

第十五章 热学

第1讲 分子动理论与统计观点

课标要求

了解分子动理论的基本观点及相关的实验证据；通过实验，了解扩散现象；观察并能解释布朗运动；了解分子运动速率分布的统计规律，知道分子运动速率分布图像的物理意义；能用分子动理论和统计观点解释气体压强。

必备知识·强基固本

一、分子动理论

1. 物体是由大量分子组成的

(1) 分子的大小

a. 分子（视为球体模型）的直径：数量级为_____m。

b. 分子的质量：数量级为 10^{-26} kg。

c. 测量分子直径的方法：油膜法。

(2) 阿伏加德罗常数 1mol 的任何物质都含有相同的粒子数。通常可取

$N_A = \underline{\hspace{2cm}} \text{mol}^{-1}$ 。

【答案】(1) 10^{-10}

(2) 6.02×10^{23}

2. 分子热运动：一切物质的分子都在永不停息地做无规则运动。

(1) 扩散现象：相互接触的不同物质彼此进入对方的现象。温度___，扩散越快，可在固体、液体、气体中进行。扩散现象是由物质分子的_____产生的，并不是外界作用引起的，也不是化学反应的结果。

(2) 布朗运动：悬浮在液体（或气体）中的微粒的无规则运动，微粒___，温度___，布朗运动越显著。布朗运动是由悬浮微粒受到周围做无规则运动的液体（或气体）分子撞击作用的不平衡性引起的。

【答案】(1) 越高；无规则运动

(2) 越小；越高

3. 分子间的作用力

(1) 分子间同时存在引力和斥力，实际表现出来的分子间作用力是引力和斥力的___。

(2) 分子间的引力和斥力都随分子间距离的增大而___，随分子间距离的减小而增大，但总是斥力变化得较快。

(3) 当 $r = r_0$ 时, 分子间作用力为 0; 当 $r > r_0$ 时, 分子间作用力表现为__;
当 $r < r_0$ 时, 分子间作用力表现为__。当分子间距离大于 $10r_0$ 时, 分子间作用力很弱, 可以忽略不计。

【答案】(1) 合力

(2) 减小

(3) 引力; 斥力

二、分子运动速率分布规律

1. 气体分子运动的速率分布规律 气体分子间的距离大约是分子直径的 10 倍, 分子间作用力十分微弱, 可忽略不计; 分子沿各个方向运动的机会均等; 分子速率按“中间多、_____”的统计规律分布, 且这个分布状态与温度有关, 温度升高时, 平均速率会增大。

【答案】两头少

2. 气体压强的微观解释

(1) 产生原因: 由于气体分子无规则的热运动, 大量的分子频繁地碰撞器壁产生持续而稳定的压力。

(2) 决定因素

a.宏观上: 决定于气体的__和体积。

b.微观上: 决定于分子的_____和分子的密集程度。

【答案】温度; 平均动能

三、内能

1. 分子的动能

(1) 分子动能是_____所具有的动能。

(2) 分子热运动的平均动能是所有分子热运动的动能的平均值, __是分子热运动的平均动能的标志。

(3) 分子热运动的总动能是物体内部所有分子热运动动能的__。

【答案】(1) 分子热运动

(2) 温度

(3) 总和

2. 分子的势能

(1) 由于分子间存在着引力和斥力，所以分子具有由它们的_____决定的能，即分子势能。

(2) 分子势能的影响因素

a.微观上：分子势能的大小是由分子间的相对位置决定的。

b.宏观上：分子势能与物体的体积有关。

【答案】相对位置

3. 物体的内能

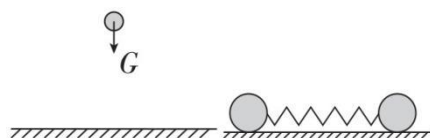
(1) 物体的内能等于物体中所有分子的热运动的___与分子___的总和。

(2) 对于给定的物体，其内能大小与温度和体积有关。

(3) 物体的内能与物体的位置高低、运动速度大小无关。

【答案】动能； 势能

教材挖掘。（人教版选择性必修第三册第一章第4节）地面附近的物体所受的重力是 G ，由于重力做功具有跟路径无关的特点，所以存在重力势能。重力势能由地球和物体的相对位置决定。分子间作用力做功和分子势能是否也具有这一特点呢？回顾重力做功与重力势能变化的关系、弹簧弹力做功与弹性势能变化的关系。分子间作用力做功与分子势能变化又有怎样的关系呢？

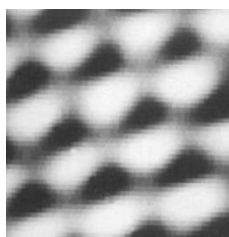


提示：分子间作用力做功与运动路径无关，分子势能由分子间的相对位置决定。分子间作用力做正功，分子势能减少；分子间作用力做负功，分子势能增加。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

分子动理论告诉我们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，分子间存在引力和斥力，组成物质的分子很小，光学显微镜也看不到它们。我国科学家用扫描隧道显微镜拍摄了石墨表面原子排布，如图所示是碳原子的排布情况。



- (1) 石墨原子间无空隙，原子紧密排列。()
- (2) 每一个石墨原子都在做无规则热运动。()
- (3) 石墨原子间的斥力随原子间距离的减小而增大，但引力却随原子间距离的减小而减小。()
- (4) 分子间同时存在引力与斥力，分子间作用力是二者合力的表现。()
- (5) 温度、分子动能、分子势能或内能只对大量分子才有意义。()
- (6) 质量相等的物体含有的分子个数不一定相等。()
- (7) 内能相同的物体，温度不一定相同。()

【答案】(1) ×

(2) ✓

(3) ×

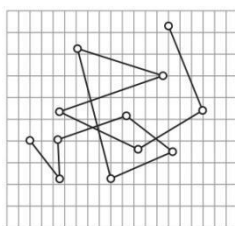
(4) ✓

(5) ✓

(6) ✓

(7) ✓

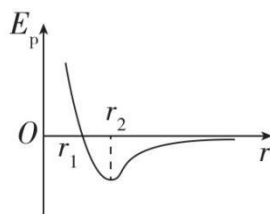
2. (人教版选择性必修第三册改编) 一组同学在显微镜下观察水中悬浮的细微粉笔末的运动，并把小颗粒每隔一定时间的位置记录在坐标纸上，如图所示，以下说法中正确的是()



- A. 甲同学认为布朗运动就是液体分子的无规则运动
- B. 乙同学认为布朗运动就是固体分子的无规则运动
- C. 丙同学认为小颗粒的运动是由水分子无规则运动引起的
- D. 丁同学认为小颗粒沿笔直的折线运动，说明水分子运动是规则的

【答案】C

3. 如图为两分子系统的势能 E_p 与两分子间距离 r 的关系曲线。下列说法正确的是 ()



- A. 当 r 等于 r_1 时，分子间作用力为零
- B. 当 r 等于 r_2 时，分子间作用力为零
- C. 当 r 大于 r_1 时，分子间的作用力表现为引力
- D. 当 r 由 r_2 逐渐增大时，分子间的作用力逐渐减小

【答案】B

关键能力·核心突破
考点一 微观量的估算

1. 微观量的计算若以 μ 表示水的摩尔质量， V 表示在标准状态下水蒸气的摩尔体积， ρ 表示在标准状态下水蒸气的密度， N_A 为阿伏加德罗常数， m 、 V_0 分别表示每个水分子的质量和体积，下面四个关系式正确的是 ()

- A. $\rho = \frac{\mu}{N_A V_0}$ B. $N_A = \frac{\rho V}{m}$ C. $m = \frac{\mu}{N_A \rho}$ D. $V_0 = \frac{V}{N_A}$

【答案】B

【解析】对于水蒸气，由于分子间距的存在， $N_A V_0$ 并不等于摩尔体积，故 $\rho \neq \frac{\mu}{N_A V_0}$ ， $\frac{V}{N_A}$ 表示的是每个水分子所占的空间，不等于每个水分子的体积，故 A、D 错误； ρV 表示摩尔质量， $\frac{\rho V}{m}$ 表示阿伏加德罗常数，故 B 正确；单个水分子的质量等于摩尔质量除以阿伏加德罗常数，故 C 错误。

2. [2024·山西忻州模拟]微观量与宏观量的关系多选 某研究小组制备出了一种新型固体材料，设该固体材料的密度为 ρ （单位为 kg/m^3 ），摩尔质量为 M （单位为 kg/mol ），阿伏加德罗常数为 N_A ，关于该材料，下列说法正确的是 ()

- A. a 千克所含的分子数为 aN_A
- B. 每个分子的体积为 $\frac{M}{N_A \rho}$
- C. 摩尔体积为 $\frac{M}{\rho}$
- D. 每个分子的直径为 $\sqrt[3]{\frac{N_A \rho}{M}}$

【答案】BC

【解析】 a 千克该材料的物质的量 $n = \frac{a}{M}$ ，所含的分子数 $N = nN_A = \frac{a}{M}N_A$ ，故 A 错误；摩尔体积 $V_{\text{mol}} = \frac{M}{\rho}$ ，1 mol 中含有 N_A 个分子，故每个分子的体积 $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$ ，故 B、C 正确；设每个分子的直径为 d ，则 $V_0 = \frac{4}{3}\pi(\frac{d}{2})^3$ ，所以 $d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi N_A \rho}}$ ，故 D 错误。

3. [2024·辽宁沈阳模拟] 分子模型建立标准状况下，水蒸气的摩尔体积 $V_{\text{mol}} = 22.4 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{mol}$ ， $N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ ，水的摩尔质量 $M = 18 \text{g/mol}$ ，水的密度 $\rho = 1 \times 10^3 \text{kg/m}^3$ 。根据有关信息，请进行估算：把水分子看成紧密排列的球体，水分子的直径 d 约为多少？要求：

- (1) 推导写出 d 的表达式；
- (2) 计算结果保留一位有效数字（单位是 m）。

【答案】(1) $\sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}$

(2) $4 \times 10^{-10} \text{m}$ ；代入数据解得 $d = 4 \times 10^{-10} \text{m}$

【解析】

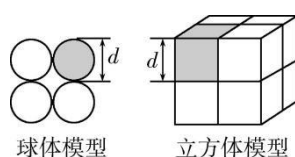
(1) 水分子的体积 $V_0 = \frac{M}{\rho N_A}$ 又 $V_0 = \frac{1}{6}\pi d^3$ 解得 $d = \sqrt[3]{\frac{6M}{\pi \rho N_A}}$

核心提炼

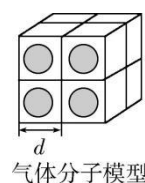
1. 两种分子模型

物质有固态、液态和气态三种情况，不同物态下应将分子看成不同的模型。

(1) 固体、液体分子一个一个紧密排列，可将分子看成球体或立方体，如图甲所示，分子间距等于小球的直径或立方体的棱长，所以 $d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}$ （球体模型）或 $d = \sqrt[3]{V}$ （立方体模型）。



甲



乙

(2) 气体分子不是一个一个紧密排列的，它们之间的距离很大，所以气体分子的体积不等于分子平均占有的空间，如图乙所示，此时每个分子平均占有的空间视为棱长为 d 的立方体，所以 $d = \sqrt[3]{V}$ 。

2. 宏观量与微观量的相互关系

(1) 微观量：分子体积 V_0 、分子直径 d 、分子质量 m_0 。

(2) 宏观量：物体的体积 V 、摩尔体积 V_m 、物体的质量 m 、摩尔质量 M 、物体的密度 ρ 。

(3) 相互关系

①一个分子的质量： $m_0 = \frac{M}{N_A} = \frac{\rho V_m}{N_A}$ ；

②一个分子的体积： $V_0 = \frac{V_m}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$ （注：对气体， V_0 为一个分子所占空间的平均体积）；

③物体所含的分子数： $n = \frac{V}{V_m} \cdot N_A = \frac{m}{\rho V_m} \cdot N_A = \frac{m}{M} \cdot N_A = \frac{\rho V}{M} \cdot N_A$ ；

④单位质量物体中所含的分子数： $n' = \frac{N_A}{M}$ 。

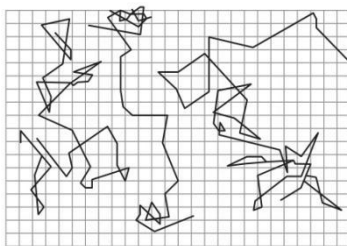
考点二 扩散现象、布朗运动与分子热运动

1. 分子的热运动 以下关于分子的热运动的说法正确的是（ ）

- A. 分子的热运动就是布朗运动
- B. 将碳素墨水滴入清水中，观察到的布朗运动是水分子无规则运动的反映
- C. 温度越高，悬浮微粒越大，布朗运动越激烈
- D. 物体的速度越大，内部分子的热运动越激烈

【答案】B

2. 布朗运动的认识 把墨汁用水稀释后取出一滴放在高倍显微镜下观察，可以看到悬浮在液体中的小炭粒在不同时刻的位置，每隔一定时间把炭粒的位置记录下来，最后按时间先后顺序把这些点进行连线，得到如图所示的图像，对于这一现象，下列说法正确的是（ ）



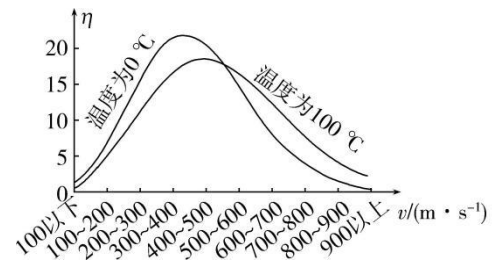
- A. 炭粒的无规则运动，说明碳分子运动也是无规则的

- B. 越小的炭粒，受到撞击的分子越少，作用力越小，炭粒的不平衡性表现得越不明显
- C. 观察炭粒运动时，可能有水分子扩散到载物片中
- D. 将水的温度降至零摄氏度，炭粒会停止运动

【答案】C

【解析】图中的折线是每隔一定的时间炭粒的位置的连线，炭粒的无规则运动是由于水分子撞击，说明水分子的运动是无规则的，不能说明碳分子运动也是无规则的，A 错误；炭粒越小，在某一瞬间跟它相撞的水分子数越少，撞击作用的不平衡性表现得越明显，B 错误；扩散可发生在液体和固体之间，故观察炭粒运动时，可能有水分子扩散到载物片中，C 正确；将水的温度降低至零摄氏度，炭粒的运动会变慢，但不会停止，D 错误。

