

作用,不是分子间的引力作用,故 **C 错误**. 当分子间距离小于平衡距离时,分子力表现为斥力,距离增大,分子力减小;当分子间距离大于平衡距离时,分子力表现为引力,在一定范围内距离增大,分子力增大,超过该范围,距离增大,分子力减小,所以当分子间距离增大时,分子力不一定随之增大,故 **D 正确**.

### 刷易错

#### ★易错点 混淆分子间作用力与速度变化间的关系

- 11. A** 【解析】由题意,  $F < 0$  时两分子之间表现为引力,乙分子从  $a$  到  $c$  的过程中,乙分子一直受引力的作用,引力与运动方向相同,分子间的作用力对乙一直做正功,则乙分子一直加速,到  $c$  点时速度最大,动量最大,故 **A 正确**, **B、C、D 错误**.

**易错分析** 本题需注意的是乙分子从  $a$  到  $c$  过程中力的变化并不代表速度的变化,力变小并不等于速度变小. 本题需明确受力情况,且需根据加速和减速运动的条件以及做功的定义,确定乙分子的运动情况和分子力对乙做功正负的情况.

## 第三节 气体分子运动的统计规律

### 刷基础

- 1. D** 【解析】分子永不停息地做无规则运动,与静置时间长短无关,故 **A 错误**;分子做无规则运动,速率有大有小,各个分子的动能也有大有小,而且在不断改变,故 **B、C 错误**;由于容器密闭,所以气体体积不变,则分子的密集程度保持不变,故 **D 正确**.
- 2. C** 【解析】随着温度的升高,氧气分子中速率大的分子所占的比例增大, **A 错误**;温度升高使得氧气分子的平均速率增大,不是每一个氧气分子的速率都增大, **B 错误**;同一温度下,中等速率的氧气分子数所占的比例较大,即氧气分子呈现“中间多、两头少”的分布规律, **C 正确**;温度升高后,氧气分子的平均速率变大, **D 错误**.

**关键点拨** 解答气体分子运动特点的问题时,关键是认识到单个或少量分子的运动是“个别行为”,具有不确定性. 气体分子的运动特点是对大量分子而言的,大量分子的运动是“集体行为”,遵循“中间多、两头少”的规律.

- 3. B** 【解析】温度越高,分子热运动越剧烈,速率大的分子所

占的比例越大,由题图可知,曲线 2 速率大的分子所占的比例比曲线 1 速率大的分子所占的比例大,故  $T_2 > T_1$ , **A 错误**;曲线 1 和曲线 2 有一个交点,交点对应的速率区间的分子数占比相同, **B 正确**;气体分子速率分布规律曲线与横轴围成的面积均为 1,即曲线 1、曲线 2 以及将  $T_1$ 、 $T_2$  温度下的氧气混合后对应的曲线与横轴围成的面积都为 1, **C 错误**;将  $T_1$ 、 $T_2$  温度下的氧气混合后,混合气体的温度介于  $T_1$  和  $T_2$  之间,曲线的峰应介于曲线 1 和 2 之间,不可能为题图中的虚线, **D 错误**.

**关键点拨** 气体分子速率分布规律曲线的特点:(1)温度越高,速率大的分子所占比例越大;(2)中间多,两头少;(3)曲线与横轴围成的面积为 1;(4)高温气体分子曲线的峰对应的速率值大,百分比低.

- 4. C** 【解析】相同温度下的气体,其分子平均动能相等,故 **A 错误**;由题图可知,Ⅲ气体的分子平均速率最大,由于分子平均动能相等,所以Ⅲ气体分子的质量最小,故 **B 错误**, **C 正确**;曲线与  $v$  轴围成的面积表示各个速率区间内的分子数百分率之和,其和等于 100%,所以三条曲线与  $v$  轴围成的面积相等,故 **D 错误**.
- 5. C** 【解析】题图中曲线给出了任意速率区间的氧气分子数占总分子数的比例,但无法确定任意速率区间分子具体数目, **A 错误**;任意温度下分子速率分布呈现“中间多、两头少”的特点,速率越大的分子占比越小, **B 错误**;题图中实线分子速率较大的分子数占总分子数的百分比较大,分子平均动能较大,则实线对应氧气分子在  $100\text{ }^\circ\text{C}$  时的情形, **C 正确**;由题图可知,  $0 \sim 400\text{ m/s}$  区间内,  $100\text{ }^\circ\text{C}$  对应的分子数占的比例小于  $0\text{ }^\circ\text{C}$  对应的分子数占的比例,因此  $100\text{ }^\circ\text{C}$  时氧气分子速率出现在  $0 \sim 400\text{ m/s}$  区间内的分子数占总分子数的百分比较小, **D 错误**.

**关键点拨** 分子运动速率分布规律:在一定温度下,不管个别分子怎样运动,多数气体分子的速率都在某个数值附近,表现出“中间多、两头少”的分布规律. 当温度升高时,“中间多、两头少”的分布规律不变,气体分子的平均速率增大,分布曲线的峰向速率大的一方移动.

## 第二章 气体、液体和固体

### 第一节 气体实验定律(I)

### 刷基础

- 1. C** 【解析】对 B 气体分析可知  $p_B = p_0 + \rho gh_2 = (75 + 10)\text{ cmHg} = 85\text{ cmHg}$ , 对 A 气体分析可知  $p_A = p_B - \rho gh_1 = (85 - 5)\text{ cmHg} =$

$80\text{ cmHg}$ , **C 正确**.

**关键点拨** 在液体不流动时,连通的同一种液体(中间液体不间断且液体不流动时)的同一水平面的压强是相等的.

2. B 【解析】以 A 管中的水银柱为研究对象有  $pS + \rho ghS \cos \theta =$

$p_0S$ , 解得管内封闭气体的压强  $p = p_0 - \rho gh \cos \theta$ , 则管内封闭

易错点: 管内外气体的压强差为  $\rho gh \cos \theta$ , 高度差沿竖直方向

气体的压强比大气压强小  $h \cos \theta$  高的水银柱产生的压强, 且

B 管内水银面要比槽内水银面高出  $h \cos \theta$ , 故 B 正确, A、C、D

错误.

3. (1) D (2) 细软管内的气体体积 封闭气体的质量不同

(3) D

【解析】(1) 为了确保气体温度不变, 实验时应缓慢推拉柱塞, 待示数稳定后读取数据, 故 A 错误; 由于注射器是圆柱形的, 横截面积不变, 所以只需测出空气柱的长度即可, 故 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, 故 C 错误; 当  $p$  与  $V$  成反比时,  $p - \frac{1}{V}$  图像是一条

过原点的直线, 而  $p - V$  图像是双曲线, 则  $p - \frac{1}{V}$  图像比  $p - V$  图像更直观, 故 D 正确.

(2) 根据  $p(V + V_0) = c$ , 可得  $V = \frac{c}{p} - V_0$ , 可知题图乙中  $V_0$  的物理含义是细软管内的气体体积. 图像的斜率为  $c$ , 环境温度相同, 图线  $a$  斜率大于图线  $b$  斜率的可能原因是两组实验气体质量不同.

(3) 测量时, 注射器与压强传感器连接部分气体的体积  $V_0$  未计入, 纵轴存在截距  $-V_0$ ; 软管脱落后, 气体向外漏出, 重新接上后继续实验,  $p$  的测量值偏小, 相应的横坐标  $\frac{1}{p}$  偏大, 但左侧的延长线与纵轴的交点的纵坐标仍为  $-V_0$ , 故前后两条线相交在此处. 故选 D.

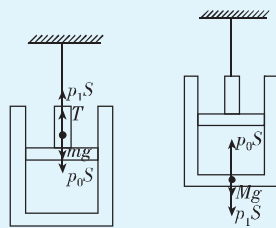
4. BD

思路导引 解答本题的关键点: (1) 由题图 1 到题图 2, 封闭气体等温膨胀, 压强减小, 由玻意耳定律和几何关系求得  $x$ ; (2) 题图 3 中玻璃管内气体压强  $p_3 = p_0$ .

【解析】玻璃管水平放置时  $p_1 = p_0$ ,  $V_1 = (85 - 15 - 5) \text{ cm} \cdot S$ , 开口竖直向下时  $p_2 = p_0 - \rho gx$ ,  $V_2 = (85 - x) \text{ cm} \cdot S$ , 根据玻意耳定律得  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ , 解得  $x = 10 \text{ cm}$ , A 错误, B 正确; 竖直插入水银槽时  $p_3 = p_0$ ,  $V_3 = (85 - x - y) \text{ cm} \cdot S$ , 根据玻意耳定律得  $p_1 V_1 = p_3 V_3$ , 解得  $y = 10 \text{ cm}$ , C 错误, D 正确.

5. D

思路导引 解答本题的关键是正确选取研究对象. 以活塞和气缸分别为研究对象, 各自受力平衡, 受力分析如图所示. 以封闭气体为研究对象, 由  $pV = c$ , 可判断气体体积的变化.



