已知 $V_A = 0.3 \text{ m}^3$, $T_A = T_C = 300 \text{ K}$, $T_B = 400 \text{ K}$ 。

- (1) 求气体在状态 B 时的体积;
- (2) 说明 $B \rightarrow C$ 过程中引起压强变化的微观原因;
- (3) 设 $A \rightarrow B$ 过程气体吸收的热量为 Q_1 , $B \rightarrow C$ 过程气体放出的热量为 Q_2 , 比较 Q_1 、 Q_2 的大小并说明原因。

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。

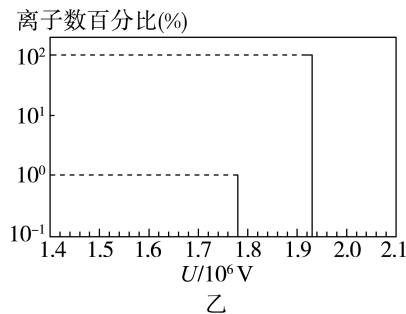
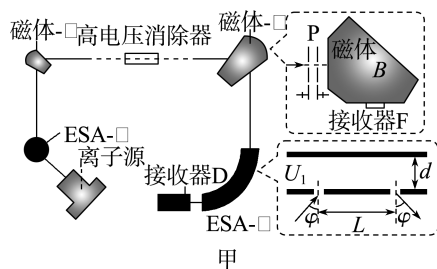
(3) Q_1 大于 Q_2 。因为 $T_A = T_C$, 所以 $A \rightarrow B$ 增加的内能与 $B \rightarrow C$ 减少的内能相同, 而 $A \rightarrow B$ 过程气体对外做功, $B \rightarrow C$ 过程气体不做功, 由热力学

第一定律可知 Q_1 大于 Q_2 。

答案: (1) 0.4 m^3 (2) 见解析

(3) Q_1 大于 Q_2 , 原因见解析

15. (14分) (2025·浙江卷) 同位素 ${}^{14}_6\text{C}$ 相对含量的测量在考古学中有重要应用, 其测量系统如图甲所示。将少量古木样品碳化、电离后, 产生的离子经过静电分析仪 ESA-I、磁体-I 和高电压消除器处理, 让只含有 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$ 三种碳的同位素的 C^{3+} 离子束(初速度可忽略不计) 进入磁体-II。磁体-II 由电势差为 U 的加速电极 P, 磁感应强度为 B 、半径为 R 的 $\frac{1}{4}$ 圆弧细管道和离子接收器 F 构成。通过调节 U , 可分离 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 、 ${}^{14}_6\text{C}$ 三种同位素, 其中含 ${}^{12}_6\text{C}$ 、 ${}^{13}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 被接收器 F 接收并计数, 它们的离子数百分比与 U 之间的关系曲线如图乙所示, 而只含 ${}^{14}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 可通过接收器 F, 进入静电分析仪 ESA-II, 被接收器 D 接收并计算。



- (1) 写出中子与 ${}^{14}_7\text{N}$ 发生核反应生成 ${}^{14}_6\text{C}$, 以及 ${}^{14}_6\text{C}$ 发生 β 衰变生成 ${}^{14}_7\text{N}$ 的核反应方程式。

- (2) 已知 $R = 0.2 \text{ m}$, 原子质量单位 $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 元电荷 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。根据图乙写出只含 ${}^{12}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 所对应的 U 值, 并求磁感应强度 B 的大小。(结果保留两位有效数字)

- (3) 如图甲所示, ESA-II 可简化为间距 $d = 5 \text{ cm}$ 两平行极板, 在下极板开有间距 $L = 10 \text{ cm}$ 的两小

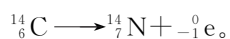
孔,仅允许入射角 $\varphi=45^\circ$ 的只含 $^{14}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 通过。求两极板之间的电势差 U 。(结果保留三位有效数字)

(4)对一古木样品,测得含 $^{14}_6\text{C}$ 与 $^{12}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 的数目比值为 4×10^{-13} ;采用同样办法,测得一活木头中含 $^{14}_6\text{C}$ 与 $^{12}_6\text{C}$ 的 C^{3+} 的数目的比值为 1.2×10^{-12} ,由于它与外部环境不断进行碳交换,该比例长期保持稳定。已知 $^{14}_6\text{C}$ 的半衰期约为5700年, $\ln 3=1.1$, $\ln 2=0.7$,试计算古木被砍伐距今的时间。

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 β 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 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

$$B = \sqrt{\frac{2mU}{qR^2}} = \sqrt{\frac{2\times 12\text{u}\times U}{3eR^2}} \approx 2.0\text{T}.$$

(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

$$U_1 = \frac{qB^2R^2d}{mL} = \frac{3eB^2R^2d}{14\text{u}L} \approx 1.65\times 10^6\text{V}.$$

(4)古木中含 $^{14}_6\text{C}$ 与 $^{12}_6\text{C}$ 的 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

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{1}{3}$$

$$\text{解得 } n = \log_2 3 = \frac{\ln 3}{\ln 2} = \frac{11}{7}$$

则砍伐时间

$$t = n \times 5700 \approx 8957(\text{年}).$$

答案:(1) $^1_0\text{n} + ^{14}_7\text{N} \longrightarrow ^{14}_6\text{C} + ^1_1\text{H}$ $^{14}_6\text{C} \longrightarrow ^{14}_7\text{N} + ^0_{-1}\text{e}$

(2) $1.93\times 10^6\text{V}$ 2.0T (3) $1.65\times 10^6\text{V}$

(4)8957年