3. 分子速率分布规律一定质量的气体在 0℃和 100℃下的分子速率分布规律如图所示。横坐标*v*表示分子速率，纵坐标*η* 表示某速率区间内分子数占总分子数的百分比，以下对图线的解读中正确的是（ ）



- A. 100℃时气体分子的最高速率约为 400m/s
- B. 某个分子在 0℃时的速率一定小于在 100℃时的速率
- C. 温度升高时，*η* 最大处对应的速率增大
- D. 温度升高时，每个速率区间内分子数的占比都增大

【答案】C

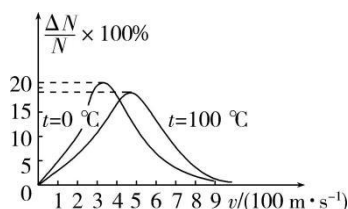
核心提炼

1.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	热运动
活动主体	分子	固体小颗粒	分子

区别	是分子的运动，发生在固体、液体、气体任何两种物质之间	是比分子大得多的颗粒的运动，只能在液体、气体中发生	是分子的运动，不能通过光学显微镜直接观察到
共同点	(1) 都是无规则运动； (2) 都随温度的升高而更加剧烈		
联系	扩散现象、布朗运动都反映了分子的热运动		

2. 气体分子运动速率的“三个特点”



(1) “中间多、两头少”：同一温度下，特大或特小速率的分子数比例都较小，大多数分子具有中等的速率。

(2) “图像向右偏移”：随温度升高，占总数比例最大的那些分子的速率增大。

(3) “面积不变”：图线与横轴所围面积都等于 1，不随温度改变。

考点三 分子间作用力、分子势能和物体的内能

1. 分子间作用力曲线和分子势能曲线的比较

项目	分子间作用力曲线	分子势能曲线
图像		
随分子间距的变化情况	$r < r_0$ $F_{引}$ 和 $F_{斥}$ 都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大， $F_{引} < F_{斥}$ ， F 表现为斥力	r 增大，分子间作用力做正功，分子势能减少； r 减小，分子间作用力做负功，分子势能增加
	$r > r_0$ $F_{引}$ 和 $F_{斥}$ 都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大， $F_{引} > F_{斥}$ ， F 表现为引力	r 增大，分子间作用力做负功，分子势能增加； r 减小，分子间作用力做正功，

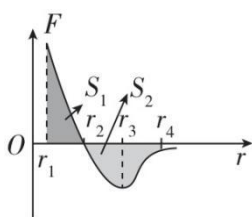
			分子势能减少
	$r = r_0$	$F_{引} = F_{斥}, F = 0$	分子势能最小，但不为零
	$r > 10r_0 (10^{-9}\text{m})$	$F_{引}$ 和 $F_{斥}$ 都已十分微弱，可以认为分子间没有相互作用力	分子势能为零

2.分析物体内能问题的四点提醒

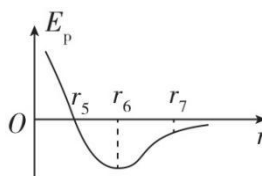
- (1) 内能是对物体的大量分子而言的，单个分子的内能没有意义。
- (2) 决定物体内能大小的因素：物质的量、温度、体积以及物质状态。
- (3) 通过做功或热传递可以改变物体的内能。
- (4) 温度是分子平均动能的标志，相同温度的任何物体，分子的平均动能相同。

考向 1 分子力和分子势能

例 1 [2024·河北承德二模] 多选 分子 a 固定在坐标原点 O 处，分子 b 从 $r = r_4$ 处以某一速度向分子 a 运动（运动过程中仅考虑分子间作用力），两分子间作用力、分子势能与两分子间距离的关系如图甲、乙所示。假定两个分子的距离为无穷远时它们的分子势能为 0，则（ ）



甲



乙

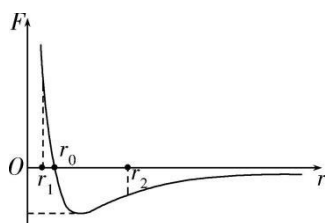
- A. 图甲中分子间距从 r_2 到 r_3 ，分子间的作用力表现为斥力
- B. 分子 b 运动至 r_3 和 r_1 位置时动能可能相等
- C. 图乙中 r_5 一定大于图甲中 r_2
- D. 若图甲中 r 轴上、下两阴影面积 $S_1 = S_2$ ，则两分子间最小距离小于 r_1

【答案】BD

【解析】 图甲中分子间距从 r_2 到 r_3 ，分子间作用力表现为引力，故 A 错误；分子 b 从 r_3 到 r_2 和从 r_2 到 r_1 两过程，若图像与横轴所围面积相等，则分子间作用力做的总功为 0，动能变化量为 0，分子 b 在 r_3 和 r_1 两位置时动能相等，故 B 正确；图甲 r_2 处分子间作用力为 0，分子 b 在此处分子势能最小，应对应图乙中 r_6

处，即图乙中 r_5 一定小于图甲中 r_2 ，故 C 错误；若图甲中两阴影面积 $S_1 = S_2$ ，则分子 b 从 r_4 到 r_1 过程分子间作用力做功为 0，分子 b 在 r_4 处速度不为 0，则分子 b 在 r_1 处速度不为 0，将继续运动，靠近分子 a ，故 D 正确。

迁移应用. [2020·北京卷·10, 3 分]分子间作用力 F 随分子间距离 r 的变化如图所示。将两分子从相距 $r = r_2$ 处释放，仅考虑这两个分子间的作用，下列说法正确的是（ ）



- A. 从 $r = r_2$ 到 $r = r_0$ 分子间引力、斥力都在减小
- B. 从 $r = r_2$ 到 $r = r_1$ 分子间作用力的大小先减小后增大
- C. 从 $r = r_2$ 到 $r = r_0$ 分子势能先减小后增大
- D. 从 $r = r_2$ 到 $r = r_1$ 分子动能先增大后减小

【答案】D

【解析】从 $r = r_2$ 到 $r = r_0$ ，随着分子间距减小，引力与斥力都增大，分子间作用力表现为引力，做正功，分子势能逐渐减小，分子动能逐渐变大，A、C 错误。从 $r = r_2$ 到 $r = r_1$ ，分子间作用力先变大，后变小，再变大，分子势能先减小再增大，则分子动能先增大后减小，B 错误，D 正确。

考向 2 物体的内能

例 2 [2024·河北保定模拟]关于水杯里 40°C 的热水和高压锅内 110°C 的水蒸气，下列说法正确的是（ ）

- A. 热水中的分子平均动能比水蒸气中的分子平均动能大
- B. 质量相同时，热水的内能比水蒸气的内能大
- C. 热水中的每个分子的速率一定比水蒸气中的分子速率小
- D. 水蒸气中的分子热运动比热水中的分子热运动剧烈

【答案】D

【解析】温度是分子平均动能的标志，温度越低，分子的平均动能越小，故热水中的分子平均动能比水蒸气中的分子平均动能小，故 A 错误；对于相同质量的水和水蒸气来说，热水的温度比水蒸气的低，所以热水中分子的总动能小

于水蒸气中分子的总动能，同时，热水中分子的平均距离小于水蒸气中分子的平均距离，所以热水中分子的总势能也小于水蒸气中分子的总势能，所以热水的内能比水蒸气的内能小，故 B 错误；热水中分子的平均动能比水蒸气中分子的平均动能小，即热水中分子的平均速率比水蒸气中分子的平均速率小，但热水中某个分子的速率可能比水蒸气中分子的速率大，故 C 错误；温度越高，分子的平均动能越大，所以水蒸气中的分子热运动更剧烈，故 D 正确。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 74

第 2 讲 固体、液体和气体

课标要求

了解固体的微观结构；知道晶体和非晶体的特点；能列举生活中的晶体和非晶体；通过实例，了解液晶的主要性质及其在显示技术中的应用；观察液体的表面张力现象；了解表面张力产生的原因；知道毛细现象；通过实验，了解气体实验定律；知道理想气体模型；能用分子动理论和统计观点解释气体实验定律。

必备知识·强基固本

一、温度和温标

1. 由大量分子组成的研究对象叫热力学系统，描述热力学系统的状态参量有___、___、___等。

【答案】体积；压强；温度

2. 一切互为热平衡的系统都具有相同的___。

【答案】温度

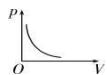
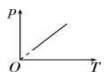
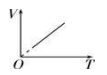
3. 热力学温标表示的温度叫作_____。摄氏温度 t 与热力学温度 T 的关系是： $T = t + \underline{\hspace{2cm}}$ K。

【答案】热力学温度；273.15

二、气体

1. 气体实验三定律

项目	玻意耳定律	查理定律	盖—吕萨克定律
条件	质量一定，___不变	质量一定，___不变	质量一定，___不变
表达式	$p_1V_1 = p_2V_2$	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

图像			
----	---	---	---

【答案】温度； 体积； 压强

2. 理想气体的状态方程

(1) 内容：一定质量的某种理想气体发生状态变化时，压强跟体积的乘积与热力学温度的比值保持不变。

(2) 公式： $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ 或 $\frac{pV}{T} = C$ (C 是与 p 、 V 、 T 无关的常量)。

【答案】 $\frac{p_2 V_2}{T_2}$ ； $\frac{pV}{T}$

三、固体

1. 分类：固体分为晶体和非晶体两类。晶体分单晶体和多晶体。

2. 晶体与非晶体的比较

项目	晶 体		非晶体
	单晶体	多晶体	
外形	规则	不规则	不规则
熔点	固定	固定	不固定
物理性质	各向__	各向同性	各向同性
排列	_____	无规则	无规则
形成与转化	有的物质在不同条件下能够生成不同的晶体。同种物质可能以晶体和非晶体两种不同的形态出现，有些晶体在一定条件下可以转化为非晶体，有些非晶体在一定条件下也可以转化为晶体		
典型物质	石英、云母、食盐、硫酸铜		玻璃、蜂蜡、松香

【答案】异性； 有规则

四、液体

1. 液体的表面张力

(1) 形成原因：表面层中分子间距离比液体内部分子间距离大，分子间作用力表现为引力。

(2) 作用：液体的表面张力使液面具有_____的趋势。

(3) 方向：表面张力跟液面__，且跟分界线__。

(4) 大小：液体的温度越高，表面张力__；液体中溶有杂质时，表面张力__；液体的密度越大，表面张力__。

【答案】收缩到表面积最小；相切；垂直；越小；变小；越大

2. 液体的浸润和不浸润

(1) 液体会润湿固体并附着在固体的表面上，这种现象叫作__。

(2) 液体不会润湿固体，也不会附着在固体的表面上，这种现象叫作_____。

(3) 液体与固体间的浸润与不浸润现象，都是液体与固体间的附着层中分子间的相互作用造成的。

【答案】浸润；不浸润

3. 毛细现象：指浸润液体在细管中__的现象，以及不浸润液体在细管中__的现象，毛细管越细，毛细现象越明显。

【答案】上升；下降

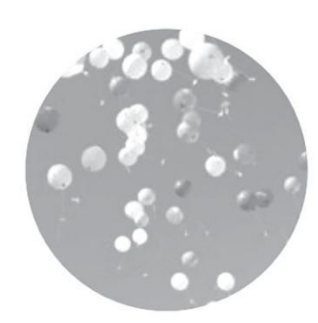
4. 液晶的物理性质

具有液体的_____，具有晶体的光学_____。在某个方向上看其分子排列比较整齐，但从另一方向看，分子的排列是杂乱无章的。

【答案】流动性；各向异性

教材挖掘。（人教版选择性必修第三册第二章第2节）

在庆典活动中放飞的气球，会飞到我们看不见的地方。随着气球的升空，大气压强、温度和气球的体积会怎样变化呢？怎样研究一定质量的气体的压强、体积和温度之间的具体关系？

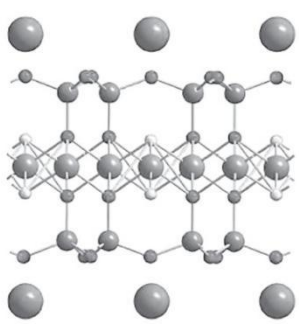


提示：大气压强减小，温度降低，气球体积变大；利用控制变量法研究它们之间具体的关系。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。

2023年5月，中国科学技术大学团队利用纳米纤维与合成云母纳米片研制出一种能适应极端环境的纤维素基纳米纸材料。如图所示为某合成云母片的微观结构示意图。



- (1) 该云母片是非晶体。()
- (2) 该云母片有规则的外形。()
- (3) 合成云母片熔化过程中温度会升高。()
- (4) 合成云母片的所有物理性质都是各向异性的。()
- (5) 合成云母中每个分子都是固定不动的。()

【答案】(1) ×

(2) ✓

(3) ×

(4) ×

(5) ×

2. (人教版选择性必修第三册改编) 小明发现倒酱油的时候总会有一些酱油沿着瓶口流到瓶子外面，他认为如果选用合适的瓶口材料就能保持瓶子清洁。如图是滴在两种材料表面的酱油滴的形状，下列说法正确的是()

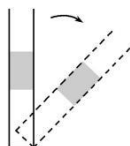


- A. 图甲说明酱油与甲材料不浸润
- B. 图乙说明酱油与乙材料浸润
- C. 酱油瓶瓶口的材料选用乙材料较合适

D. 水银在两种材料表面的形状一定与酱油滴形状相同

【答案】C

3. (人教版选择性必修第三册改编) 玻璃管开口向上竖直放置, 管内用水银封闭一定质量的理想气体。将玻璃管绕底端缓慢转到虚线所示位置, 则 ()



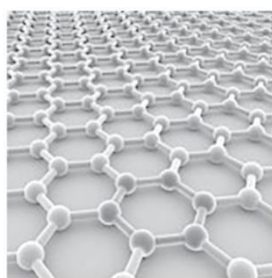
- A. 根据查理定律可判断气体体积在变大
- B. 根据查理定律可判断气体体积在变小
- C. 根据玻意耳定律可判断气体体积在变大
- D. 根据玻意耳定律可判断气体体积在变小

【答案】C

关键能力·核心突破

考点一 固体和液体的性质

1. [2024·广东三模] **晶体的结构** 石墨烯是一种由碳原子紧密堆积成单层二维六边形晶格结构的新材料, 一层层叠起来就是石墨, 1 毫米厚的石墨约有 300 万层石墨烯。下列关于石墨烯的说法正确的是 ()



- A. 石墨是晶体, 石墨烯是非晶体
- B. 石墨烯中的碳原子始终静止不动
- C. 石墨烯熔化过程中碳原子的平均动能不变
- D. 石墨烯中的碳原子之间只存在引力作用