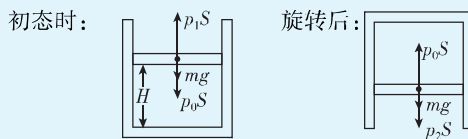
【解析】设缸内气体压强为  $p_1$ , 大气压强为  $p_0$ , 活塞横截面积为  $S$ , 质量为  $m$ , 气缸质量为  $M$ , 细线所受的拉力大小为  $T$ , 对活塞, 根据平衡条件有  $mg + p_0S = T + p_1S$ , 对气缸, 根据平衡条件有  $p_1S + Mg = p_0S$ , 联立解得  $T = (M + m)g$ , 由牛顿第三定律

突破点: 也可对气缸和活塞整体受力分析判断细线拉力变化情况

可知细线所受的拉力大小为  $(M + m)g$  与大气压强无关, 所以细线所受的拉力不变, 故 A、B 错误; 当  $p_0$  增大时, 对气缸根据平衡条件有  $p_1S + Mg = p_0S$ , 可知  $p_1$  增大, 由于缸内气体温度不变, 根据玻意耳定律  $p_1 V_1 = c$ , 可知缸内气体的体积将减小, 故 C 错误, D 正确.

6. (1)  $\frac{2mg}{S}$  (2)  $\frac{2(p_0S + mg)}{2p_0S - 3mg} H$

思路导引 第(1)问中气缸旋转前后两个状态下对活塞受力分析如图所示.



【解析】(1) 初态时对活塞受力分析有  $p_1S = p_0S + mg$ , 气缸旋转  $180^\circ$  后, 对活塞受力分析有  $p_2S + mg = p_0S$ , 这个过程中封闭气体压强变化的大小  $\Delta p = p_1 - p_2$ , 解得  $\Delta p = \frac{2mg}{S}$ .

(2) 气缸旋转后, 电梯以  $\frac{1}{2}g$  的加速度向上做加速运动, 设此时气缸内气体的压强为  $p_3$ , 对活塞受力分析有  $p_0S - mg - p_3S = m \frac{g}{2}$ , 这个过程中封闭气体做等温变化, 由玻意耳定律有

$HSp_1 = hSp_3$ , 解得  $h = \frac{2(p_0S + mg)}{2p_0S - 3mg} H$ .

7. C 【解析】根据玻意耳定律  $pV = c$ , 可得  $p = c \cdot \frac{1}{V}$ , 一定质量的理想气体发生等温变化, 可知压强  $p$  与体积  $V$  成反比, 即

压强  $p$  与体积的倒数  $\frac{1}{V}$  成正比,故  $p-\frac{1}{V}$  图像为过原点的直线,由分子动理论可知,在体积一定时,温度越高,压强越大,由于  $T_1 > T_2$ ,故选 C.

**刷易错**

★易错点 只考虑液体压强而忽略大气压强

8. C 【解析】设气泡初、末态的体积分别为  $V_1$ 、 $V_2$ ,初态时气泡的压强  $p_1 = p_0 + \rho gh_1 = 3 \times 10^5$  Pa,在 10 m 深处时气泡的压强  $p_2 = p_0 + \rho gh_2 = 2 \times 10^5$  Pa,根据玻意耳定律得  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ,解得  $V_2 = 1.5 V_1$ ,即气泡的体积变为原来的 1.5 倍,故 C 正确.

**易错分析** 求液体中密封气体压强,不能只考虑气体上方液体产生的压强,还要考虑液体上方大气压强,若未考虑大气压强,就会误选 B.

**刷提升**

1. B 【解析】释放前,对水银柱有  $p_0 S + mg = p_1 S$ ,可知  $p_1 > p_0$ , A 错误;释放瞬间,被封闭气体的压强来不及变化,对玻璃管,

关键点: 利用牛顿第二定律的瞬时性

由牛顿第二定律可得  $p_1 S + mg - p_0 S = ma$ ,可得玻璃管的加速度大小  $a = 2g$ , B 正确;释放后,水银柱的加速度小于玻璃管的加速度,水银柱相对玻璃管向上运动,封闭气体体积增大,压强减小,当封闭气体压强与大气压强相等时,水银柱下降的速度比玻璃管的速度小,故封闭气体的体积继续增大,压强继续减小,水银柱的加速度增大,玻璃管的加速度减小,直到二者的速度相等,然后又压缩气体,封闭气体压强增大,二者的加速度继续改变,水银柱与玻璃管之间一直有相对运动,故 C、D 错误.

2. BCD 【解析】设玻璃管的横截面积为  $S$ ,初状态  $p_1 = (75 + 20)$  cmHg = 95 cmHg,  $V_1 = 20$  cm  $\cdot$   $S$ ,当玻璃管上滑时,对水银柱和玻璃管整体有  $(M+m)g \sin 37^\circ + \mu(M+m)g \cos 37^\circ = (M+m)a_1$ ,解得加速度大小  $a_1 = 10$  m/s<sup>2</sup>,选水银柱为研究对象,由牛顿第二定律有  $p_0 S + mg \sin 37^\circ - p_2 S = ma_1$ ,又  $\rho gh = 20$  cmHg,  $m = \rho Sh$ ,解得  $p_2 = 67$  cmHg, A 错误;由玻意耳定律有  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ,其中  $V_2 = L_2 S$ ,代入数据解得  $L_2 \approx 28.4$  cm, B 正确;当玻璃管下滑时,对水银柱和玻璃管整体有  $(M+m)g \sin 37^\circ - \mu(M+m)g \cos 37^\circ = (M+m)a_2$ ,解得加速度大小  $a_2 = 2$  m/s<sup>2</sup>,选水银柱为研究对象,由牛顿第二定律有  $p_0 S + mg \sin 37^\circ - p_3 S = ma_2$ ,代入数据解得  $p_3 = 83$  cmHg, C 正确;由玻意耳定律有  $p_1 V_1 = p_3 V_3$ ,其中  $V_3 = L_3 S$ ,代入数据解得  $L_3 \approx 22.9$  cm, D 正确.

3. (1)  $\frac{9mg}{S}$  (2)  $\frac{Sl_0}{10}$

【解析】(1)待活塞重新稳定后,对活塞受力分析,有

$$p_0 S + mg = p_1 S,$$

$$\text{解得 } p_1 = p_0 + \frac{mg}{S} = \frac{9mg}{S}.$$

(2)设气缸内放置的化学药品体积为  $V$ ,有  $V_0 = Sl_0 - V$ ,  $V_1 =$

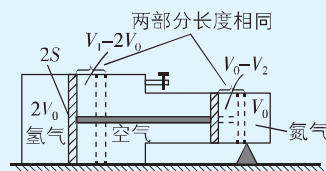
关键点: 算出气体的体积,用玻意耳定律求解

$\frac{9}{10}Sl_0 - V$ ,气体做等温变化,由玻意耳定律有  $p_0 V_0 = p_1 V_1$ ,

$$\text{解得化学药品的体积 } V = \frac{Sl_0}{10}.$$

$$4. (1) \frac{1}{2}(p_0 + p) \quad (2) \frac{1}{2}p_0 + \frac{1}{4}p \quad \frac{4(p_0 + p)V_0}{2p_0 + p}$$

**思路导引** 两活塞用刚性杆连接,抽气后,氢气长度的变化和氮气长度的变化大小相同,如图所示.



【解析】(1)设抽气前氢气的压强为  $p_{10}$ ,根据平衡条件得

$$p_{10} \cdot 2S = p \cdot 2S + T, p_0 S = pS + T,$$

其中  $T$  为刚性杆的弹力,

$$\text{解得 } p_{10} = \frac{1}{2}(p_0 + p).$$

(2)设抽气后氢气的压强和体积分别为  $p_1$  和  $V_1$ ,氮气的压强

和体积分别为  $p_2$  和  $V_2$ ,根据平衡条件有  $p_2 \cdot S = p_1 \cdot 2S$ ,

由玻意耳定律得  $p_1 V_1 = p_{10} \cdot 2V_0$ ,  $p_2 V_2 = p_0 V_0$ ,

由于两活塞用刚性杆连接,故  $V_1 - 2V_0 = 2(V_0 - V_2)$ ,

$$\text{联立解得 } p_1 = \frac{1}{2}p_0 + \frac{1}{4}p, V_1 = \frac{4(p_0 + p)V_0}{2p_0 + p}.$$

## 第二节 气体实验定律(II)

### 课时1 气体的等容变化

**刷基础**

1. A 【解析】设大气压强为  $p_0$ ,对题图中活塞受力分析,有  $\frac{mg}{S} +$

$p_0 = p_{\text{甲}}, p_{\text{乙}} = p_0$ ,则  $p_{\text{甲}} > p_{\text{乙}}$ ,由题意知质量相等的同种理想气

体甲、乙的体积相等,根据  $\frac{p_{\text{甲}}}{T_{\text{甲}}} = \frac{p_{\text{乙}}}{T_{\text{乙}}}$ ,可知  $T_{\text{甲}} > T_{\text{乙}}$ ,故 A 正确.

2. C 【解析】初始时,空气温度为  $T_0 = 273$  K +  $t_0 = (273 + 27)$  K = 300 K,容器内气体压强为  $p_0$ ,当容器浸入温度为  $t_1$  的热水中并最终恢复左管中水银面至原高度时,容器内气体压强比大气压高  $\rho gh$ ,故  $p_1 = p_0 + \rho gh$ ,气体做等容变化,根据查理定律得  $\frac{p_1}{p_0} = \frac{T_1}{T_0}$ ,代入数据解得  $T_1 = 360$  K,则  $t_1 = (T_1 -$

273) °C = 87 °C, 则热水的温度约为 87 °C, 故选 C.