【答案】C

【解析】石墨和石墨烯都是晶体, 故 A 错误; 石墨中的碳原子是一直运动的, 故 B 错误; 石墨烯是晶体, 在熔化过程中, 温度不变, 则碳原子的平均动能不变, 故 C 正确; 石墨烯中的碳原子间同时存在引力和斥力, 故 D 错误。

2. [2024·浙江台州模拟]毛细现象在中国空间站开讲的“天宫课堂”第三课中，航天员在微重力环境下给大家展示了水在玻璃管中的毛细现象。下列说法正确的是（ ）

- A. 由于微重力，细管中的水液面上升高度要比地面上相同情况下的低
- B. 管壁分子对附着层液体分子的吸引力小于液体内部分子对附着层液体分子的吸引力
- C. 细管内液面都上升，且液面与管壁接触处比液面中间高
- D. 内径小的细管液面上升的高度最终会与内径大的相等

【答案】C

【解析】在液体表面张力作用下，由于微重力，细管中的水液面上升高度要比地面上相同情况下的高，故 A 错误；管壁分子对附着层液体分子的吸引力大于液体内部分子对附着层液体分子的吸引力，故 B 错误；由于液体表面张力的影响，液面呈凹形，即液面与管壁接触处比液面中间高，故 C 正确；内径小的细管液面上升的高度最终会比内径大的高一些，故 D 错误。

3. 晶体和非晶体对下列几种固体物质的认识，正确的有（ ）

- A. 食盐熔化过程中，温度保持不变，说明食盐是晶体
- B. 烧热的针尖接触涂有蜂蜡薄层的云母片背面，熔化的蜂蜡呈椭圆形，说明蜂蜡是晶体
- C. 天然石英表现为各向异性，是由于该物质的微粒在空间的排列不规则
- D. 石墨和金刚石的物理性质不同，是由于石墨是非晶体，金刚石是晶体

【答案】A

【解析】食盐熔化过程中，温度保持不变，即熔点一定，说明食盐是晶体，故 A 正确；烧热的针尖接触涂有蜂蜡薄层的云母片背面，熔化的蜂蜡呈椭圆形，只能说明云母片是晶体，故 B 错误；天然石英表现为各向异性，是由于该物质的微粒在空间的排列规则，故 C 错误；石墨和金刚石的物理性质不同，是由于碳原子排列方式不同，故 D 错误。

核心提炼

1.晶体和非晶体的理解

- (1) 凡是具有确定熔点的物体必定是晶体，反之，必是非晶体。
- (2) 凡是具有各向异性的物体必定是晶体，且是单晶体。

(3) 单晶体具有各向异性，但在各种物理性质上都表现出各向异性。

(4) 晶体和非晶体在一定条件下可以相互转化。

2.液体表面张力的理解

形成原因	表面层中分子间的距离比液体内部分子间的距离大，分子间的作用力表现为引力
表面特性	表面层分子间的引力使液面产生了表面张力，使液体表面好像一层绷紧的弹性薄膜
表面张力的方向	和液面相切，垂直于分界线
表面张力的效果	表面张力使液体表面具有收缩趋势，使液体表面积趋于最小，而在体积相同的条件下，球形的表面积最小
典型现象	球形液滴、肥皂泡、涟漪、毛细现象、浸润和不浸润

考点二 封闭气体压强的计算

1.封闭气体压强的求法

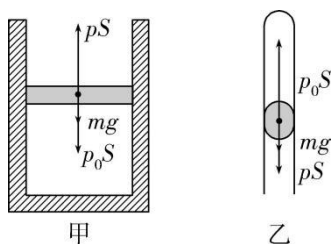
平衡状态	力平衡法	选取与气体接触的液柱（或活塞）为研究对象进行受力分析，得到液柱（或活塞）的受力平衡方程，求得气体的压强
	等压面法	在连通器中，同一种液体（中间不间断）同一深度处压强相等。液体内部深 h 处的压强 $p = p_0 + \rho gh$ ， p_0 为液面上方的压强
	液片法	选取假想的液体薄片（自身重力不计）为研究对象，分析液片两侧受力情况，建立平衡方程，消去面积，得到液片两侧压强相等方程，求得气体的压强
加速运动系统	选取与气体接触的液柱（或活塞）为研究对象，进行受力分析，利用牛顿第二定律列方程求解	

2.两种常见模型

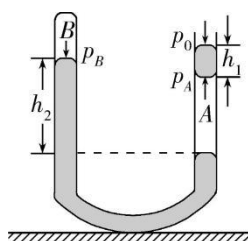
(1) 活塞模型（用活塞封闭一定质量的气体）

图甲活塞平衡时，有 $pS = p_0S + mg$ 。

图乙中的液柱也可以看成“活塞”，由于液柱处于平衡状态，所以有 $pS + mg = p_0S$ 。



(2) 液柱模型（用液柱封闭一定质量的气体）



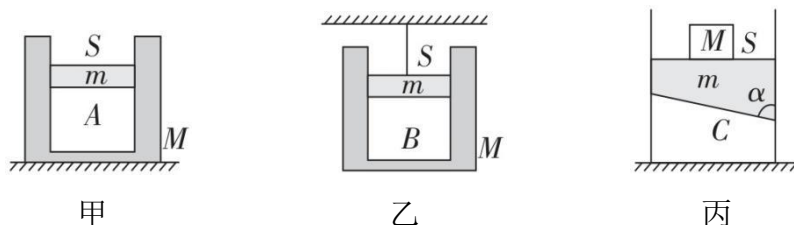
平衡时对气体A有： $p_A = p_0 + \rho gh_1$

对气体B有： $p_B + \rho gh_2 = p_A = p_0 + \rho gh_1$

所以 $p_B = p_0 + \rho g(h_1 - h_2)$

考向 1 活塞模型

例 1 求汽缸中封闭气体A、B、C的压强。（大气压强为 p_0 ，重力加速度为 g ，活塞的质量为 m ，横截面积为 S ，汽缸、物块的质量均为 M ，活塞与汽缸间均无摩擦，均处于平衡状态）



【答案】 $p_0 + \frac{mg}{S}$ $p_0 - \frac{Mg}{S}$ $p_0 + \frac{(M+m)g}{S}$

【解析】题图甲中选活塞为研究对象，受力分析如图（a）所示，由平衡条件知 $p_AS = p_0S + mg$ ，得 $p_A = p_0 + \frac{mg}{S}$ ；题图乙中选汽缸为研究对象，受力分析如图（b）所示，由平衡条件知 $p_0S = p_BS + Mg$ ，得 $p_B = p_0 - \frac{Mg}{S}$ ；题图丙中选活塞为研究对象，受力分析如图（c）所示， $p_CS \sin \alpha = p_0S_{\perp} + F_N + mg$ ， $F_N = Mg$ ， $S \sin \alpha = S_{\perp}$ ， $S_{\perp} = S$ ，联立可得 $p_C = p_0 + \frac{(M+m)g}{S}$ 。

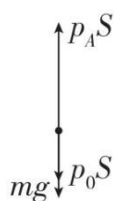


图 (a)

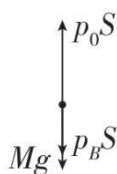


图 (b)

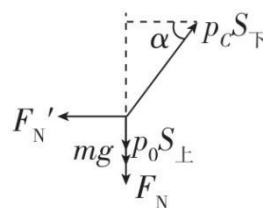
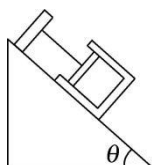


图 (c)

迁移应用 1. 如图所示，倾角为 θ 的光滑斜面上有一固定挡板，现有一质量为 M 的汽缸，汽缸内用质量为 m 的活塞封闭有一定质量的理想气体，不计活塞与汽缸间的摩擦，活塞横截面积为 S ，现将活塞用细绳固定在挡板上处于静止状态。
(已知外界大气压强为 p_0 ，重力加速度为 g)



- (1) 求汽缸内的气体压强 p_1 ；
- (2) 若将绳子剪断，汽缸与活塞保持相对静止一起沿斜面向下做匀加速直线运动，试计算汽缸内的气体压强 p_2 。

【答案】 (1) $p_0 - \frac{Mg \sin \theta}{S}$

(2) p_0

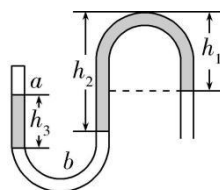
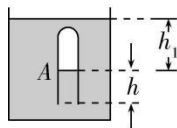
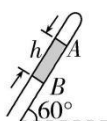
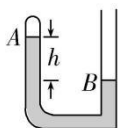
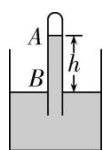
【解析】

(1) 以汽缸为研究对象，由平衡条件得 $Mg \sin \theta + p_1 S = p_0 S$ 解得 $p_1 = p_0 - \frac{Mg \sin \theta}{S}$

(2) 以整体为研究对象，有 $(M + m)g \sin \theta = (M + m)a$ 以汽缸为研究对象，有 $Mg \sin \theta + p_2 S - p_0 S = Ma$ 解得 $p_2 = p_0$

考向 2 液柱模型

例 2 图中各装置均处于静止状态。已知各图中液体密度均为 ρ ，大气压强均为 p_0 ，重力加速度为 g ，求各图中被封闭气体的压强。



甲 乙 丙 丁 戊

【答案】见解析

【解析】题图甲中，以高为 h 的液柱为研究对象，由平衡条件有 $p_{\text{甲}}S + \rho hSg = p_0S$

$$\text{所以 } p_{\text{甲}} = p_0 - \rho gh$$

题图乙中，以 B 液面为研究对象，由平衡条件有 $p_{\text{乙}}S + \rho ghS = p_0S$

$$p_{\text{乙}} = p_0 - \rho gh$$

题图丙中，以 B 液面为研究对象，由平衡条件有 $p_{\text{丙}}S + \rho gh\sin 60^\circ \cdot S = p_0S$

$$\text{所以 } p_{\text{丙}} = p_0 - \frac{\sqrt{3}}{2}\rho gh$$

题图丁中，以 A 液面为研究对象，由平衡条件有 $p_{\text{丁}}S = p_0S + \rho gh_1S$

$$\text{所以 } p_{\text{丁}} = p_0 + \rho gh_1$$

题图戊中， b 气柱的压强为

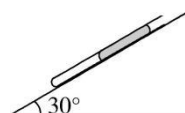
$$p_b = p_0 + \rho g(h_2 - h_1)$$

a 气柱的压强为

$$p_a = p_b - \rho gh_3 = p_0 + \rho g(h_2 - h_1 - h_3)$$

迁移应用 2. 有一段 12cm 长的汞柱，在均匀玻璃管中封住一定质量的气体。

若管口向上将玻璃管放置在一个倾角为 30° 的光滑斜面上（如图所示），在下滑过程中被封闭气体的压强为（设大气压强为 $p_0 = 76\text{cmHg}$ ）（ ）



- A. 76cmHg B. 82cmHg C. 88cmHg D. 70cmHg

【答案】A

【解析】对玻璃管和水银柱组成的系统，根据牛顿第二定律可得整体的加速度

$a = g\sin\theta$ ；对水银柱由牛顿第二定律得 $p_0S + mgs\sin\theta - pS = ma$ ，解得

$$p = p_0。$$

考点三 气体实验定律和理想气体状态方程的基本应用

1.理想气体状态方程与气体实验定律的关系

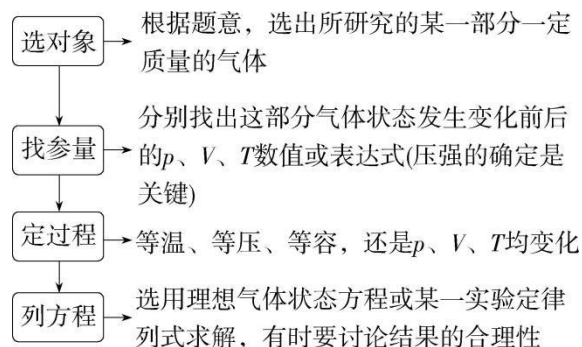
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \begin{cases} \text{温度不变: } p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ 玻意耳定律} \\ \text{体积不变: } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ 查理定律} \\ \text{压强不变: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ 盖—吕萨克定律} \end{cases}$$

2.两个重要的推论

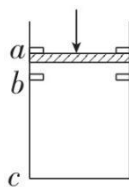
(1) 查理定律的推论: $\Delta p = \frac{p_1}{T_1} \Delta T$ 。

(2) 盖—吕萨克定律的推论: $\Delta V = \frac{V_1}{T_1} \Delta T$ 。

3.利用气体实验定律及理想气体状态方程解决问题的基本思路



例 3 [2024 · 全国甲卷 · 33 (2), 10 分] 如图, 一竖直放置的汽缸内密封有一定量的气体, 一不计厚度的轻质活塞可在汽缸内无摩擦滑动, 移动范围被限制在卡销 a 、 b 之间, b 与汽缸底部的距离 $\overline{bc} = 10\overline{ab}$, 活塞的面积为 $1.0 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ 。初始时, 活塞在卡销 a 处, 汽缸内气体的压强、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。



(i) 求外力增加到 200 N 时, 卡销 b 对活塞支持力的大小;

(ii) 再将汽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。

【答案】 (i) 100 N

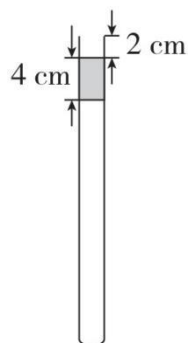
(ii) 327 K

【解析】

(i) 由题意可知, 活塞由卡销 a 到达卡销 b 处过程中, 气体温度不变, 根据玻意耳定律可得 $p_0V_0 = pV$ 即 $p_0S \cdot \overline{ac} = pS \cdot \overline{bc}$ 由题意知 $\overline{ac} = \frac{11}{10}\overline{bc}$ 得 $p = 1.1p_0$ 活塞在卡销 b 处受力平衡, 有 $F_{支} + pS = p_0S + F_{外}$ 代入数据得 $F_{支} = 100\text{N}$

(ii) 气体发生等容变化, 当活塞刚好能离开卡销 b 时, 由平衡条件得 $p'S = p_0S + F_{外}$ 根据查理定律得 $\frac{p}{T} = \frac{p'}{T'}$ 解得 $T' \approx 327\text{K}$

迁移应用 3. [2024·江苏模拟] 如图所示, 一粗细均匀的细管开口向上竖直放置, 管内有一段高度为 4cm 的水银柱, 水银柱下密封了一定质量的理想气体, 水银柱上表面到管口的距离为 2cm 。若保持气体温度不变, 将细管倒置, 稳定时水银柱下表面恰好位于管口处且无水银滴落。已知开始时管内气体温度为 297K , 大气压强为 76cmHg 。



(1) 求细管的长度;

(2) 若在倒置前, 缓慢加热管内被密封的气体, 直到水银柱的上表面恰好与管口平齐, 求此时密封气体的热力学温度。

【答案】 (1) 24cm

(2) 330K

【解析】

(1) 设细管的长度为 L , 横截面积为 S , 水银柱高度为 h , 初始时, 水银柱上表面到管口的距离为 h_1 , 被密封气体的体积为 V , 压强为 p , 细管倒置时, 气体体积为 V_1 , 压强为 p_1 , 由玻意耳定律有 $pV = p_1V_1$ 由平衡条件有 $pS = p_0S + \rho gh$ $p_1S = p_0S - \rho gh$ 由题意有 $V = S(L - h_1)$ $V_1 = S(L - h)$ 联立解得 $L = 24\text{cm}$

(2) 设气体被加热前后的温度分别为 T_0 和 T , 由盖—吕萨克定律有 $\frac{V}{T_0} = \frac{V_1}{T}$ 解得 $T = 330\text{K}$

专题突破 23 气体实验定律和理想气体状态方程的综合应用

关键能力·核心突破

题型一 汽缸类问题

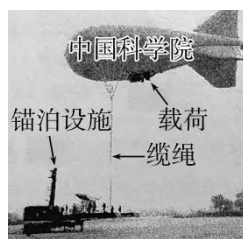
解决汽缸类问题的一般思路

- (1) 弄清题意，确定研究对象。一般研究对象分两类：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（汽缸、活塞或某系统）。
- (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，依据气体实验定律或理想气体状态方程列出方程；对力学研究对象要正确地进行受力分析，依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、体积关系等，列出辅助方程。
- (4) 多个方程联立求解。对求解的结果，注意分析它们的合理性。

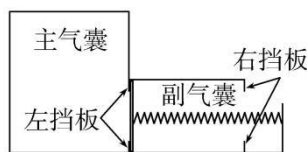
例 1 [2021·辽宁卷·14, 10 分]如图甲所示，“系留气球”是一种用缆绳固定于地面、高度可控的氦气球，作为一种长期留空平台，具有广泛用途。

图乙为某一“系留气球”的简化模型图：主、副气囊通过无漏气、无摩擦的活塞分隔，主气囊内封闭有一定质量的氦气（可视为理想气体），副气囊与大气连通。轻弹簧右端固定、左端与活塞连接。

当气球在地面达到平衡时，活塞与左挡板刚好接触，弹簧处于原长状态。在气球升空过程中，大气压强逐渐减小，弹簧被缓慢压缩。当气球上升至目标高度时，活塞与右挡板刚好接触，氦气体积变为地面时的 1.5 倍，此时活塞两侧气体压强差为地面大气压强的 $\frac{1}{6}$ 。已知地面大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、温度 $T_0 = 300 \text{ K}$ ，弹簧始终处于弹性限度内，活塞厚度忽略不计。



甲



乙

- (1) 设气球升空过程中氦气温度不变，求目标高度处的大气压强 p ；
- (2) 气球在目标高度处驻留期间，设该处大气压强不变。气球内外温度达到平衡时，弹簧压缩量为左、右挡板间距离的 $\frac{4}{5}$ 。求气球驻留处的大气温度 T 。

【答案】 (1) $5 \times 10^4 \text{ Pa}$

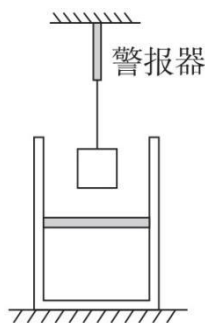
(2) 266K

【解析】

(1) 升空过程中温度不变，对氦气，由玻意耳定律有 $p_0 V_1 = p_1 V_2$ ，其中 $V_2 = 1.5V_1$ 。在目标高度处，氦气压强大于外部大气压强，有 $p_1 - p = \frac{1}{6}p_0$ 联立解得 $p = \frac{1}{2}p_0 = 5 \times 10^4 \text{Pa}$

(2) 设达到平衡时氦气的体积为 V_3 ，副气囊的总体积为 $V_{\text{副}}$ ，则有 $V_{\text{副}} = V_2 - V_1$ ， $V_3 = \frac{4}{5}V_{\text{副}} + V_1$ 设左、右挡板间的距离为 x ，则当气球上升至目标高度时，有 $kx = \frac{1}{6}p_0 S$ 对活塞由平衡条件得 $k \cdot \frac{4}{5}x + pS = p_2 S$ 解得 $p_2 = \frac{19}{30}p_0$ 对氦气，由理想气体状态方程有 $\frac{p_0 V_1}{T_0} = \frac{p_2 V_3}{T}$ 解得 $T = 266\text{K}$

迁移应用 1. [2024 · 广东东莞联考] 某同学制作了一个简易的温度监控器，如图所示，汽缸绝热，缸内有不计体积的加热装置（图中未画出）。汽缸内有一质量不计、横截面积为 $S = 10\text{cm}^2$ 的活塞封闭着一定质量的理想气体，活塞上方用轻绳悬挂着重物。当缸内温度为 $T_1 = 300\text{K}$ 时，活塞与缸底相距 $H = 3\text{cm}$ ，与重物相距 $h = 2\text{cm}$ 。大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{Pa}$ ，重力加速度大小 $g = 10\text{m/s}^2$ ，不计活塞厚度及活塞与缸壁间的摩擦。



(1) 当活塞刚好接触重物时，求缸内气体的温度 T_2 ；

(2) 若重物质量为 $m = 2\text{kg}$ ，当轻绳拉力刚好为零时，报警器开始报警，求此时缸内气体温度 T_3 。

【答案】 (1) 500K

(2) 600K

【解析】

(1) 从开始到活塞刚接触重物，气体为等压变化，则 $\frac{HS}{T_1} = \frac{(H+h)S}{T_2}$ 解得 $T_2 = 500\text{K}$

(2) 从刚接触重物到绳子拉力刚好为零, 对活塞受力分析有 $p_1 S = p_0 S + mg$

对缸内气体, 有 $\frac{p_0}{T_2} = \frac{p_1}{T_3}$ 解得 $T_3 = 600\text{K}$

题型二 液柱类问题

液柱模型

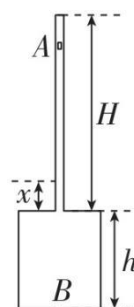
求液柱封闭的气体压强时, 一般以液柱为研究对象分析受力、列平衡方程求解, 要注意:

- (1) 液体因重力产生的压强为 $p = \rho gh$ (其中 h 为液体的高度);
- (2) 不要漏掉大气压强, 同时又要尽可能平衡掉某些大气的压力;
- (3) 有时可直接应用连通器原理——连通器内静止的液体, 同种液体在同一水平面上各处压强相等;
- (4) 当液体为水银时, 可灵活应用压强单位 “cmHg”, 使计算过程简捷。

例 2 [2024 · 山东卷 · 16, 8 分] 图甲为战国时期青铜汲酒器, 根据其原理制作了由中空圆柱形长柄和储液罐组成的汲液器, 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 $g = 10\text{m/s}^2$, 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。



甲



乙

- (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, 堵住孔 A , 稳定后罐中恰好剩余一半的液体, 求 V 。

【答案】 (1) 2cm

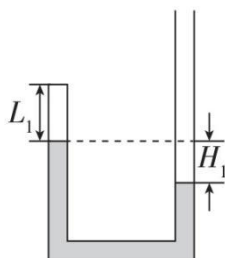
(2) 892cm³

【解析】

(1) 以长柄内的封闭气体为研究对象，初态气体体积 $V_1 = (H - x)S_1$ ，压强 $p_1 = p_0$ ，末态气体体积 $V_2 = HS_1$ ，压强 $p_2 = p_0 - \rho gh$ ，根据玻意耳定律有 $p_1V_1 = p_2V_2$ 代入数据解得 $x = 2\text{cm}$

(2) 以长柄内的封闭气体和后来进入的气体为研究对象，初态气体体积 $V_3 = (H - x)S_1 + V$ ，压强 $p_3 = p_0$ ，末态气体体积 $V_4 = HS_1 + \frac{h}{2}S_2$ ，压强 $p_4 = p_0 - \rho g\frac{h}{2}$ ，根据玻意耳定律有 $p_3V_3 = p_4V_4$ 代入数据解得 $V = 892\text{cm}^3$

迁移应用 2. [2024·吉林长春模拟]如图所示，两侧粗细均匀、横截面积相等的 U 形管，左管上端封闭，右管上端开口。左管中密封气体的长度 $L_1 = 10\text{cm}$ ，右管中水银柱上表面比左管中水银柱上表面低 $H_1 = 4\text{cm}$ 。已知大气压强 $p_0 = 76\text{cmHg}$ ，环境温度 $T_1 = 300\text{K}$ ，重力加速度为 g 。



(1) 先将左管中密封气体缓慢加热，使左右管中水银柱上表面相平，此时左管密封气体的温度为多少？

(2) 使左管中气体保持(1)问的温度不变，现从右侧端口缓慢注入水银(与原水银柱之间无气隙)，求注入高度为多少的水银(右管足够长，无水银从管口溢出)能使最终稳定后左管密封的气体恢复原来的长度。

【答案】 (1) 380K

(2) 19.2cm

【解析】

(1) 由题意得，加热前左管中气体压强 $p_{左1} = 76\text{cmHg} - 4\text{cmHg} = 72\text{cmHg}$ ，加热后左管中气体压强 $p_{左2} = p_0 = 76\text{cmHg}$ ，加热后左管中气体长度为 $L_2 = L_1 + \frac{H_1}{2} = 12\text{cm}$ 。由理想气体状态方程得 $\frac{p_{左1}L_1S}{T_1} = \frac{p_{左2}L_2S}{T_2}$ ，解得 $T_2 = 380\text{K}$ 。

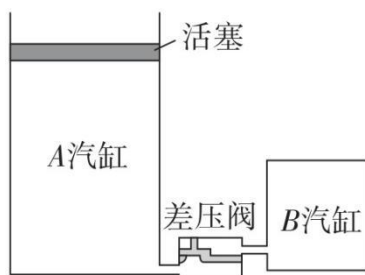
(2) 设注入水银的高度为 x ，左侧气体温度不变，由玻意耳定律有 $p_{\text{左}2}L_2S = p_{\text{左}3}L_1S$ 此时左侧管中气体压强 $p_{\text{左}3} = p_0 + \rho g(x - H_1)$ 解得 $x = 19.2\text{cm}$

题型三 关联气体问题

关联气体问题的解题思路

- (1) 对各部分气体要独立进行状态分析；
- (2) 要确定每个研究对象的状态变化的特点，分别应用相应的实验定律；
- (3) 充分利用各研究对象之间的压强、体积、温度等物理量的有效关联关系；
- (4) 若活塞可自由移动，一般要根据活塞的受力平衡条件确定两部分气体的压强关系。

例3 [2024·广东卷·13, 9分] 差压阀可控制气体进行单向流动，广泛应用于减震系统。如图所示， A 、 B 两个导热良好的汽缸通过差压阀连接， A 内轻质活塞的上方与大气连通， B 的体积不变。当 A 内气体压强减去 B 内气体压强大于 Δp 时差压阀打开， A 内气体缓慢进入 B 中；当该差值小于或等于 Δp 时差压阀关闭。当环境温度 $T_1 = 300\text{K}$ 时， A 内气体体积 $V_{A1} = 4.0 \times 10^{-2}\text{m}^3$ ； B 内气体压强 p_{B1} 等于大气压强 p_0 。已知活塞的横截面积 $S = 0.10\text{m}^2$ ， $\Delta p = 0.11p_0$ ， $p_0 = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$ 。重力加速度大小取 $g = 10\text{m/s}^2$ 。 A 、 B 内的气体可视为理想气体，忽略活塞与汽缸间的摩擦，差压阀与连接管道内的气体体积不计。当环境温度降低到 $T_2 = 270\text{K}$ 时：



- (1) 求 B 内气体压强 p_{B2} ；
- (2) 求 A 内气体体积 V_{A2} ；
- (3) 在活塞上缓慢倒入铁砂，若 B 内气体压强回到 p_0 并保持不变，求已倒入铁砂的质量 m 。

【答案】 (1) $9 \times 10^4\text{Pa}$

(2) $3.6 \times 10^{-2}\text{m}^3$

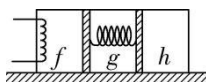
(3) $1.1 \times 10^2\text{kg}$

【解析】

(1) (1) (2) 假设环境温度降低到 T_2 时, 差压阀没有打开, A 、 B 两个汽缸导热良好, B 内气体做等容变化, 初态 $p_{B1} = p_0$, $T_1 = 300\text{K}$ 末态 $T_2 = 270\text{K}$ 根据查理定律有 $\frac{p_{B1}}{T_1} = \frac{p_{B2}}{T_2}$ 代入数据解得 $p_{B2} = 9 \times 10^4\text{Pa}$ A 内气体做等压变化, 压强保持不变, 初态 $V_{A1} = 4.0 \times 10^{-2}\text{m}^3$, $T_1 = 300\text{K}$ 末态 $T_2 = 270\text{K}$ 根据盖—吕萨克定律有 $\frac{V_{A1}}{T_1} = \frac{V_{A2}}{T_2}$ 代入数据解得 $V_{A2} = 3.6 \times 10^{-2}\text{m}^3$ 由于 $p_0 - p_{B2} < \Delta p$ 假设成立, 即 $p_{B2} = 9 \times 10^4\text{Pa}$, $V_{A2} = 3.6 \times 10^{-2}\text{m}^3$

(3) 恰好稳定时, A 内气体压强为 $p'_A = p_0 + \frac{mg}{S}$ B 内气体压强 $p'_B = p_0$ 此时差压阀恰好关闭, 所以有 $p'_A - p'_B = \Delta p$ 代入数据联立解得 $m = 1.1 \times 10^2\text{kg}$

迁移应用 3. [2023 · 新课标卷 · 21, 6 分] 多选如图, 一封闭着理想气体的绝热汽缸置于水平地面上, 用轻弹簧连接的两绝热活塞将汽缸分为 f 、 g 、 h 三部分, 活塞与汽缸壁间没有摩擦。初始时弹簧处于原长, 三部分中气体的温度、体积、压强均相等。现通过电阻丝对 f 中的气体缓慢加热, 停止加热并达到稳定后 ()