**教材变式** 本题目由教材 P25 观察与思考演变而来. 教材考查了瓶内气体体积不变时, 气体压强和温度变化的关系, 本题考查了气体温度的计算.

- 3. A** 【解析】A 项: 假设升温后水银柱不动, 由查理定律得  $\Delta p = \frac{p\Delta T}{T}$ , 由于两侧气体初态温度  $T$  相同,  $\Delta T$  相同, 故初态压强大的  $\Delta p$  大, 即水银柱向着初态压强小的方向移动, 由题图可知  $a$  侧气体压强小于  $b$  侧气体压强, 故水银柱一定向  $a$  侧移动, 故 **A 正确**; B 项: 假设升温后水银柱不动, 由查理定律得  $\Delta p = \frac{p\Delta T}{T}$ ,  $\Delta T$  相同, 由于  $a$  侧气体初态温度低,  $a$  侧气体压强小, 故无法判断升高相同温度时  $a$ 、 $b$  两侧气体的  $\Delta p$  大小, 故无法判断水银柱移动方向, 故 **B 错误**; C、D 项: 假设升温后水银柱不动, 由查理定律得  $\Delta p = \frac{p\Delta T}{T}$ , 而 C、D 中两玻璃管  $a$ 、 $b$  两侧的初始  $p$  均相同,  $\Delta T$  相同, 所以初态温度高的  $\Delta p$  小, 故水银柱向着初态温度高的方向移动, 即 C 中水银柱一定向  $b$  侧移动, D 中水银柱不移动, 故 **C、D 错误**.

**4. (1) 越偏下 (2) 均匀, 见解析 (3) 低于 17 °C, 见解析**

【解析】(1) 玻璃泡中的气体压强与大气压  $p_0$  的关系为  $p = p_0 - \rho gh$ , 该过程为等容过程, 温度越高, 压强  $p$  越大, 所以玻璃管中水柱距离水槽液面的高度  $h$  越小, 玻璃管上标定的位置越偏下.

(2) 设初始温度为  $T_0$ , 玻璃管中水柱距离水槽液面的高度为  $x_0$ , 温度变化过程玻璃泡中气体发生等容变化, 则有

$$\frac{p_0 - \rho g x_0}{T_0} = \frac{p_0 - \rho g x}{T},$$

$$\text{可得 } T = \frac{p_0 - \rho g x}{p_0 - \rho g x_0} T_0, T = (t + 273) \text{ K},$$

$$\text{解得 } t = \left( \frac{p_0 - \rho g x}{p_0 - \rho g x_0} T_0 - 273 \right) ^\circ \text{C},$$

$t$  与  $x$  为一次函数关系, 所以玻璃管上标定的刻度是均匀的.

(3) 由题意可知,  $x = x_0 + \Delta h$ ,

$$T = \frac{p_0 - \rho g x}{p_0 - \rho g x_0} T_0 = \frac{p_0 - \rho g x_0 - \rho g \Delta h}{p_0 - \rho g x_0} T_0 = \left( 1 - \frac{\rho g \Delta h}{p_0 - \rho g x_0} \right) T_0,$$

因为  $p_0$  减小, 所以  $T$  减小, 即实际温度低于 17 °C.

**一题多解**

气体做等容变化时,  $\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T} = c$ .

$$(2) \frac{p_0 - \rho g x_0}{T_0} = c = \frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{-\rho g \Delta h}{\Delta t}, \frac{\Delta h}{\Delta t} = \text{常数},$$

即相同的  $\Delta t$ , 对应相同的  $\Delta h$ , 所以玻璃管上标定的刻度是均匀的.

$$(3) \frac{p_0 - \rho g x_0}{T_0} = c = \frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{-\rho g \Delta h}{\Delta T} = \frac{\rho g \Delta h}{-\Delta T} = \frac{\rho g \Delta h}{T_0 - T}, \Delta h、T_0 \text{ 一定, 由于 } p_0 \text{ 减小, 所以 } T \text{ 减小, 即实际温度低于 } 17 ^\circ \text{C}.$$

**5. (1) 6 cm (2) 360 K**

【解析】(1) 放置物块后气体发生等温变化,

放置物块前  $V_1 = hS, p_1 = p_0$ ,

放置物块后  $V_2 = h' \cdot S, p_2 = p_0 + \frac{mg}{S}$ ,

由玻意耳定律, 有  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ ,

活塞移动的距离  $\Delta h = h - h'$ ,

联立解得  $\Delta h = 36 \text{ cm} - 30 \text{ cm} = 6 \text{ cm}$ .

(2) 从初始状态到被加热后气体发生等容变化, 由查理定律

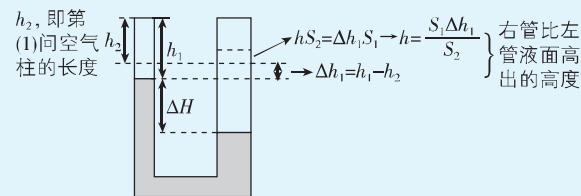
$$\text{有 } \frac{p_1}{T_0} = \frac{p_3}{T}, p_3 = p_2,$$

$$\text{即 } \frac{p_0}{T_0} = \frac{p_0 + \frac{mg}{S}}{T},$$

解得  $T = 1.2 T_0 = 360 \text{ K}$ .

**6. (1) 15 cm (2) 328 K**

**思路导引** 封闭气体重新回到 19 cm 的长度位置时, 右管比左管液面高出的高度的示意图如图所示.



【解析】(1) 设水银的密度为  $\rho$ , U 形管左、右两管横截面积分别为  $S_1$ 、 $S_2$ , 封闭气体在初始状态下的压强为  $p_1$ ,

则有  $p_1 + \rho g \Delta h = p_0$ , 解得  $p_1 = 60 \text{ cmHg}$ ,

设两边液面相平时, 封闭气体压强为  $p_2$ , 封闭气体长度为  $h_2$ ,

则有  $p_2 = p_0 = 76 \text{ cmHg}$ ,

该过程封闭气体发生等温变化, 由玻意耳定律有

$$p_1 S_1 h_1 = p_2 S_1 h_2,$$

解得  $h_2 = 15 \text{ cm}$ .

(2) 封闭气体回到原长度时, 右管比左管液面高出  $\Delta h_1 +$

$$\frac{S_1}{S_2} \Delta h_1 = \Delta h_1 + \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} \Delta h_1 = \frac{3}{2} \Delta h_1, \text{ 其中 } \Delta h_1 = h_1 - h_2 = 4 \text{ cm},$$

设此时封闭气体压强为  $p_3$ ,

$$\text{则有 } p_3 = p_0 + \rho g \cdot \frac{3}{2} \Delta h_1 = 82 \text{ cmHg},$$

与初态相比, 封闭气体发生等容变化, 由查理定律得  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_3}{T}$ ,

解得  $T = 328 \text{ K}$ .

**7. (1)  $9.7 \times 10^4 \text{ Pa}$  (2) 219 K**

【解析】(1) 当电子天平示数为 4 800.0 g 时, 右端细绳上的拉力为  $F = (6\,000.0 - 4\,800.0) \times 10^{-3} \times 10 \text{ N} = 12 \text{ N}$ ,

根据杠杆原理可知左端细绳上的拉力  $F' = F = 12 \text{ N}$ , 对活塞受力分析得  $p_1 S + F' = m_1 g + p_0 S$ , 解得  $p_1 = 9.7 \times 10^4 \text{ Pa}$ .

(2) 同理, 当电子天平示数为  $5\,400.0 \text{ g}$  时, 可得压强  $p_2 = p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,

当环境温度最低时, 细绳拉力最大, 为  $F_m = m_2 g = 6\,000 \times 10^{-3} \times 10 \text{ N} = 60 \text{ N}$ ,

根据杠杆原理可知左端细绳上的拉力  $F'' = F_m = 60 \text{ N}$ , 对活塞受力分析得  $p_3 S + F'' = m_1 g + p_0 S$ ,

解得此时的气体压强  $p_3 = 7.3 \times 10^4 \text{ Pa}$ ,

由题意可知, 气缸内气体体积不变, 由查理定理可得  $\frac{p_2}{T_1} =$

$\frac{p_3}{T_{\min}}$ , 代入数据解得  $T_{\min} = 219 \text{ K}$ .

- 8. C** 【解析】从题图可看出,  $a \rightarrow b$  过程中, 气体压强不变, 温度降低, 故 **A 错误**;  $b \rightarrow c$  过程中气体的温度保持不变, 压强减小, 根据玻意耳定律  $pV = c$  可知, 体积增大, 故 **B 错误**;  $c \rightarrow a$  过程中, 由题图可知,  $p$  与  $T$  成正比, 则气体体积不变, 而压强增大, 综上所述可知在  $b$  状态时, 气体的体积最小, 故 **C 正确**, **D 错误**.

## 课时2 气体的等压变化

### 刷基础

- 1. AD** 【解析】将烧瓶浸在热水中时, 气体温度升高, 压强变大,  $B$  管水银面下降, 应适当向下移动  $A$  管使两管水银面等高, 即保证了气体压强不变, 故 **A 正确**, **B 错误**. 将烧瓶浸在冷水中时, 气体温度降低, 压强减小,  $B$  管水银面上升, 应适当向上移动  $A$  管使两管水银面等高, 故 **C 错误**, **D 正确**.