- A. h 中的气体内能增加
- B. f 与 g 中的气体温度相等
- C. f 与 h 中的气体温度相等
- D. f 与 h 中的气体压强相等

【答案】AD

【解析】由题目所给条件可知 f 、 g 、 h 三部分气体的初始状态完全相同, 再次稳定之后, f 中的气体膨胀对外做功、体积增大, g 、 h 中的气体被压缩、体积减小, 绝热过程与外界没有热交换, 根据热力学第一定律, g 、 h 中的气体内能增大, 温度升高, 故 A 正确; 两个绝热活塞受力平衡, 则有 $p_f S = p_g S + F$ 、 $p_h S = p_g S + F$, 故 $p_f = p_h > p_g$, 所以选项 D 正确; 比较 f 、 h 两部分气体, 两者的压强相等, $V_f > V_h$, 所以 $T_f > T_h$, 所以选项 C 错误; 比较 f 、 g 两部分气体, $V_f > V_g$, $p_f > p_g$, 则 $T_f > T_g$, 所以选项 B 错误。

题型四 变质量问题

变质量问题的分析方法

气体实验定律及理想气体状态方程的适用对象都是一定质量理想气体，但在实际问题中，常遇到气体的变质量问题，可以通过巧妙选择合适的研究对象，把“变质量”问题转化为“定质量”问题。

(1) 打气问题：选择原有气体和即将充入的气体整体作为研究对象，就可把充气过程中气体质量变化问题转化为定质量气体的状态变化问题。

(2) 抽气问题：将每次抽气过程中抽出的气体和剩余气体整体作为研究对象，质量不变，将变质量问题转化为定质量问题。

(3) 灌气问题：把大容器中的剩余气体和多个小容器中的气体整体作为研究对象，可将变质量问题转化为定质量问题。

(4) 漏气问题：选容器内剩余气体和漏出气体整体作为研究对象，便可使变质量问题变成定质量问题。

例 4 [2024·安徽卷·13, 10 分]某人驾驶汽车，从北京到哈尔滨。在哈尔滨发现汽车的某个轮胎内气体的压强有所下降（假设轮胎内气体的体积不变，且没有漏气，可视为理想气体），于是在哈尔滨给该轮胎充入压强与大气压相同的空气，使其内部气体的压强恢复到出发时的压强（假设充气过程中，轮胎内气体的温度与环境温度相同，且保持不变）。已知该轮胎内气体的体积 $V_0 = 30\text{L}$ ，从北京出发时，该轮胎内气体的温度 $t_1 = -3^\circ\text{C}$ ，压强 $p_1 = 2.7 \times 10^5\text{Pa}$ 。哈尔滨的环境温度 $t_2 = -23^\circ\text{C}$ ，大气压强 p_0 取 $1.0 \times 10^5\text{Pa}$ 。求：

(1) 在哈尔滨时，充气前该轮胎内气体压强的大小；

(2) 充进该轮胎的空气体积。

【答案】(1) $2.5 \times 10^5\text{Pa}$

(2) 6L

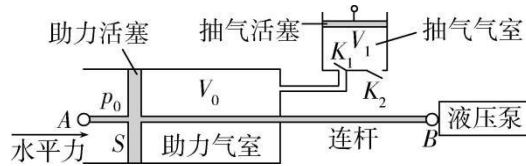
【解析】

(1) 充气前轮胎内气体等容变化，由查理定律可得 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 其中 $p_1 = 2.7 \times 10^5\text{Pa}$ ， $T_1 = 270\text{K}$ ， $T_2 = 250\text{K}$ 代入数据解得 $p_2 = 2.5 \times 10^5\text{Pa}$

(2) 设在哈尔滨充入轮胎内的空气体积为 V ，由玻意耳定律有 $p_2V_0 + p_0V = p_1V_0$ 代入数据解得 $V = 6\text{L}$

迁移应用 4. [2023·湖南卷·13, 10 分]汽车刹车助力装置能有效为驾驶员踩刹车省力。如图，刹车助力装置可简化为由助力气室和抽气气室等部分构成，连杆 AB 与助力活塞固定为一体，驾驶员踩刹车时，在连杆 AB 上施加水平力推动

液压泵实现刹车。助力气室与抽气气室用细管连接，通过抽气降低助力气室压强，利用大气压与助力气室的压强差实现刹车助力。每次抽气时， K_1 打开， K_2 闭合，抽气活塞在外力作用下从抽气气室最下端向上运动，助力气室中的气体充满抽气气室，达到两气室压强相等；然后， K_1 闭合， K_2 打开，抽气活塞向下运动，抽气气室中的全部气体从 K_2 排出，完成一次抽气过程。已知助力气室容积为 V_0 ，初始压强等于外部大气压强 p_0 ，助力活塞横截面积为 S ，抽气气室的容积为 V_1 。假设抽气过程中，助力活塞保持不动，气体可视为理想气体，温度保持不变。



- (1) 求第1次抽气之后助力气室内的压强 p_1 ；
 (2) 第 n 次抽气后，求该刹车助力装置为驾驶员省力的大小 ΔF 。

【答案】 (1) $\frac{p_0 V_0}{V_0 + V_1}$
 (2) $p_0 S [1 - (\frac{V_0}{V_0 + V_1})^n]$

【解析】

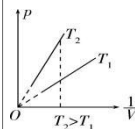
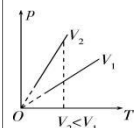
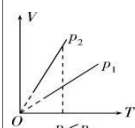
(1) 第一次抽气的过程，选择开始时助力气室里面的气体为研究对象，因为抽气过程中，助力活塞保持不动，且温度保持不变，由玻意耳定律得 $p_0 V_0 = p_1 (V_0 + V_1)$ 得 $p_1 = \frac{p_0 V_0}{V_0 + V_1}$

(2) 第二次抽气过程 $p_1 V_0 = p_2 (V_0 + V_1)$ 得 $p_2 = \frac{p_1 V_0}{V_0 + V_1} = p_0 \frac{V_0^2}{(V_0 + V_1)^2}$ 依次类推可得 $p_n = p_0 (\frac{V_0}{V_0 + V_1})^n$ 则 $\Delta F = (p_0 - p_n) \cdot S = p_0 S [1 - (\frac{V_0}{V_0 + V_1})^n]$

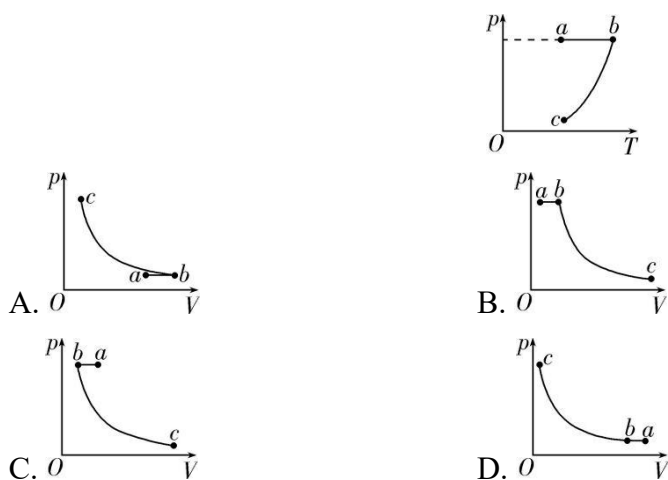
题型五 气体状态变化的图像问题

一定质量的气体不同图像的比较

类别	特点	示例
等温过程	$pV = CT$ (其中 C 为常量)，即 p 、 V 之积越大的等温线温度越高，线离原点越远	

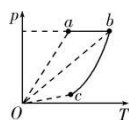
	$p - \frac{1}{V}$	$p = CT\frac{1}{V}$ (其中 C 为常量), 斜率 $k = CT$, 即斜率越大, 温度越高	
等容过程	$p - T$	$p = \frac{C}{V}T$ (其中 C 为常量), 斜率 $k = \frac{C}{V}$, 即斜率越大, 体积越小	
等压过程	$V - T$	$V = \frac{C}{p}T$ (其中 C 为常量), 斜率 $k = \frac{C}{p}$, 即斜率越大, 压强越小	

例 5 [2023 · 辽宁卷 · 5, 4 分] “空气充电宝”是一种通过压缩空气实现储能的装置, 可在用电低谷时储存能量、用电高峰时释放能量。 “空气充电宝”某个工作过程中, 一定质量理想气体的 $p - T$ 图像如图所示。该过程对应的 $p - V$ 图像可能是 ()

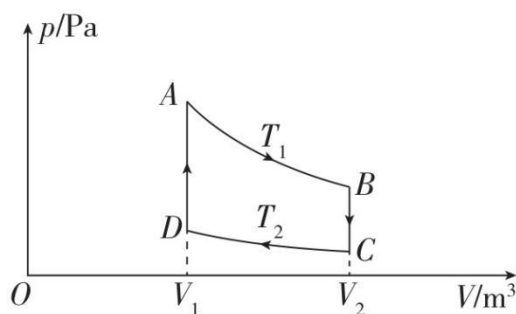


【答案】B

【解析】由理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ 和“空气充电宝”工作过程的 $p - T$ 图像分析知, $p - T$ 图像中图线上某点与坐标原点连线的斜率为 $\frac{C}{V}$, 则 $\frac{C}{V_a} > \frac{C}{V_b} > \frac{C}{V_c}$, 故 $V_a < V_b < V_c$, 且 $p_a = p_b > p_c$, B 正确。



迁移应用 5. [2024 · 江西卷 · 13, 10 分] 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 $ABCD$ 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 $T_1 = 1200\text{K}$, $T_2 = 300\text{K}$, 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 。

【答案】 (1) $2.0 \times 10^5 \text{Pa}$

(2) 2.0m^3

【解析】

(1) 状态 D 到状态 A 为等容变化由查理定律得 $\frac{p_D}{T_2} = \frac{p_A}{T_1}$ 代入数据解得 $p_D = 2.0 \times 10^5 \text{Pa}$

(2) 状态 B 到状态 C 为等容变化, $V_2 = V_C$, 状态 C 到状态 D 为等温变化, 由玻意耳定律得 $p_C V_2 = p_D V_1$ 代入数据解得 $V_2 = 2.0 \text{m}^3$

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 76

第3讲 热力学定律与能量守恒

课标要求

知道热力学第一定律; 通过有关史实, 了解热力学第一定律和能量守恒定律的发现过程, 体会科学探索中的挫折和失败对科学发现的意义; 理解能量守恒定律, 能用能量守恒的观点解释自然现象; 体会能量守恒定律是最基本、最普遍的自然规律之一; 通过自然界中宏观过程的方向性, 了解热力学第二定律。

必备知识·强基固本

一、热力学第一定律

1. 改变物体内能的两种方式

(1) 做功; (2) 热传递。

【答案】 做功

2. 热力学第一定律

(1) 内容: 一个热力学系统的内能的变化等于外界向它传递的热量与外界对它所做的功的和。

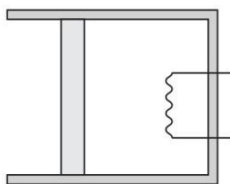
(2) 表达式: $\Delta U =$ _____。

【答案】(1) 内能变化量

(2) $Q + W$

教材挖掘. (人教版选择性必修第三册第三章“复习与提高”)

如图, 固定汽缸内由活塞封闭一定质量的气体, 开始时活塞处于静止状态, 用电热丝对气体加热后活塞向左移动, 移动过程中活塞与汽缸的摩擦忽略不计, 且气体与外界环境没有热交换。试分析气体内能会如何变化, 比较吸收的热量和内能的变化。



提示: 等压膨胀, 根据 $\frac{pV}{T} = C$ 可知, 气体温度升高, 内能增加; 用电热丝对气体加热, 且气体与外界环境没有热交换, 则气体吸收热量, $Q > 0$; 活塞向左移动, 体积增大, 气体对外做功, $W < 0$; 由于气体温度升高, 气体内能增加, $\Delta U > 0$; 由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$, 可知 $Q > \Delta U$ 。

二、能量守恒定律

1. 内容: 能量既不会凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式__为其他形式, 或者从一个物体__到别的物体, 在__或__的过程中, 能量的__保持不变。

【答案】转化; 转移; 转化; 转移; 总量

2. 条件性: 能量守恒定律是自然界的__规律, 某一种形式的能是否守恒是有__的。

【答案】普遍; 条件

3. 第一类永动机是不可能制成的, 它违背了_____。

【答案】能量守恒定律

三、热力学第二定律

1. 热力学第二定律的两种表述

(1) 克劳修斯表述: 热量不能_____从低温物体传到高温物体。

(2) 开尔文表述: 不可能从单一热库吸收热量, 使之完全变成功, 而不产生_____或表述为第二类永动机是不可能制成的。

【答案】(1) 自发地

(2) 其他影响

2. 用熵的概念表示热力学第二定律 在任何自然过程中，一个孤立系统的熵值不会__。

【答案】减小

3. 热力学第二定律的微观意义：一切__过程总是沿着分子热运动的无序性增大的方向进行。

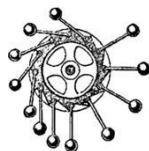
【答案】自发

4. 第二类永动机不可能制成的原因是违背了热力学第二定律。

自主评价

1. 依据下面小情境，判断下列说法对错。（人教版选择性必修第三册改编）

17~18 世纪，许多人致力于制造一种机器，它不需要任何动力或燃料，却能不断地对外做功，史称“第一类永动机”。如图展示了历史上一种永动机的设计。然而，以此为目的的任何尝试都失败了。



(1) 物体吸收热量，同时对外做功，内能可能不变。（ ）

(2) 做功改变物体内能的过程是内能与其他形式的能相互转化的过程。（ ）

(3) 自由摆动的秋千摆动幅度越来越小，说明能量正在消失。（ ）

(4) 热机中，燃气的内能可以全部变为机械能而不引起其他变化。（ ）

(5) 一定质量的理想气体向真空中自由膨胀，体积增大，对外做功，熵增加。（ ）

【答案】(1) ✓

(2) ✓

(3) ✗

(4) ✗

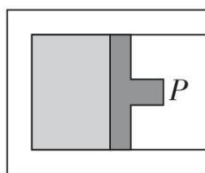
(5) ✗

2. （人教版选择性必修第三册改编）下列说法中，能够发生且不违背热力学第二定律的是（ ）

- A. 一杯热茶自然放置，茶会自动变得更热
- B. 电冰箱正常工作时把箱内低温物体的热量传递到箱外高温物体
- C. 只要对蒸汽机不断革新，它就可以把蒸汽的内能全部转化成机械能
- D. 利用降低海水温度放出大量的热量来发电，从而解决能源短缺的问题

【答案】B

3. （人教版选择性必修第三册改编）如图是密闭的汽缸，外力推动活塞 P 压缩理想气体，对缸内气体做功 200J ，同时气体向外界放热 100J ，缸内气体的（ ）



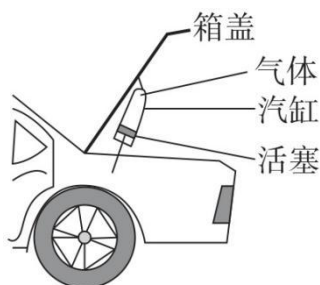
- A. 温度降低，内能增加 100J
- B. 温度降低，内能减少 200J
- C. 温度升高，内能减少 200J
- D. 温度升高，内能增加 100J

【答案】D

关键能力·核心突破

考点一 热力学第一定律的理解及应用

1. [2025·广东模拟]热力学第一定律的理解多选 某汽车后备箱内安装有撑起箱盖的装置，它主要由汽缸和活塞组成。开箱时，密闭于汽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，忽略气体分子间相互作用，则缸内气体（ ）

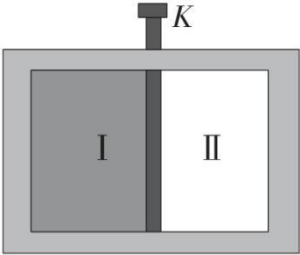


- A. 对外界做正功，分子的平均动能减小
- B. 对外界做正功，内能增大
- C. 对外界做负功，分子的平均动能增大
- D. 对外界做正功，内能减小

【答案】AD

【解析】密闭于汽缸内的压缩气体膨胀，对外做正功，即外界对气体做负功，因而 $W < 0$ ，缸内气体与外界无热交换说明 $Q = 0$ ，忽略气体分子间相互作用，说明内能是所有分子动能的总和。根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ ，可知内能增加量 $\Delta U < 0$ ，故内能减小，分子平均动能减小，温度降低。故选 A、D。

2. [2025·1月八省联考陕晋宁青卷·8]热力学第一定律的应用多选 如图，用绝热材料制成的密闭容器被隔板K分成 I、II 两部分，一定量的某理想气体处于 I 中，II 内为真空。抽取隔板K，气体进入 II 中，最终整个容器均匀地分布了这种气体。则此过程，该气体系统（ ）



- A. 对外做功，体积膨胀
- B. 对外不做功，最终压强减小
- C. 内能减少，最终温度降低
- D. 无序度变大

【答案】BD

【解析】绝热容器内的气体与外界没有热交换，则 $Q = 0$ ，气体向真空扩散，没有对外界做功，则 $W = 0$ ，根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$ 可知气体的内能不变，温度不变，气体体积变大，气体无序度变大，根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ 可知压强减小。故选 B、D。

核心提炼

1.公式 $\Delta U = Q + W$ 中各物理量符号的规定

物理量	W	Q	ΔU
+	外界对物体做功	物体吸收热量	内能增加
-	物体对外界做功	物体放出热量	内能减少

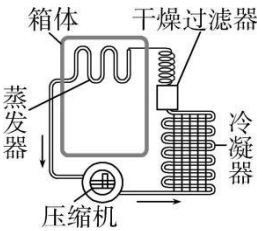
2.温度、内能、热量、功的比较

物理量	含义	特点
温度	表示物体的冷热程度，是物体分子平均动能大小的标志，它是大量分	状态

	子热运动的集体表现，对个别分子来说，温度没有意义	量
内能	物体内所有分子动能和势能的总和，它是由大量分子的热运动和分子的相对位置所决定的能	
热量	是热传递过程中内能的改变量，热量用来量度热传递过程中内能转移的多少	过程量
功	做功过程是其他形式的能和内能之间的转化过程	

考点二 热力学第二定律的理解及应用

1. **热力学第二定律的理解**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，吸收箱体内部的热量，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（ ）



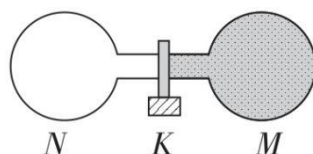
- A. 热量可以自发地从冰箱内传到冰箱外
- B. 电冰箱的制冷系统能够不断地把冰箱内的热量传到外界，是因为其消耗了电能
- C. 电冰箱的工作原理不违背热力学第二定律
- D. 电冰箱的工作原理违背了能量守恒定律

【答案】BC

【解析】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；因为冰箱内的温度低于冰箱外的温度，所以热量不可以自发地从冰箱内传到冰箱外；电冰箱的工作原理不违背能量守恒定律和热力学第二定律。故选 B、C。

2. **热力学第一、第二定律综合**气闸舱是载人航天器中供航天员进入太空或由太空返回用的气密性装置，其原理如图所示。座舱M与气闸舱N之间装有阀门K，座舱M中充满空气，气闸舱N内为真空。航天员从太空返回气闸舱N后，打开阀

门 K ， M 中的气体进入 N 中，最终达到平衡。此过程中气体与外界没有热交换，舱内气体可视为理想气体，下列说法正确的是（ ）

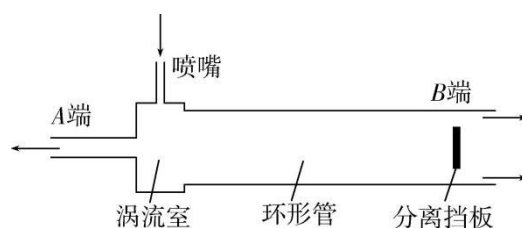


- A. 气体体积膨胀，对外做功，内能减小
- B. 气体对外不做功，气体内能不变
- C. 气体温度降低，体积增大，压强减小
- D. N 中气体可以自发地全部退回到 M 中

【答案】B

【解析】由于气闸舱 N 内为真空，所以气体在膨胀过程中不会对外做功，同时系统与外界没有热交换，由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ ，可知气体内能不变，对于一定质量的理想气体，内能不变，则温度不变，由 $pV = C$ ，且气体体积增大可知，气体压强减小，故B正确，A、C错误；根据热力学第二定律可知，一切与热现象有关的宏观变化都是不可逆的，故 N 中气体不可能自发地全部退回到 M 中，故D错误。

3. [2022·湖南卷·15(1)改编]热力学定律与能量守恒定律多选 利用“涡流效应”可实现冷热气体的分离。如图，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比B端流出的小
- C. A端流出的气体内能一定比B端流出的大

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

【答案】AB

【解析】分子热运动速率较大的气体分子聚集在边缘部位，从B端流出，A、B正确。气体内能与分子热运动的总动能有关，而总动能由气体分子热运动平均速率与分子数共同决定，故C错误。热力学第二定律是指一切与热现象有关的宏观过程具有方向性，本题中实现冷热气体的分离，不是在自然条件下进行的，未违背热力学第二定律，D错误。

核心提炼

1.对热力学第二定律关键词的理解

自发地	指明了热传递现象的方向性，不需要借助外界提供能量的帮助
不产生其他影响	说明发生的热力学宏观过程只在本系统内完成，对周围环境不产生热力学方面的影响。如吸热、放热、做功等

2.对热力学第二定律的理解

实质	自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性
实例	$\begin{array}{ccc} & \text{热量}Q \text{ 能自发传给} & \\ \text{高温物体} & \rightleftharpoons & \text{低温物体} \\ & \text{热量}Q \text{ 不能自发传给} & \end{array}$
	$\begin{array}{ccc} & \text{能自发地完全转化为} & \\ \text{功} & \rightleftharpoons & \text{内能} \\ & \text{不能自发地完全转化为} & \end{array}$
	$\begin{array}{ccc} & \text{能自发膨胀到} & \\ \text{气体体积}V_1 \text{ (较小)} & \rightleftharpoons & \text{气体体积}V_2 \text{ (较大)} \\ & \text{不能自发收缩到} & \end{array}$
	$\begin{array}{ccc} & \text{能自发混合成} & \\ \text{不同气体}A \text{ 和 } B & \rightleftharpoons & \text{混合气体}AB \\ & \text{不能自发分离成} & \end{array}$
微观意义	一切自发过程总是沿着分子热运动的无序性增大的方向进行

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 77

专题突破 24 热力学定律与气体实验定律、气体图像的综合应用

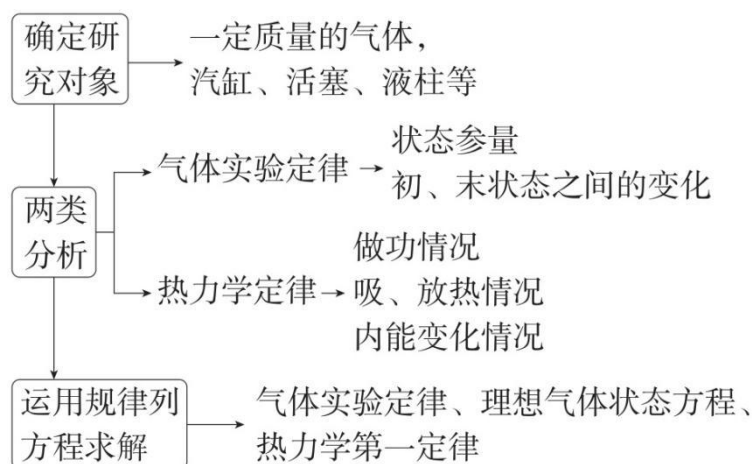
关键能力·核心突破

题型一 热力学定律与气体实验定律的综合应用

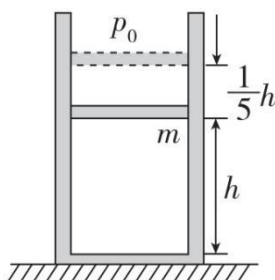
1.气体的做功情况、内能变化及吸放热关系分析

- (1) 由体积变化分析气体做功的情况：体积膨胀，气体对外做功；气体被压缩，外界对气体做功。
- (2) 由温度变化判断气体内能变化：温度升高，气体内能增大；温度降低，气体内能减小。
- (3) 由热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 判断气体是吸热还是放热。

2. 求解热力学定律与气体实验定律的综合问题的一般思路



例 1 [2024 · 湖北卷 · 13, 10 分] 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 为已知常数，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。

【答案】 (1) $\frac{6}{5}T_0$

(2) $\frac{1}{5}(CT_0 + p_0Sh + mgh)$

【解析】

(1) 气体发生等压变化, 则由盖—吕萨克定律得 $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$, 即 $\frac{hS}{T_0} = \frac{\frac{6}{5}hS}{T_1}$ 解得 $T_1 = \frac{6}{5}T_0$

(2) 此过程中气体内能变化量 $\Delta U = C\Delta T = \frac{1}{5}CT_0$ 气体对外做功大小为 $W = pS\Delta h = \frac{1}{5}h(p_0S + mg)$ 由热力学第一定律可得, 此过程中容器内气体吸收的热量 $Q = \Delta U + W = \frac{1}{5}(CT_0 + p_0Sh + mgh)$

迁移应用 1. [2024 · 北京卷 · 3, 3 分] 一个气泡从恒温水槽的底部缓慢上浮, 将气泡内的气体视为理想气体, 且气体分子个数不变, 外界大气压不变。在上浮过程中气泡内气体 ()

A. 内能变大 B. 压强变大 C. 体积不变 D. 从水中吸热

【答案】D

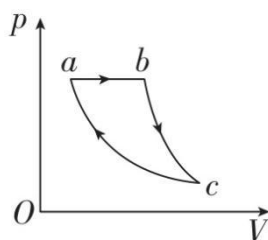
【解析】一定质量的某种理想气体的内能只与温度有关, 温度不变, 则气体的内能不变, A 错误。气泡上升, 水对气泡的压强减小 (气泡内气体压强变小), 气体膨胀对外做功, $W < 0$, $\Delta U = 0$, 根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$, 可得 $Q > 0$, 所以气体从水中吸热, B、C 错误, D 正确。

题型二 热力学定律与图像的综合应用

气体状态变化图像的分析

项目	物理意义
点	一定质量的理想气体的一个平衡状态
线	一定质量的理想气体状态变化的一个过程
斜率	$V-T$ 图像 (或 $p-T$ 图像) 中图线上的点与原点连线的斜率与压强 (或体积) 成反比
面积	$p-V$ 图线与 V 轴所围面积表示气体对外界或外界对气体所做的功

例 2 [2024 · 山东卷 · 6, 3 分] 一定质量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 ()

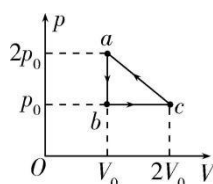


- A. $a \rightarrow b$ 过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功
- B. $b \rightarrow c$ 过程，气体对外做功，内能增加
- C. $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功
- D. $a \rightarrow b$ 过程，气体从外界吸收的热量等于 $c \rightarrow a$ 过程放出的热量

【答案】C

【解析】 $a \rightarrow b$ 过程，气体压强不变，体积增大，则温度升高，内能增加，根据热力学第一定律， $\Delta U = Q + W$ ，气体从外界吸收的热量大于对外界做的功，A 错误； $b \rightarrow c$ 过程，气体与外界无热量交换，气体体积增大，对外界做功，内能减少，B 错误； $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程，气体在状态 a 和状态 c 的温度相等，内能相等，则气体从外界吸收的热量全部用于对外做功，C 正确； $a \rightarrow b$ 过程，气体从外界吸收的热量等于 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程气体对外界做的功，可用 $a \rightarrow b \rightarrow c$ 过程图线与横轴围成的面积表示， $c \rightarrow a$ 过程放出的热量等于该过程外界对气体做的功，可用该过程图线与横轴围成的面积表示，第一个面积大于第二个面积，则 $a \rightarrow b$ 过程气体从外界吸收的热量大于 $c \rightarrow a$ 过程放出的热量，D 错误。

迁移应用 2. 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 ，再经过 $b \rightarrow c$ 过程到达状态 c ，然后经过 $c \rightarrow a$ 过程回到状态 a 。设气体在状态 a 、状态 b 和状态 c 的温度分别为 T_a 、 T_b 和 T_c ，下列说法正确的是 ()



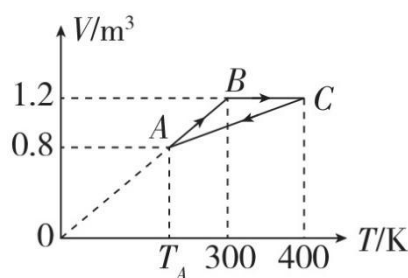
- A. $T_b > T_a$ ， $a \rightarrow b$ 过程放出热量
- B. $T_c > T_b$ ， $b \rightarrow c$ 过程放出热量
- C. $T_a = T_c$ ， $c \rightarrow a$ 过程吸收热量
- D. $T_a = T_c$ ，整个过程放出热量