- 2. A** 【解析】气体发生等压变化, 根据盖-吕萨克定律有  $\frac{V}{T} = c$ , 有  $\frac{V}{T} = \frac{\Delta V}{\Delta T}$ , 故  $\Delta V = \frac{V}{T} \Delta T$ , 故温度每升高  $1 \text{ K}$  ( $1^\circ \text{C}$ ), 它的体积的增加量相同. 故选 **A**.

**方法总结** 由盖-吕萨克定律推论可得, 气体做等压变化时, 变化的体积和变化的温度成正比,  $\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{V}{T}$ , 其中  $\Delta V$  为气体体积的变化量,  $\Delta T$  为气体温度的变化量.

- 3. A** 【解析】因为大气压强保持不变, 所以球形容器内气体做等压变化, 根据盖-吕萨克定律有  $\frac{V}{T} = c$ , 则其体积  $V$  与热力学温度  $T$  成正比, 由此可知, 温度越高, 体积越大, 则玻璃管  $M$ 、 $N$  区间内的刻度越靠下, 对应温度越高, 又因为摄氏温度与热力学温度相邻刻度差值不变, 则  $M$ 、 $N$  区间内的刻度分布均匀. 故选 **A**.

- 4. (1)  $0.06 \text{ m}$  (2)  $0.02 \text{ m}$**

【解析】(1) 对容器受力分析, 有  $mg + p_0 S = p S$ ,

解得  $p = 1.006 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,

又  $p = p_0 + \rho g \Delta h$ ,

解得  $\Delta h = 0.06 \text{ m}$ .

(2) 容器内封闭气体发生等压变化, 容器内外液面高度差不变, 由盖-吕萨克定律可得  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ , 其中  $V_1 = S(L_1 + \Delta h)$ ,  $T_1 =$

$(27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ,  $V_2 = S(L_2 + \Delta h)$ ,  $T_2 = (77 + 273) \text{ K} = 350 \text{ K}$ ,

解得  $L_2 = 0.08 \text{ m}$ ,

由  $\Delta H = L_2 - L_1$ , 解得  $\Delta H = 0.02 \text{ m}$ .

- 5. (1)  $7.5 \times 10^4 \text{ Pa}$  (2)  $384 \text{ K}$**

【解析】(1) 设活塞在  $A$  处时的气体压强为  $p_1$ , 对活塞, 由平衡条件得  $p_1 S + mg = p_0 S$ ,

代入数据解得  $p_1 = 7.5 \times 10^4 \text{ Pa}$ .

(2) 活塞由  $A$  到  $B$ , 气体做等压变化, 根据盖-吕萨克定律有

$$\frac{Sh_1}{T_1} = \frac{Sh_2}{T_2},$$

代入数据解得  $T_2 = 384 \text{ K}$ .

- 6. (1)  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$  (2)  $12 \text{ cm}$  (3)  $1.8 \text{ J}$**

【解析】(1) 初始状态时, 以圆柱形气缸与椅面整体为研究对象, 根据受力平衡可得  $mg + p_0 S = p_1 S$ ,

解得  $p_1 = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

(2) 质量  $M = 54 \text{ kg}$  的人, 脚悬空坐在椅面上, 稳定后, 根据受

**关键点: 等温变化, 应用玻意耳定律求解**

力平衡可得  $(M + m)g + p_0 S = p_2 S$ ,

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

设稳定后缸内气柱长度为  $L'$ , 根据玻意耳定律可得  $p_1 L S = p_2 L' S$ , 解得  $L' = 8 \text{ cm}$ ,

则椅面下降了  $\Delta h = L - L' = 20 \text{ cm} - 8 \text{ cm} = 12 \text{ cm}$ .

(3) 在 (2) 情况下, 由于开空调室内气温缓慢降至  $T_2 = 300.3 \text{ K}$ , 该过程气体发生等压变化, 根据盖-吕萨克定律有

**关键点: 等压变化, 应用盖-吕萨克定律求解**

$\frac{L' S}{T_1} = \frac{L'' S}{T_2}$ , 解得  $L'' = 7.8 \text{ cm}$ , 外界对封闭气体所做的功为  $W =$

$(p_0 S + Mg + mg)(L' - L'')$ , 解得  $W = 1.8 \text{ J}$ .

- 7. B** 【解析】 $OC$  和  $OD$  都是过原点的直线, 是等压线, 根据

$\frac{pV}{T} = c$  可知,  $V = \frac{c}{p} T$ , 等压线的斜率  $k = \frac{c}{p}$ , 可知压强越大, 等

压线的斜率越小, 直线  $OC$  的斜率小于直线  $OD$  的斜率, 所以状态  $C$  气体的压强大于状态  $D$  气体的压强, 即该气体从状态



C 到状态 D, 压强变小, 故选 B.

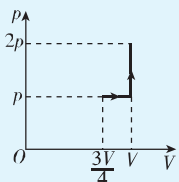
- 8. A** 【解析】分别过  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  四个点作出等压线, 如图所示. 保持体积不变, 温度越高, 则压强越大, 可知在  $V$ - $T$  图像中, 等压线倾角越大, 压强越小, 所以  $p_a < p_b < p_c$ , **A 正确, B 错误**; 由题图可知, 从状态  $c$  到状态  $d$ , 气体体积增大, **C 错误**; 从状态  $a$  到状态  $c$ , 气体体积先变小后变大, 因此气体分子数密度先增大后减小, **D 错误**.

### 刷易错

★易错点 未考虑气体状态的转换, 盲目使用气体实验定律

9. (1)  $\frac{4}{3}T_0$  (2)  $\frac{8}{3}T_0$

**思路导引** 该封闭气体经历等压膨胀、等容升温两个过程, 画出其  $p$ - $V$  图像, 如图所示.



【解析】(1) 该过程为等压变化过程, 根据盖-吕萨克定律有

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

其中  $V_1 = \frac{3}{4}V$ ,  $V_2 = V$ ,  $T_1 = T_0$ ,

联立解得  $T_2 = \frac{4}{3}T_0$ .

(2) 活塞到达卡口处之后, 继续加热至缸内气体压强为  $2p$  的过程中, 气体体积不变, 根据查理定律有

$$\frac{p_1}{T_2} = \frac{p_2}{T_3},$$

其中  $p_1 = p$ ,  $p_2 = 2p$ ,  $T_2 = \frac{4}{3}T_0$ ,

联立解得  $T_3 = \frac{8}{3}T_0$ .

**易错分析** 没有意识到活塞到达气缸卡口后运动受到限制, 直接使用题目所给的数据信息, 利用盖-吕萨克定律求解而导致错误.

## 第三节 气体实验定律的微观解释

### 刷基础

- 1. D** 【解析】气体压强为气体分子对器壁单位面积的撞击力, **A 错误**; 当某一容器自由下落时, 虽然处于失重状态, 但分子热运动不会停止, 所以分子仍然不断撞击容器壁产生压力, 故气体压强不为零, **B 错误**; 温度不变时, 气体分子每次碰撞器壁时的平均冲力不变, 体积增大时, 单位体积气体分子数减少, 单

位时间、单位面积器壁上受到碰撞的次数减少, 压强减小, **C 错误**; 体积不变时, 温度升高, 气体分子对器壁产生的平均冲力增大, 同时在单位时间内的碰撞次数增多, 压强增大, **D 正确**.

### 关键点拨 气体压强的决定因素

- (1) 微观角度: ① 气体分子数密度; ② 气体分子的平均速率.  
(2) 宏观角度: ① 体积; ② 温度.

- 2. D** 【解析】用手捂住烧瓶, 则烧瓶内气体温度升高, **A 错误**; 观察到液柱缓慢向外移动, 对液柱分析可知, 烧瓶内气体压强不变, **B 错误**; 烧瓶内气体温度升高, 瓶内气体分子平均动能变大, **C 错误**; 因烧瓶内气体压强不变, 则分子对器壁单位面积的作用力不变, **D 正确**.

**教材变式** 本题目由教材 P32 第 1 题演变而来. 教材考查了用分子动理论解释水柱向右移动现象, 本题考查了液柱向外移动过程中瓶内气体各物理量的变化情况.

- 3. B** 【解析】根据理想气体状态方程有  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ , 若  $p_1 = p_2$ ,  $V_1 = 2V_2$ , 则  $T_1 = 2T_2$ , 故 **A 错误**; 若  $p_1 = p_2$ ,  $V_1 = \frac{V_2}{2}$ , 则  $T_1 = \frac{T_2}{2}$ , 故 **B 正确**; 若  $p_1 = 2p_2$ ,  $V_1 = 2V_2$ , 则  $T_1 = 4T_2$ , 故 **C、D 错误**.

- 4. A** 【解析】根据理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = c$  可知, 理想气体先等温压缩, 压强增大, 再等容降温, 压强减小, 压强可以回到初始值, **A 正确**; 理想气体先等温膨胀, 压强减小, 再等容降温, 压强减小, 压强不能回到初始值, **B 错误**; 理想气体先等容升温, 压强增大, 再等温压缩, 压强增大, 压强不能回到初始值, **C 错误**; 理想气体先等容降温, 压强减小, 再等温膨胀, 压强减小, 压强不能回到初始值, **D 错误**.