【答案】D

【解析】从状态 a 到状态 b 是等容变化，由查理定律得 $\frac{2p_0}{T_a} = \frac{p_0}{T_b}$ ，解得 $T_a = 2T_b$ ， $a \rightarrow b$ 过程气体体积不变， $W_{ab} = 0$ ，温度降低，内能减少，即 $\Delta U < 0$ ，根据热

力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 可得, $Q < 0$, 即气体放出热量, 故 A 错误; 从状态 b 到状态 c 是等压变化, 由盖—吕萨克定律得 $\frac{2V_0}{T_c} = \frac{V_0}{T_b}$, 解得 $T_c = 2T_b$, $b \rightarrow c$ 过程气体体积变大, 对外做功, $W_{bc} < 0$, 温度升高, 内能增加, 即 $\Delta U > 0$, 根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$ 可得, $Q > 0$, 即气体吸收热量, 故 B 错误; 由上述分析可知 $T_a = T_c = 2T_b$, $c \rightarrow a$ 过程体积减小, 则 $W_{ca} > 0$, 内能不变, $\Delta U = 0$, 则气体放出热量, 故 C 错误; 经历整个过程中, 气体内能不变, 根据 $p - V$ 图线与横轴所围的面积表示功, 可知由 b 到 c 气体对外做的功小于由 c 到 a 外界对气体做的功, 由此可知整个过程外界对气体做的功 $W > 0$, 根据热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$, 可知整个过程放出热量, 故 D 正确。

迁移应用 3. [2024 · 海南琼海一模] 多选 一定质量的理想气体, 其内能与热力学温度成正比。该理想气体从状态 A 经一系列变化, 最终又回到状态 A , 其变化过程的 $V - T$ 图像如图所示, 其中 BA 的延长线过坐标原点, BC 与横轴平行, 气体在状态 A 时的内能为 U 。则下列说法中正确的是 ()



- A. 气体由状态 A 至状态 B 的过程中, 外界对气体做负功
- B. 气体由状态 B 至状态 C 的过程中, 气体对外界做正功
- C. 气体由状态 A 至状态 B 的过程中, 气体吸收的热量大于 $\frac{U}{2}$
- D. 气体由状态 C 至状态 A 的过程中, 气体释放的热量等于 U

【答案】AC

【解析】 气体由状态 A 至状态 B 为等压变化, 体积增大, 外界对气体做负功, A 正确; 气体由状态 B 至状态 C 为等容变化, 气体对外界不做功, B 错误; 由状态 A 至状态 B , 由 $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$, 解得 $T_A = 200\text{K}$, 由题意可知 $\frac{U_A}{T_A} = \frac{U_B}{T_B} = \frac{U_C}{T_C}$, 其中 $U_A = U$, 解得 $U_B = 1.5U$, $U_C = 2U$, 根据热力学第一定律可知, $U_B - U_A = 0.5U = W_{AB} + Q_{AB}$, 又 $W_{AB} < 0$, 则气体吸收的热量大于 $\frac{U}{2}$, C 正确; 由状态 C

至状态A, 根据热力学第一定律可知, $U_A - U_C = -U = W_{CA} + Q_{CA}$, 又 $W_{CA} > 0$, 则气体释放的热量大于U, D 错误。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 78

实验 17 用油膜法估测油酸分子的大小

必备知识·强基固本

一、实验目的

1. 估测油酸分子的大小。
2. 学会间接测量微观量的原理和方法。

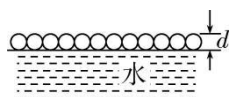
二、实验器材

清水、盛水浅盘、滴管（或注射器）、试剂瓶、带有坐标方格的玻璃板、痱子粉（或石膏粉）、油酸、酒精、___、彩笔。

【答案】量筒

三、实验原理

利用油酸酒精溶液在平静的水面上形成_____油膜, 如图所示, 将油酸分子看作球形, 测出一定体积的油酸酒精溶液在水面上形成的油膜面积, 用 $d = \frac{V}{S}$ 计算出油膜的厚度, 其中V为一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积, S为油膜面积, 这个厚度就近似等于油酸分子的直径。



【答案】单分子; $\frac{V}{S}$

四、实验步骤

1. 用稀酒精溶液及清水清洗浅盘, 充分洗去油污、粉尘, 以免给实验带来误差。
2. 取 1 毫升(1cm^3)的油酸溶于酒精中, 制成 500 毫升的油酸酒精溶液。
3. 用滴管（或注射器）向量筒中滴入n滴配制好的油酸酒精溶液, 使这些溶液的体积恰好为 1mL, 算出每滴油酸酒精溶液的体积 $V_0 = \frac{1}{n}\text{mL}$ 。

【答案】 $\frac{1}{n}$

4. 往边长约为 30~40cm 的浅盘中倒入约 2cm 深的水, 然后将痱子粉（或石膏粉）均匀地撒在水面上。
5. 用滴管（或注射器）向水面上滴入一滴配制好的油酸酒精溶液, 油酸就在水面上慢慢散开, 形成单分子油膜。

- 待油膜形状稳定后，将事先准备好的带有坐标方格的玻璃板放在浅盘上，用彩笔将油膜的形状画在玻璃板上。
- 根据画有油膜轮廓的玻璃板上的坐标方格，算出油膜的面积。
- 根据油酸酒精溶液的浓度，算出一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V ，根据 V 和油膜的面积 S ，算出油膜的厚度 $d = \frac{V}{S}$ ，即油酸分子的直径。若算出的分子直径的数量级不是 10^{-10}m ，需要重做实验。

五、误差分析

1. 纯油酸体积的计算误差。

2. 油膜面积的测量误差。

(1) 油膜形状的画线误差；

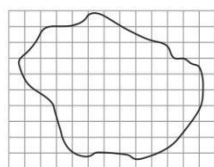
(2) 数格子法本身就是一种估算的方法，自然会带来误差。

六、注意事项

- 油酸酒精溶液配制后不宜长时间放置，以免浓度改变，产生误差。
- 痱子粉的用量不要太多，否则不易成功。
- 浅盘里水面离盘口的距离应较小，并且浅盘要水平放置，以便准确地画出油膜的形状，画线时视线应与板面垂直。
- 要待油膜形状稳定后，再画轮廓。
- 本实验只要求估算分子的大小，实验结果的数量级符合即可。
- 做完实验后，把水从盘的一侧边缘倒出，并用少量酒精清洗，然后用脱脂棉擦拭，最后用水冲洗，以保持盘的清洁。

关键能力·核心突破 探究点 教材原型实验

例 [2024·福建莆田模拟] 在“用油膜法估测分子大小”的实验中，所用的油酸酒精溶液的浓度为每 1000mL 溶液中有纯油酸 0.5mL，用注射器测得 1mL 上述溶液有 80 滴，把 1 滴该溶液滴入盛水的、撒有痱子粉的浅盘中，待油膜形状稳定后，得到油膜的轮廓形状如图所示，图中小正方形格的边长为 1cm。



(1) 本实验体现的物理思想方法为_____。

A. 控制变量法

B. 理想化模型法

C. 极限思想法

D. 整体法与隔离法

(2) 油酸分子的直径是_____m (结果保留 2 位有效数字)。

(3) 某次实验时, 该小组四个同学都发生了一个操作错误, 导致最后所测分子直径偏大的是_____。

A. 甲同学在计算注射器滴出的一滴油酸酒精溶液体积后, 不小心拿错了注射器, 取溶液滴在水面上, 这个拿错的注射器的针管比原来的粗

B. 乙同学用注射器测得 80 滴油酸酒精溶液为 1mL, 不小心错记录为 81 滴

C. 丙同学计算油膜面积时, 把凡是半格左右的油膜都算成了一格

D. 丁同学在配制油酸酒精溶液时, 不小心把酒精倒多了一点, 导致油酸酒精溶液的实际浓度比计算值小了

(4) 利用单分子油膜法可以粗测分子大小和阿伏加德罗常数。如果已知体积为 V 的一滴油在水面上散开形成的单分子油膜的面积为 S , 这种油的密度为 ρ , 摩尔质量为 M , 则阿伏加德罗常数的表达式为 $N_A =$ _____。

【答案】 (1) B

(2) 8.8×10^{-10}

(3) D

(4) $\frac{6MS^3}{\pi\rho V^3}$

【解析】

(1) 本实验中, 需要将在水面上形成的油膜看成单分子油膜, 并将油酸分子理想化为紧密排列的球体, 从而所计算的油膜的厚度即为油酸分子的直径, 因此, 本实验体现的物理思想方法为理想化模型法。

(2) 由题意可知一滴该油酸酒精溶液中纯油酸的体积 $V_0 = \frac{1}{80} \times \frac{0.5}{1000} \text{ mL} = 6.25 \times 10^{-12} \text{ m}^3$, 由题图可得油膜面积 $S = 71 \times 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 7.1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 则油酸分子的直径 $d = \frac{V_0}{S} = \frac{6.25 \times 10^{-12}}{7.1 \times 10^{-3}} \text{ m} \approx 8.8 \times 10^{-10} \text{ m}$ 。

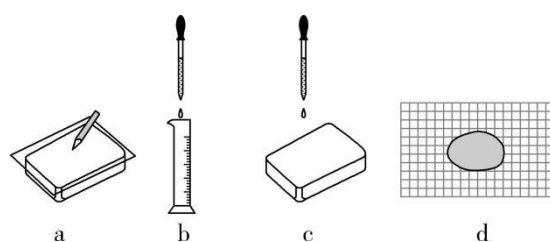
(3) 拿错的注射器的针管比原来的粗, 则滴出的一滴油酸酒精溶液的体积将偏大, 即所含纯油酸的体积偏大, 而计算过程中所用体积比实际小, 因此测量得到的油酸分子的直径将偏小, 故 A 错误; 乙同学用注射器测得 80 滴油酸酒精溶液为 1mL, 不小心错记录为 81 滴, 则所得一滴油酸酒精溶液的体积将偏小, 从而使油酸的体积偏小, 最终导致所测油酸分子直径偏小, 故 B 错误; 丙

同学计算油膜面积时，把凡是半格左右的油膜都算成了一格，则油膜面积偏大，从而导致所测油酸分子直径偏小，故 C 错误；丁同学在配制油酸酒精溶液时，不小心把酒精倒多了一点，导致油酸酒精溶液的实际浓度比计算值小了，则计算所用油酸的体积将偏大，从而导致所测油酸分子直径偏大，故 D 正确。

(4) 球状分子的体积 $V' = \frac{1}{6}\pi d^3$ ，而根据已知条件可得 $d = \frac{V}{S}$ ，分子的质量 $m' = \rho V'$ ，阿伏加德罗常数 $N_A = \frac{M}{m'} = \frac{6MS^3}{\pi\rho V^3}$ 。

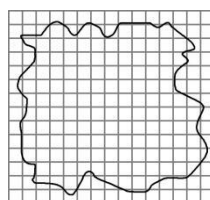
迁移应用.

(1) 如图甲反映“用油膜法估测分子大小”实验中的 4 个步骤，将它们按操作先后顺序排列应是_____（用符号表示）；



甲

(2) 在“用油膜法估测分子大小”的实验中，将油酸溶于酒精，其浓度为每 1000mL 溶液中有 0.6mL 油酸。用注射器测得 1mL 上述溶液有 75 滴，把 1 滴该溶液滴入盛水的浅盘里，待油膜形状稳定后，画出油膜的形状，如图乙所示，坐标纸中小正方形方格的边长为 1cm，试求：



乙

- ① 油膜的面积是___cm²；
- ② 每滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积是_____；
- ③ 按以上实验数据估测出油酸分子的直径是_____m。（结果保留 2 位有效数字）

【答案】 (1) bcad

(2) ① 136

② $8.0 \times 10^{-12}\text{m}^3$

③ 5.9×10^{-10}

【解析】

(1) “用油膜法估测分子大小”的实验步骤为：配制油酸酒精溶液→测定一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积→准备浅水盘→形成油膜→描绘油膜轮廓→测量油膜面积→计算分子直径。因此按操作先后顺序排列应是 bcad。

(2) ① 图中油膜轮廓内大约有 136 个小方格，则油膜的面积 $S = 136 \times 1\text{cm}^2 = 136\text{cm}^2$ ；

② 每滴油酸酒精溶液中含有纯油酸的体积 $V_0 = \frac{0.6}{1000} \times \frac{1 \times 10^{-6}}{75} \text{m}^3 = 8.0 \times 10^{-12} \text{m}^3$ ；

③ 油酸分子的直径 $d = \frac{V_0}{S} = \frac{8 \times 10^{-12}}{136 \times 10^{-4}} \text{m} \approx 5.9 \times 10^{-10} \text{m}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 79

实验 18 探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系

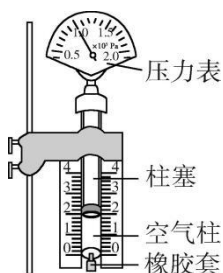
必备知识·强基固本

一、实验目的

探究一定质量的气体在温度不变的条件下的压强与体积的关系。

二、实验器材

铁架台、注射器、橡胶套、_____。



【答案】压力表

三、实验原理

在保证密闭注射器中气体的质量和___不变的条件下（控制变量法），通过改变密闭气体的体积，由压力表读出对应气体体积的压强值，研究在温度不变的情况下气体的压强和体积的关系。

【答案】温度

四、实验步骤

1. 实验前，在柱塞上均匀地抹上一层轻质润滑油，这样做的主要目的是减少摩擦力和防止注射器_____。

【答案】漏气

2.把仪器竖直固定在铁架台上。

3.先卸下注射器下端的橡胶套，移动活塞至一定位置（对应于刻度尺的一定刻度），再把橡胶套装上、拧紧，此时密封在注射器中的气体就是我们的实验研究对象。把体积、压强的初始值记录在表中。

4. 用手缓慢向上提或向下压柱塞，改变气体的___，并读出对应不同体积时气体的压强。取得几组数据，并将实验数据填入表中。

【答案】体积

5.完成实验，卸下仪器并放回原处。

6.作出 $p - V$ 图像以及 $p - \frac{1}{V}$ 图像，得出一定质量气体的压强与其体积的关系。

五、实验数据处理

1.实验数据的收集：空气柱的压强 p 可以从压力表上读出，空气柱的长度 l 可以通过刻度尺读出，空气柱的长度 l 与横截面积 S 的乘积就是它的体积 V 。用手把柱塞向下压或向上拉，读出空气柱的长度与压强的几组数据并进行记录。

2. 猜想：由实验观察及记录数据可知，空气柱的体积越小，其压强就___，即空气柱的压强与体积成___。

【答案】越大；反比

3. 检验：以压强 p 为纵坐标，以体积倒数 $\frac{1}{V}$ 为横坐标，把以上各组数据在坐标系中描点。观察各点的位置关系，若各点位于过原点的同一直线上，就说明压强跟体积的倒数成___，即 $p \propto \frac{1}{V}$ ，也就是压强 p 与体积 V 成反比。若各点不在同一直线上，再尝试其他关系。

【答案】正比

4.实验结论 一定质量的某种气体，在温度不变的情况下，压强 p 与体积 V 成反比，所以 $p - V$ 图线是双曲线的一支，但不同温度下的图线是不同的。

六、注意事项

1.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。

2.实验过程中，不要用手接触注射器的圆筒部分，以防止从手吸收热量，引起内部气体温度变化。

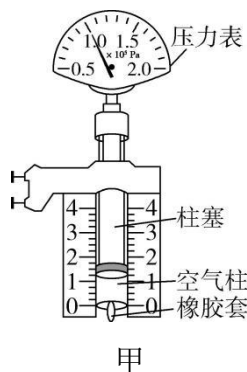
3.实验中应保持气体的质量不变，故实验前应在柱塞上涂好润滑油，以免漏气。

4.本实验中，由于气体体积与气柱长度成正比，因此研究气体体积与压强的关系时，不用测量空气柱的横截面积。

关键能力·核心突破

探究点一 教材原型实验

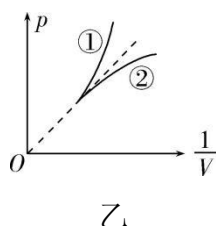
例 1 用图甲所示实验装置探究气体等温变化的规律。



(1) 关于该实验，下列说法正确的是。

- A. 为保证封闭气体的质量不变，应在柱塞与注射器壁间涂上润滑油
- B. 应快速推拉柱塞
- C. 为方便推拉柱塞，应用手握住注射器再推拉柱塞
- D. 注射器旁的刻度尺只要刻度分布均匀即可，可以不标注单位

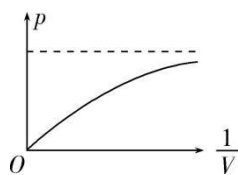
(2) 测得多组空气柱的压强 p 和体积 V 的数据后，为直观反映压强与体积之间的关系，以 p 为纵坐标、以 $\frac{1}{V}$ 为横坐标在坐标系中描点作图。小明所在的小组压缩气体时漏气，则用上述方法作出的图线应为图乙中的_____（选填“①”或“②”）。



(3) 某同学将注射器柱塞移动到体积适中的位置时，接上软管和压强传感器，通过 DIS 系统记录下此时的体积 V_0 与压强 p_0 ，然后记录多组数据，作 $p - \frac{1}{V}$ 图像。在软管内气体的体积 ΔV 不可忽略时， $p - \frac{1}{V}$ 图像如图丙所示。试用玻意耳

定律分析，该曲线的渐近线（图丙中的虚线）方程是 $p = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

（用 V_0 、 p_0 、 ΔV 表示）



丙

（4）实验中若使用压强传感器采集数据，则柱塞与注射器壁间的摩擦对实验结果（选填“有”或“无”）影响。

【答案】（1）AD

（2）②

（3） $\frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} p_0$

（4）无

【解析】

（1）在柱塞与注射器壁间涂上润滑油，可以防止漏气，故 A 正确；若快速推拉柱塞容易使得气体温度发生变化，故 B 错误；实验中若用手握住注射器，容易引起气体温度变化，故 C 错误；空气柱的横截面积 S 不变，注射器旁的刻度尺只要刻度分布均匀即可，可以不标注单位，故 D 正确。

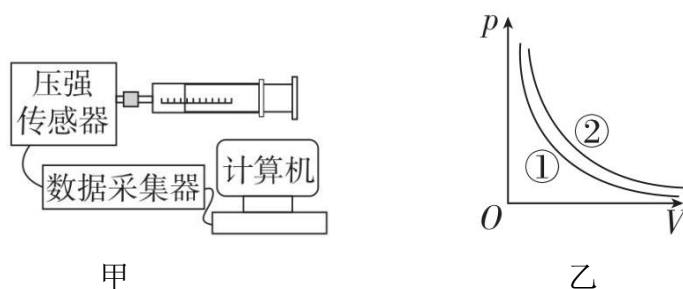
（2）根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ 可知 $p = CT \cdot \frac{1}{V}$ ，则 $p - \frac{1}{V}$ 图线应是一条过原点的倾斜直线，如果压缩气体时漏气，则图像的斜率减小，即应为图乙中的②。

（3）在软管内的气体体积 ΔV 不可忽略时，被封闭气体的初状态的体积为 $V_0 + \Delta V$ ，压强为 p_0 ，末状态的体积为 $V + \Delta V$ ，压强为 p ，由玻意耳定律有 $p_0(V_0 + \Delta V) = p(V + \Delta V)$ ，解得 $p = \frac{V_0 + \Delta V}{V + \Delta V} p_0$ ，当式中的 V 趋于零时，有 $p = \frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} \cdot p_0$ ，即该曲线的渐近线（图丙中的虚线）方程是 $p = \frac{V_0 + \Delta V}{\Delta V} \cdot p_0$ 。

（4）实验中若使用压强传感器采集数据，柱塞与注射器壁间的摩擦对实验结果无任何影响。

迁移应用．[2024·陕西榆林模拟]两名同学用 DIS 系统研究“温度不变时气体的压强跟体积的关系”，实验示意图如图甲所示，缓慢推动活塞，在使注射器内空气体积逐渐减小的过程中，多次从注射器的刻度上读出体积值并输入计算

机，同时由压强传感器将对应体积的压强值通过数据采集器传送给计算机。实验完成后，在计算机屏幕上显示出如图乙所示的①②两条 $p-V$ 图线。



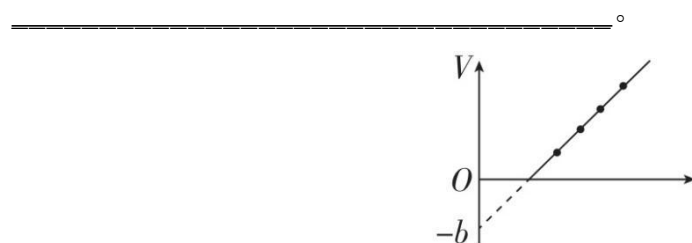
(1) 两图线经检验均符合反比关系，导致①②两组数据差异的原因可能是。

- A. 两组实验环境温度不同
- B. 两组实验封闭气体的质量不同
- C. 某组器材的气密性不佳
- D. 某组实验中活塞移动太快

(2) 在实验操作过程中，要采取以下做法是为了保证实验的恒温条件。

- A. 移动活塞要缓慢
- B. 实验时，不要用手握注射器
- C. 在注射器活塞一周涂润滑油

(3) 为验证气体的压强 p 与体积 V 成反比关系，还可将图线转化为 V -_____ (选填“ p ”或“ $\frac{1}{p}$ ”)图线而得到如图丙所示的一条直线；图线不过坐标原点，则截距中的 b 代表的是



丙

【答案】 (1) AB

(2) AB

(3) $\frac{1}{p}$; 注射器与压强传感器连接处的气体体积

【解析】

(1) 根据理想气体状态方程 $\frac{pV}{T} = C$ ，整理可得 $pV = CT$ ，由图线可知对于同一 V 值所对应的 p 值不同，故两组实验注射器内气体的 p 与 V 的乘积不相等。当气体

质量一定时，若两组实验环境温度 T 不同， p 、 V 乘积不相等；常数 C 与气体的质量有关，当两组实验封闭气体的质量不同时， p 、 V 乘积不相等。器材的气密性不佳，实验过程中气体质量改变；活塞移动太快，封闭气体内能改变，温度改变；这两种情况，图线不符合反比关系。故 A、B 正确，C、D 错误。

(2) 本实验需要研究的问题是“一定质量气体在温度不变时，压强与体积的关系”，实验中为保证气体的质量不变，在注射器活塞一周涂润滑油，防止漏气，即保证封闭气体的容器密封良好，故 C 错误；为保证气体的温度不变，实验时，移动活塞一定要缓慢，同时不要用手握注射器，故 A、B 正确。

(3) 根据玻意耳定律 $pV = C$ ，整理可得 $V = C\frac{1}{p}$ ，则 $V - \frac{1}{p}$ 图线为一条直线；根据实验数据画出的 $V - \frac{1}{p}$ 图线不过坐标原点，该图线的方程为 $V = k\frac{1}{p} - b$ ，说明注射器中的气体的体积小于实际的封闭气体的体积，结合实验的器材可知，截距中的 b 代表注射器与压强传感器连接部位的气体体积。

探究点二 创新拓展实验

例 2 某同学通过图甲所示的实验装置，利用玻意耳定律来测定一颗形状不规则的石块的体积。



甲

实验步骤：

- ①将石块装进注射器，插入活塞，再将注射器通过软管与传感器A连接；
- ②移动活塞，通过活塞所在的刻度读取了多组体积 V ，同时记录对应的传感器数据；
- ③建立直角坐标系。

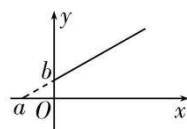
(1) 在实验操作中，下列说法正确的是。

- A. 图甲中，传感器A为压强传感器
- B. 在步骤①中，将注射器与传感器A连接前，应把注射器活塞移至注射器最右端位置
- C. 操作中，不可用手握住注射器封闭气体部分，是为了保持封闭气体的温度不变

D. 若实验过程中不慎将活塞拔出，应立即将活塞插回去继续实验

(2) 为了在坐标系中获得直线图像，若取 y 轴为 V ，则 x 轴为_____（选填“ $\frac{1}{p}$ ”或“ p ”）。

(3) 选择合适的坐标后，该同学通过描点作图，得到的图像如图乙所示，若不考虑传感器A和注射器连接处的软管容积带来的误差，则石块的体积为_____；若考虑该误差影响，测得软管容积为 V_0 ，则石块的体积为_____。



乙

【答案】 (1) AC

(2) $\frac{1}{p}$

(3) b ; $b + V_0$

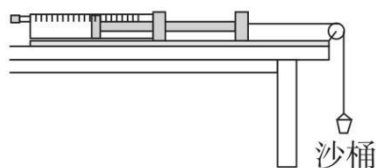
【解析】

(1) 实验需要测量气体的压强，因此图甲中传感器A为压强传感器，故 A 正确；在步骤①中，将注射器与传感器A连接前，应使注射器封住一定量的气体，故 B 错误；C 叙述正确；实验过程要控制气体的质量不变，若实验过程中不慎将活塞拔出，则必须重做实验，故 D 错误。

(2) 由玻意耳定律 $pV = C$ 可知 $V = C\frac{1}{p}$ ， V 与 $\frac{1}{p}$ 成正比，为得到直线图像，若取 y 轴为 V ，则 x 轴为 $\frac{1}{p}$ 。

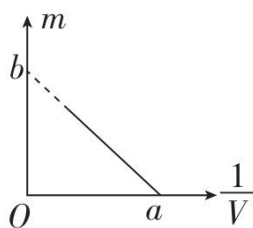
(3) 若不考虑传感器A和注射器连接处的软管容积带来的误差，气体总体积 $V_{\text{气}} = V - V_{\text{石块}}$ ，由玻意耳定律得 $pV_{\text{气}} = C$ ，则 $V_{\text{气}} = C\frac{1}{p} = V - V_{\text{石块}}$ ， $V = C\frac{1}{p} + V_{\text{石块}}$ ，当 $\frac{1}{p} = 0$ 时， $V = V_{\text{石块}} = b$ ；若考虑该误差影响，测得软管容积为 V_0 ，同理可得 $V = C\frac{1}{p} - V_0 + V_{\text{石块}}$ ，当 $\frac{1}{p} = 0$ 时， $V = V_{\text{石块}} - V_0 = b$ ，则石块的体积 $V_{\text{石块}} = b + V_0$ 。

例 3 [2024 · 广东佛山二模] 在“探究气体压强与体积关系”实验中，某兴趣小组设计了如图甲所示的实验装置。已知重力加速度为 g ，注射器气密性和导热性良好且外界环境温度保持不变，不计一切摩擦。



甲

- (1) 用刻度尺测得注射器刻度上 40mL 到 50mL 的长度为 1cm，注射器活塞的横截面积为 $S = \text{cm}^2$ ；
- (2) 取下沙桶，向右拉动活塞一段距离后，用橡胶套堵住注射孔，此时的气体压强为大气压 p_0 ；
- (3) 挂上沙桶，稳定后，测出此时的气体体积 V 和沙桶的总质量 m ，则气体压强的表达式为 $p_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ ；（请选用 p_0 、 g 、 S 、 m 表示）
- (4) 在沙桶内适量添加沙子，重复步骤（3）；
- (5) 以沙桶的总质量 m 为纵轴，以 $\frac{1}{V}$ 为横轴，绘制 $m - \frac{1}{V}$ 图像，其图像如图乙所示，图中横轴截距为 a ，纵轴截距为 b ，可得未悬挂沙桶时注射器内气体的体积 $V_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ ，实验时当地的大气压强 $p_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（请选用 a 、 b 、 g 、 S 表示）



乙

【答案】 (1) 10

(3) $p_0 - \frac{mg}{S}$

(5) $\frac{1}{a}$; $\frac{bg}{S}$

【解析】

(1) 注射器活塞的横截面积 $S = \frac{V}{L} = \frac{50-40}{1} \text{cm}^2 = 10 \text{cm}^2$ 。

(3) 根据受力平衡可得 $p_0 S = p_2 S + mg$ 解得气体压强的表达式为

$$p_2 = p_0 - \frac{mg}{S}。$$

(5) 根据玻意耳定律可得 $p_0 V_0 = p_2 V = (p_0 - \frac{mg}{S})V$ 整理可得 $m = -\frac{p_0 S V_0}{g} \cdot \frac{1}{V} + \frac{p_0 S}{g}$ 结合 $m - \frac{1}{V}$ 图像可得 $\frac{p_0 S V_0}{g} = \frac{b}{a}$, $\frac{p_0 S}{g} = b$ 解得 $V_0 = \frac{1}{a}$, $p_0 = \frac{bg}{S}$ 。

温馨提示 请完成《分层突破训练》课时作业 80