### 方法总结 讨论气体状态变化的可能性问题, 主要是用理想

气体状态方程  $\frac{pV}{T} = c$  来判定. 若方程成立, 则过程可以进行; 若方程不成立, 则过程不能进行. 需要注意  $p$  增大,  $V$  减小 (或  $p$  减小,  $V$  增大) 的情况, 其温度可以增大、减小或不变, 主要通过  $p$ 、 $V$  的乘积的变化情况, 来判断  $T$  的变化情况.

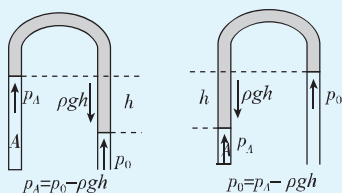
- 5. AB** 【解析】体积不变, 压强减小时, 根据理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = c$  可知, 温度降低, 所以气体分子的平均动能一定减小, 故 **A 正确**; 温度不变, 压强减小时, 根据  $\frac{pV}{T} = c$  可知, 体积变大, 所以气体分子的数密度一定减小, 故 **B 正确**; 压强不变, 温度降低时, 根据  $\frac{pV}{T} = c$  可知, 体积减小, 所以气体分子的数

密度一定增大,故 **C 错误**;温度升高,根据  $\frac{pV}{T} = c$  可知,  $p$  和  $V$  的乘积变大,压强和体积不可能都不变,故 **D 错误**.

- 6. D** 【解析】气泡上升,气泡内气体压强减小,温度升高,由理想气体状态方程可知,封闭气体体积增大,则分子数密度减小,故 **A 错误**;温度升高,分子平均动能增大,故 **B 错误**;气泡上升过程压强减小,分子平均动能增大,则撞到气泡单位面积上的气体分子数变少,故 **C 错误**;10 m 深处气泡内气体压强  $p_1 = p_0 + \rho gh = 2p_0$ ,对应的温度  $T_0 = (7+273) \text{ K} = 280 \text{ K}$ ,水面的温度  $T_1 = (27+273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ,根据理想气体状态方程有  $\frac{p_1 V_0}{T_0} = \frac{p_0 V_1}{T_1}$ ,代入数据可得  $V_1 = \frac{15}{7} V_0$ ,故 **D 正确**.

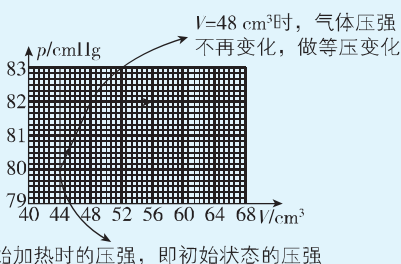
- 7. B** 【解析】右侧活塞封闭的气体压强为  $p = p_0 + \rho gh_1 + \rho gh_2$ ,故 **A 错误**;若仅缓慢加热右侧活塞处封闭的气体,由于活塞下方有一固定卡扣,则气体压强增大,  $d$  液面上升,  $c$  液面下降,则  $h_2$  变小,故 **B 正确**;若缓慢向上推动活塞,活塞封闭气体温度不变,体积减小,压强增大,  $d$  液面上升,  $c$  液面下降,则  $h_2$  变小,  $b, c$  间气体压强变大,故 **C 错误**;若加热  $b, c$  间的气体,  $b, c$  间气体压强变大,而压强为  $p_0 + \rho gh_1$ ,则  $h_1$  变大,故 **D 错误**.

**方法总结** 封闭气体压强计算的两种常见情况,如图所示.



## 8. AC

**思路导引** 信息提取:从题图乙中获取的信息如图所示.



- 【解析】**根据题图乙可知,封闭气体在初始状态的压强为 80 cmHg,故 **A 正确, B 错误**;根据题意,结合图像可知,当水银柱全部进入细管中后,继续升高温度,气体将发生等压变化,由题图乙可知,气体刚开始发生等压变化时,气体的体积为  $V = 48 \text{ cm}^3$ ,而在水银全部进入细管前,根据理想气体状态方程有  $\frac{p_1 S_1 L}{T_1} = \frac{p_2 V}{T_2}$ ,式中  $p_1 = 80 \text{ cmHg}$ ,  $p_2 = 82 \text{ cmHg}$ ,  $T_1 = 330 \text{ K}$ ,代入数据解得  $T_2 = 369 \text{ K}$ ,故 **C 正确**;液柱下端离开

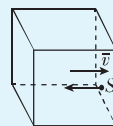
粗、细接口处的距离为 10 cm 时,设此时的温度为  $T_3$ ,由盖-吕萨克定律有  $\frac{V}{T_2} = \frac{V+S_2 L_1}{T_3}$ ,其中  $L_1 = 10 \text{ cm}$ ,解得  $T_3 \approx 446 \text{ K}$ ,故 **D 错误**.

## 刷易错

**★易错点 1 对单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数的错误理解**

- 9. C** 【解析】一定质量的气体,单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数,取决于分子数密度和分子的平均速率,即与体积和温度都有关系,故 **A、B 错误**;压强取决于单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数及分子的平均速率,在压强不变的情况下,温度变化表明气体分子的平均速率发生变化,即分子每次撞击器壁的作用力大小变化,则单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数必然改变,故 **C 正确, D 错误**.

**易错分析** 设有一密闭容器(如图),容器内有一定质量的气体(设由单原子气体分子构成),它的压强为  $p$ ,气体分子质量为  $m$ ,单位体积内分子数为  $n$ ,平均速率为  $\bar{v}$ ,气体分子在单位时间内与单位面积器壁撞击的分子数为  $N$ .以容器右侧面为研究对象,设右侧面面积为  $S$ .我们尽量把模型简化,根据统计规律,气体分子将各有  $\frac{1}{6}$  分别向上、下、左、右、前、后六个方向运动.



设在极短时间  $\Delta t$  内,气体分子向右运动的平均距离为  $L$ ,则  $L = \bar{v} \Delta t$ ,  $\Delta t$  时间内撞击容器右侧面的分子数为  $\Delta N = \frac{n \Delta V}{6} = \frac{n L S}{6} = \frac{n \bar{v} \Delta t \cdot S}{6}$ ,故单位时间内撞击单位面积器壁的分子数为  $N = \frac{\Delta N}{\Delta t \cdot S} = \frac{n \bar{v}}{6}$ .在  $\Delta t$  时间内,气体分子撞击器壁后反弹,气体分子速度大小不变方向相反,故速度变化量大小为  $2\bar{v}$ ,由动量定理和牛顿第三定律可得,气体分子对右侧器壁的冲量  $I = F \Delta t = \Delta N \cdot 2m\bar{v} = \frac{nm\bar{v}^2 \Delta t \cdot S}{3}$ ,则气体分子对器壁的作用力  $F = \frac{nm\bar{v}^2 S}{3}$ ,气体分子对器壁的压强  $p = \frac{F}{S} = \frac{nm\bar{v}^2}{3} = \frac{2}{3} n \bar{E}_k = 2m\bar{v}N$ .

**★易错点 2 变质量问题错选研究对象**

## 10. 31.7%

**【解析】解法一:**选取桶内原有的全部氢气为研究对象,且把没用掉的氢气包含在末状态中,则初状态有  $p_1 = 30 \text{ atm}$ ,

$V_1 = 100 \text{ L}, T_1 = 300 \text{ K}$ ; 末状态有  $p_2 = 20 \text{ atm}, T_2 = 293 \text{ K}$ ,

由理想气体状态方程有  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ , 解得  $V_2 = 146.5 \text{ L}$ ,

用掉的氢气占原有氢气的百分比为

$$\frac{V_2 - V_1}{V_2} = \frac{146.5 \text{ L} - 100 \text{ L}}{146.5 \text{ L}} \times 100\% \approx 31.7\%.$$

**解法二:** 取剩下的气体为研究对象,

初状态有  $p_1 = 30 \text{ atm}, T_1 = 300 \text{ K}$ ; 末状态有  $p_2 = 20 \text{ atm}, V_2 = 100 \text{ L}, T_2 = 293 \text{ K}$ ,

由理想气体状态方程有  $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ , 解得  $V_1 \approx 68.3 \text{ L}$ ,

原有的氢气体积为  $V = 100 \text{ L}$ , 则用掉的氢气占原有氢气的

$$\text{百分比为} \frac{V - V_1}{V} = \frac{100 \text{ L} - 68.3 \text{ L}}{100 \text{ L}} \times 100\% = 31.7\%.$$

**易错分析** 对于变质量问题应该灵活选择研究对象, 将变质量问题转化为定质量问题, 可以取原有气体为研究对象, 也可取剩余气体为研究对象, 但初、末状态的状态参量必须对应同一部分气体, 也就是说要在相同条件下比较原有气体和剩余气体.

### 刷提升

**1. D** 【解析】气体分子不是紧密排列的, 所以  $\frac{V_0}{N}$  只能表示状态

$c$  时每个气体分子占有空间的平均体积, 不是气体分子的体积, 故 **A 错误**; 从  $b$  到  $c$  过程中, 由理想气体状态方程得

$$\frac{p_b \cdot 3V_0}{3t_0 + 273 \text{ K}} = \frac{p_c V_0}{t_0 + 273 \text{ K}}, \text{ 可得 } p_c = \frac{3(t_0 + 273 \text{ K})}{3t_0 + 273 \text{ K}} p_b > p_b, \text{ 可知从状态 } b \text{ 到状态 } c \text{ 不是等压变化, 故 B 错误; 气体从 } a \text{ 到 } b \text{ 过程中}$$

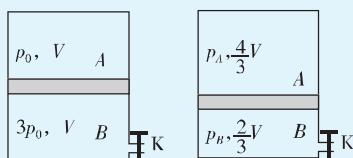
经历等容变化, 根据查理定律有  $\frac{p_b}{3t_0 + 273 \text{ K}} = \frac{p_a}{t_0 + 273 \text{ K}}$ , 可得

$$p_b = \frac{3t_0 + 273 \text{ K}}{t_0 + 273 \text{ K}} p_a < 3p_a, \text{ 故 C 错误; 由题图可知, 从状态 } c \text{ 到状态 } a \text{ 为等温变化, 故 D 正确.}$$

$$2. (1) \frac{11}{18} \quad (2) \frac{12}{5} T_0$$

### 题图剖析

$A$ 、 $B$  两部分气体的状态参量的变化如图所示.



**【解析】** (1) 初始时对活塞有  $p_0 S + mg = 3p_0 S$ , 得  $mg = 2p_0 S$ ,

打开阀门后, 活塞稳定时, 对  $A$  部分气体有  $p_0 V = p_A \cdot \frac{4V}{3}$ ,

对活塞有  $p_A S + mg = p_B S$ , 解得  $p_B = \frac{11}{4} p_0$ ,

温度相同时气体的  $pV$  乘积之比等于质量之比,

所以  $B$  部分剩余气体的质量  $M$  与最初质量  $M_0$  之比  $\frac{M}{M_0} =$

$$\frac{p_B \cdot \frac{2V}{3}}{3p_0 V} = \frac{11}{18}.$$

(2) 设活塞回到最初位置时温度为  $T$ , 对  $A$  部分气体有

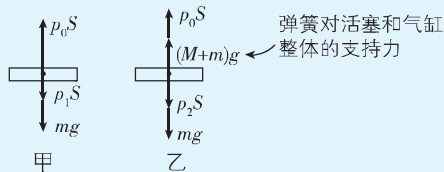
$$\frac{p_0 V}{T_0} = \frac{p'_A V}{T},$$

对  $B$  部分气体有  $\frac{p_B \cdot \frac{2V}{3}}{T_0} = \frac{p'_B V}{T},$

又因为  $p'_A S + mg = p'_B S$ , 解得  $T = \frac{12}{5} T_0$ .

**3. (1) 450 K (2) 729 K**

**思路导引** 在初始状态时, 对活塞受力分析如图甲所示; 气缸刚要离开桌面时, 对活塞受力分析如图乙所示.



**【解析】** (1) 从初状态到弹簧恰好与桌面接触时, 气体发生等

压变化, 根据盖-吕萨克定律有  $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$ ,

$$\text{又 } T_0 = 300 \text{ K}, V_0 = \frac{Sh}{3}, V_1 = \frac{Sh}{2},$$

联立解得气缸中气体的温度为  $T_1 = \frac{3}{2} T_0 = 450 \text{ K}$ .

(2) 在初始状态, 对活塞, 由平衡条件有  $p_1 S + mg = p_0 S$ ,

$$\text{解得 } p_1 = p_0 - \frac{mg}{S} = 0.95 \times 10^5 \text{ Pa},$$

设气缸刚要离开桌面时气体的压强为  $p_2$ , 体积为  $V_2$ , 对活塞,

由平衡条件有  $p_0 S + (M+m)g = p_2 S + mg$ ,

$$\text{又 } V_2 = S \left( \frac{h}{2} + \frac{M+m}{k} g \right),$$

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  $T_2 = 729 \text{ K}$ .

$$4. (1) 0.25 T_0 \quad (2) p_0 + \frac{2S_0}{V_0}$$

**【解析】** (1)  $AB$  的反向延长线经过坐标原点  $O$ , 则  $\frac{p_0}{2V_0} = \frac{p_1}{V_0}$ , 解



得  $p_A = 0.5p_0$ ,

由理想气体状态方程有  $\frac{p_0 \cdot 2V_0}{T_0} = \frac{p_A V_0}{T_A}$ , 解得  $T_A = 0.25T_0$ .

(2) 由题图和几何关系可得,  $\triangle ABC$  的面积为

$$S_0 = \frac{1}{2}(p_c - p_0)(2V_0 - V_0),$$

$$\text{解得 } p_c = p_0 + \frac{2S_0}{V_0}.$$

**关键点拨** 图像上的一个点表示一定质量理想气体的一个平衡状态, 它对应着三个状态参量; 图像上的某一条直线或曲线表示一定质量的理想气体状态变化的一个过程. 明确图像表示的物理意义和特点, 区分清楚各个不同的物理过程是解题的关键.

### 第一~三节综合训练

#### 刷综合

**1. A** 【解析】饮料罐中气体的压强与外界大气压是相同的, 饮

料罐中的气体做等压变化, 根据盖-吕萨克定律, 可得  $\frac{V}{T} =$

→ **关键点:** 饮料罐中气体变化的过程为等压膨胀

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \frac{S \Delta L}{\Delta T}, \text{ 解得 } \Delta L = \frac{V \Delta T}{TS}, \text{ 故选 A.}$$

**教材变式** 本题目由教材 P53 第 9 题演变而来, 教材考查了判断玻璃管标记的温度是否均匀及提高温度计测量范围的改进措施, 本题考查由温度变化量计算油柱移动的距离.

**2. D** 【解析】设球囊体积为  $V$ , 加热前球囊内空气的质量为  $m$ ,

大气压强不变, 根据盖-吕萨克定律可得  $\frac{V}{T_1} = \frac{V_1}{T_2}$ , 可得  $V_1 =$

$$\frac{T_2}{T_1} V, \text{ 又 } m = \rho_1 V = \rho_2 V_1, \text{ 可得 } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_1}{V} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ 故选 D.}$$

**教材变式** 本题目由教材 P28 第 2 题演变而来. 教材考查了热气球从地面升起时球内气体的最低温度, 本题考查了加热前后球囊内气体的密度之比.

**快解** 根据克拉伯龙方程  $pV = \frac{m}{M}RT$ , 两边除以  $V$ , 可得  $p =$

$$\rho \frac{R}{M} T, \text{ 可得 } \rho_1 T_1 = \rho_2 T_2, \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ 故 D 正确.}$$

**3. C**

**思路导引** 本题可利用假设法, 假设气体的体积不变, 根据等容变化判断出氧气和氢气的压强变化量, 从而判断出汞柱的移动方向.

**【解析】** 假设两部分气体的体积不变, 设气体初始状态的参量为  $p_1$ 、 $T_1$ , 末状态参量为  $p_2$ 、 $T_2$ , 温度变化为  $\Delta T$ , 压强变化为

$\Delta p$ , 由查理定律有  $\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T}$ , 可得  $\Delta p = \frac{\Delta T}{T} p$ , 开始时两部分气体

的压强  $p$  相同,  $T_{\text{氧}} < T_{\text{氢}}$ , 若变化过程中  $\Delta T$  相同, 由  $\Delta p = \frac{\Delta T}{T} p$ ,

得  $\Delta p_{\text{氧}} > \Delta p_{\text{氢}}$ , 所以汞柱向右移动, 故 **A、B 错误**. 开始时两部分气体的压强  $p$  相同,  $T_{\text{氧}} = 283 \text{ K}$ ,  $T_{\text{氢}} = 293 \text{ K}$ , 若  $\Delta T_{\text{氧}} = 10 \text{ K}$ ,

$\Delta T_{\text{氢}} = 20 \text{ K}$ , 由  $\Delta p = \frac{\Delta T}{T} p$ , 得  $\Delta p'_{\text{氧}} < \Delta p'_{\text{氢}}$ , 所以汞柱向左移, 故 **C**

正确, **D 错误**.

#### 方法总结 液柱、活塞移动问题的解题方法

当被封闭的气体的状态发生变化时, 将引起与之关联的液柱(或活塞)发生移动, 此类问题的特点是气体的状态参量发生变化, 直接判断液柱(或活塞)的移动方向比较困难, 通常先进行气体状态的假设, 然后应用气体实验定律求解. 一般思路如下:

(1) 先假设液柱(或活塞)不发生移动, 两部分气体均发生相应的等容变化.

(2) 对两部分气体分别应用查理定律的推论式  $\Delta p = \frac{\Delta T}{T} p$ , 求

出每一部分气体压强的变化量  $\Delta p$ , 并加以比较.

a. 如果液柱(或活塞)两端的横截面积相等, 若  $\Delta p$  均大于零, 意味着两部分气体的压强均增大, 则液柱(或活塞)向  $\Delta p$  值较小的一方移动; 若  $\Delta p$  均小于零, 意味着两部分气体的压强均减小, 则液柱(或活塞)向  $|\Delta p|$  较大的一方移动; 若  $\Delta p$  相等, 则液柱(或活塞)不移动.

b. 如果液柱(或活塞)两端的横截面积不相等, 则应考虑液柱(或活塞)两端的受力变化 ( $\Delta p \cdot S$ ), 若  $\Delta p$  均大于零, 则液柱(或活塞)向  $\Delta p \cdot S$  较小的一方移动; 若  $\Delta p$  均小于零, 则液柱(或活塞)向  $|\Delta p \cdot S|$  较大的一方移动; 若  $\Delta p \cdot S$  相等, 则液柱(或活塞)不移动.

**4. AC** 【解析】由  $p$ - $V$  图像可得, 理想气体在  $A$  状态的体积

$V_A = 0.2 \text{ m}^3$ , 压强  $p_A = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 从  $A$  状态到  $B$  状态发生等压

变化, 由盖-吕萨克定律有  $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$ , 代入  $V_B = 0.6 \text{ m}^3$ ,  $T_B =$

$600 \text{ K}$ , 解得  $T_A = 200 \text{ K}$ , 理想气体从  $B$  状态到  $C$  状态发生等

容变化, 由查理定律有  $\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C}$ , 代入  $p_B = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $p_C = 1 \times$

$10^5 \text{ Pa}$ ,  $T_B = 600 \text{ K}$ , 解得  $T_C = 200 \text{ K}$ , 故 **A、C 正确**.

**5. (1)  $1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  (2)  $1\ 250 \text{ K}$  (3)  $480 \text{ K}$**

**【解析】**(1) 初始时, 对气缸受力分析有  $p_1 S = p_0 S + Mg$ , 解得气体的压强为  $p_1 = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

(2) 气缸下落过程中, 气体发生等压变化, 对气缸和活塞整体

分析可知,活塞位置不变,由盖-吕萨克定律知  $\frac{L_1 S}{T_1} = \frac{(L_1 - h) S}{T_2}$ ,

解得  $T_2 = 1\ 250\ \text{K}$ .

(3) 待缸口着地后,再降低温度时,气体压强减小,活塞上移,弹簧逐渐恢复原长,初始时,由胡克定律知  $kx = (M + m)g$ ,

解得弹簧的形变量为  $x = 7\ \text{cm}$ ,

设弹簧恢复原长时的环境温度为  $T_3$ ,气体压强为  $p_3$ ,气柱长度为  $L_3$ ,由活塞的平衡条件知  $p_3 = p_0 - \frac{mg}{S} = 0.8p_0$ ,由几何关系知  $L_3 = L_1 - x - h = 18\ \text{cm}$ ,

由理想气体状态方程有  $\frac{p_1 L_1 S}{T_1} = \frac{p_3 L_3 S}{T_3}$ ,解得  $T_3 = 480\ \text{K}$ .

#### 6. (1) 4 cm (2) 280 K (3) 350 K

【解析】(1) 左管水银面下降  $\Delta h$  的过程中,左管内封闭气体发生等温变化,有  $p_0 L S = p_1 (L + \Delta h) S$ ,

解得  $p_1 = 72\ \text{cmHg}$ ,

此时左管水银面比右管水银面高  $x = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} = 3\ \text{cm}$ ,右管水银

面下降的高度  $\Delta H = x + \Delta h$ ,解得  $\Delta H = 4\ \text{cm}$ .

(2) 要使左管水银面回到原来高度,则右管水银面要再下降  $\Delta h$ ,左管内封闭气体的压强  $p_2 = p_1 - 2p_{\Delta h} = 70\ \text{cmHg}$ ,

【易错点】左管上升  $\Delta h$ ,右管下降  $\Delta h$ ,左管内气体的压强减少  $2p_{\Delta h}$ .

根据查理定律有  $\frac{p_0}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ ,解得  $T_2 = 280\ \text{K}$ .

(3) 右管内封闭气体发生等温变化,根据玻意耳定律有

$$p_0 (L + \Delta H) S = p_3 \left( L + \Delta H - \frac{x}{2} \right) S,$$

对左管内封闭气体,根据理想气体状态方程有  $\frac{p_0 L S}{T_1} =$

$$\frac{p_3 \left( L + \Delta H - \frac{x}{2} \right) S}{T_3}, \text{解得 } T_3 = 350\ \text{K}.$$

#### 7. (1) $\frac{44}{3}\ \text{cm}$ (2) 510 K

【解析】(1) 对气体 A,初态  $p_{A1} = p_0 + \rho gh = 100\ \text{cmHg}$ ,  $V_{A1} = L S$ ,

末态  $p_{A2} = p_0 + 2\rho gh = 125\ \text{cmHg}$ ,  $V_{A2} = L_A S$ ,

由玻意耳定律有  $p_{A1} V_{A1} = p_{A2} V_{A2}$ ,解得  $L_A = 32\ \text{cm}$ ,

对气体 B,初态  $p_{B1} = p_0 + 2\rho gh = 125\ \text{cmHg}$ ,  $V_{B1} = L S$ ,

末态  $p_{B2} = p_0 + 3\rho gh = 150\ \text{cmHg}$ ,  $V_{B2} = L_B S$ ,

由玻意耳定律有  $p_{B1} V_{B1} = p_{B2} V_{B2}$ ,

解得  $L_B = \frac{100}{3}\ \text{cm}$ ,

根据题意可知,水银柱 a 上表面与气缸口的高度差为  $\Delta h =$

$$2L - L_A - L_B,$$

解得  $\Delta h = \frac{44}{3}\ \text{cm}$ .

(2) 对气体 A,初态  $p_1 = p_{A1} = 100\ \text{cmHg}$ ,  $V_1 = V_{A1} = L S$ ,  $T_1 = 300\ \text{K}$ ,

流出水银后(剩余长度  $x$ ),则  $p_2 = p_0 + \rho gx$ ,  $V_2 = (L + 2h - x) S$ ,

【突破点】设未知量列该物理量满足的方程,利用函数求解最值

设气缸的内横截面积为  $S$ ,根据理想气体状态方程可知

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

$$\text{即 } \frac{100\ \text{cmHg} \times 40\ \text{cm} \cdot S}{300\ \text{K}} = \frac{(75\ \text{cm} + x)\ \text{Hg}(90\ \text{cm} - x) S}{T_2},$$

根据数学知识可得,当  $x = 7.5\ \text{cm}$  时,  $T_2$  存在最大值,最大值为

$T_{2m} = 510\ \text{K}$ ,故气体 A 的热力学温度至少要达到  $510\ \text{K}$ .

### 专题一 变质量问题

#### 刷题型

1. D 【解析】充气前臂带内气体体积为  $V_1 = 60\ \text{cm}^3$ ,每次挤压

气囊充入气体体积为  $V_0 = 60\ \text{cm}^3$ ,充气后臂带内气体体积为

$V_2 = 300\ \text{cm}^3$ ,根据玻意耳定律有  $p_1 V_1 + 5p_0 V_0 = p_2 V_2$ ,其中  $p_1 =$

$p_0 = 750\ \text{mmHg}$ ,解得  $p_2 = 900\ \text{mmHg}$ ,压强计示数为臂带内气

体的压强高于大气压强的差值,则压强计的示数为  $\Delta p = p_2 -$

$p_0 = 150\ \text{mmHg}$ ,故 D 正确.

【方法总结】等温分态公式:若将某气体( $p, V, M$ )在保持质

量、温度不变的情况下分成若干部分( $p_1, V_1, M_1$ )、( $p_2, V_2,$

$M_2$ )、 $\cdots$ 、( $p_n, V_n, M_n$ ),则有  $pV = p_1 V_1 + p_2 V_2 + \cdots + p_n V_n$ ,这个

结论叫作等温分态公式,可以由玻意耳定律推得.

2. A 【解析】球内原有气体压强为  $p_1 = 1.3 \times 10^5\ \text{Pa}$ ,体积  $V =$

$7.5\ \text{L}$ ,设需打气  $n$  次可使球内气压回到正常范围,设球内正常气

压为  $p_2$ ,每次打入的空气体积为  $\Delta V$ ,由玻意耳定律有  $p_2 V = p_1 V +$

$$n p_0 \Delta V, \text{解得 } n = \frac{p_2 V - p_1 V}{p_0 \Delta V} = \frac{7.5\ \text{L} \times p_2 - 1.3 \times 10^5\ \text{Pa} \times 7.5\ \text{L}}{1.0 \times 10^5\ \text{Pa} \times 0.3\ \text{L}}, \text{当 } p_2 =$$

$1.5 \times 10^5\ \text{Pa}$  时,解得  $n = 5$ ;当  $p_2 = 1.6 \times 10^5\ \text{Pa}$  时,解得  $n = 7$

(向下取整),故需打气的次数范围为  $5 \sim 7$  次, A 正确.

【方法总结】充气问题的解题要点

已知容器内原有气体压强为  $p_1$ ,充气后压强为  $p_2$ ,则每充气

一次,都是将打气筒内体积为  $\Delta V$ 、压强等于外界大气压  $p_0$

的空气充入体积一定( $V_0$ )的容器中,充  $n$  次的过程可以用

整体法解决,即认为是由一个容积为  $n\Delta V$  的打气筒一次完

成,由玻意耳定律有  $p_1 V_0 + n p_0 \Delta V = p_2 V_0$ .

3. (1) 5 次 (2)  $\frac{p_1 V_1}{2p_0 V_0}$ 

【解析】(1) 根据玻意耳定律有  $p_0 V_0 + np_0 \times 0.2 V_0 = 2p_0 V_0$ ,

解得  $n=5$ ,

故该小组成员至少需要充气 5 次.

(2) 根据理想气体状态方程有  $\frac{2p_0 V_0}{T_M} = \frac{p_1 V_1}{T_N}$ ,

解得  $\frac{T_N}{T_M} = \frac{p_1 V_1}{2p_0 V_0}$ .

4. C 【解析】设罐内最初压强为  $p_0$ , 第 1 次抽气时有  $p_0 V_0 = p_1 (V_0 + nV_0)$ , 第 2 次抽气时有  $p_1 V_0 = p_2 (V_0 + nV_0)$ , 联立解得

易错点: 第 1 次抽气后, 罐内气体质量变小, 不可直接列式

$\frac{p_2}{p_0} = \frac{1}{(1+n)^2}$ , 故选 C.

## 方法总结 抽气问题的解题要点

从容器内抽出气体的过程中, 容器内气体的质量不断减小, 可以将每次抽气过程中抽出的气体和剩余的气体整体作为研究对象, 看成等温膨胀过程.

## 5. (1) 60% (2) 6 次

【解析】(1) 初始状态气体体积为  $V$ , 压强为  $p_0$ , 设减压后气体体积为  $V_1$ , 压强为  $p_1$ , 整个过程为等温变化, 由玻意耳定律有  $p_0 V = p_1 V_1$ ,

其中  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V = 3.0 \text{ m}^3$ ,  $p_1 = 4.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ ,

解得  $V_1 = \frac{p_0 V}{p_1} = 7.5 \text{ m}^3$ ,

因为同种气体在相同状态下, 质量比等于体积比. 初始气体在压强为  $p_1$  时体积为  $V_1$ , 排出气体的体积为  $V_1 - V = 4.5 \text{ m}^3$ , 则排出气体的质量占初始总质量的百分比

$\eta = \frac{V_1 - V}{V_1} \times 100\% = 60\%$ .

(2) 设抽气  $n$  次, 每次抽出体积为  $\Delta V = 0.5 \text{ m}^3$  的气体, 第一次抽气, 根据玻意耳定律有  $p_0 V = p_2 (V + \Delta V)$ ,

解得  $p_2 = \frac{p_0 V}{V + \Delta V}$ ,

第二次抽气, 根据玻意耳定律有  $p_2 V = p_3 (V + \Delta V)$ ,

将  $p_2 = \frac{p_0 V}{V + \Delta V}$  代入可得  $p_3 = \left( \frac{V}{V + \Delta V} \right)^2 p_0$ ,

以此类推, 抽  $n$  次气后, 压强  $p_{n+1} = \left( \frac{V}{V + \Delta V} \right)^n p_0$ ,

因为要将气压从  $p_0$  降至  $p_1$ , 即  $p_1 = \left( \frac{V}{V + \Delta V} \right)^n p_0$ ,

已知  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $V = 3.0 \text{ m}^3$ ,  $\Delta V = 0.5 \text{ m}^3$ ,  $p_1 = 4.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ ,

代入可得  $0.4 = \left( \frac{3}{3.5} \right)^n$ ,

两边取对数得  $n \approx 6$  (次).

6. AD 【解析】若小瓶原来是真空的, 则初状态氧气压强  $p_0 = 1.45 \times 10^7 \text{ Pa}$ , 体积  $V_0 = 20 \text{ L}$ , 设最多能分装  $n$  瓶, 末状态下氧气压强为  $p_1 = 1.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ , 体积为  $V_1 = V_0 + nV'$ , 温度不变, 根据玻意耳定律有  $p_0 V_0 = p_1 V_1$ , 代入数据解得  $n = 54$ , A 正确, B 错误; 若小瓶原来装有  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  的氧气, 设最多能分装  $n'$  瓶, 则此时初状态氧气压强  $p_0 = 1.45 \times 10^7 \text{ Pa}$ ,  $p'_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 体积  $V_0 = 20 \text{ L}$ ,  $V'_0 = 5 \text{ L} \cdot n'$ , 末状态  $p_2 = 1.0 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,  $V_2 = V_0 + 5 \text{ L} \cdot n'$ , 根据玻意耳定律有  $p_0 V_0 + p'_0 V'_0 = p_2 V_2$ , 代入数据解

易错点: 分装气体时, 不要忘了容器中原有的气体

得  $n' = 60$ , C 错误, D 正确.

## 方法总结 分装问题的解题要点

对于将一个大容器里的气体分装到多个小容器中的问题, 如果温度不变, 则可以把大容器中剩余的气体和多个小容器中的气体整体作为研究对象, 利用玻意耳定律求解.

## 7. (1) 100 (2) 2 000 m

【解析】(1) 设氦气罐容积为  $V$ , 开始时压强为  $p$ , 气球充入氦气的体积为  $V_0$ , 压强为  $p_0$ ,

由玻意耳定律可得  $pV = p_0 V + np_0 V_0$ , 代入数据解得  $n = 100$ .

易错点: 氦气罐内气体压强等于大气压强后, 不能再为气球充气, 易忽略氦气罐内有剩余气体

(2) 气球刚要爆炸时压强为  $p_1 = p_0 - \frac{h}{10} \times 100 \text{ (Pa)} = p_0 - 10h \text{ (Pa)}$ , 体积为  $V_1 = 7.5 \text{ L}$ ,

由玻意耳定律可得  $p_0 V_0 = p_1 V_1$ , 代入数据解得  $h = 2 000 \text{ m}$ .

8. C 【解析】设装水前杯子内空气温度为  $T_1$ , 装水盖杯盖后静置一小段时间过程中空气的体积不变, 此时杯子内空气的压强为  $p_1$ , 温度为  $T_2$ ,  $T_1 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ ,  $T_2 = (87 + 273) \text{ K} = 360 \text{ K}$ , 根据查理定律有  $\frac{p_0}{T_1} = \frac{p_1}{T_2}$ , 解得  $p_1 = \frac{6}{5} p_0$ , 杯子容量为  $500 \text{ mL}$ , 装入  $300 \text{ mL}$  的开水后, 杯内空气的体积为  $V_1 = 200 \text{ mL}$ , 迅速打开杯盖过程杯内空气的温度不变, 压强变为大气压  $p_0$ , 根据玻意耳定律有  $p_1 V_1 = p_0 V_2$ , 解得  $V_2 = 240 \text{ mL}$ , 设此时杯子内空气的密度为  $\rho$ , 现在杯内空气质量为  $m_1 = \rho V_1$ , 原空气总质量为  $m = \rho V_2$ , 逸出杯外的空气质量为  $m_2 = m - m_1$ , 杯内剩余的空气质量与逸出杯外的空气质量的

突破点: 利用质量与体积成正比, 将质量比变成体积比

比值为  $k = \frac{m_1}{m_2} = 5$ , 故选 C.

9. (1)  $\frac{16}{15} \times 10^5 \text{ Pa}$  (2)  $3.5 \text{ m/s}^2$ , 方向水平向右 (3) 0.091

**思路导引** 弹簧伸长量为  $x$ , 则气缸内封闭气体体积为  $(L-x)S$ , 气体经历等温压缩, 可求出缸内封闭气体的压强, 再根据牛顿第二定律求出加速度  $a$ .

**【解析】**(1) 小车运动时, 设缸内气体的压强为  $p_1$ , 此时活塞与缸底间的气柱长  $L_1 = (8-0.5) \text{ cm} = 7.5 \text{ cm}$ ,

气体做等温变化, 有  $p_0 L S = p_1 L_1 S$ ,

$$\text{解得 } p_1 = \frac{16}{15} p_0 = \frac{16}{15} \times 10^5 \text{ Pa}.$$

(2) 设向右为正方向, 对活塞, 由牛顿第二定律有  $kx + p_1 S - p_0 S = ma$ ,

解得  $a = 3.5 \text{ m/s}^2$ , 方向水平向右.

(3) 为保证系统以第(2)问中的加速度运动时, 弹簧的伸长量仍然为  $0.5 \text{ cm}$ , 说明缸内气体的压强还是  $p_1$ . 假设缸内全部气体保持压强为  $p_1$ , 温度升高为  $T_1 = 330 \text{ K}$ , 体积为  $V_0$ , 有

$$\frac{SL_1}{T_0} = \frac{V_0}{T_1},$$

解得  $V_0 = 0.0825 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ ,

则释放的气体质量与原气体总质量比值为  $\frac{m_{\text{释}}}{m_{\text{原}}} = \frac{V_0 - SL_1}{V_0} \approx$

0.091.

10. (1)  $\frac{7}{6} \left( p_0 - \frac{Mg}{S} \right)$  (2)  $\frac{4}{7}$

**【解析】**(1) 假设气体一直做等压变化, 当  $T_1 = 300 \text{ K}$  时, 体积为  $0.5HS$ ; 当  $T_2 = 700 \text{ K}$  时, 设活塞到气缸底部的距离为  $h$ , 根据盖-吕萨克定律, 有  $\frac{0.5HS}{T_1} = \frac{hS}{T_2}$ , 解得  $h = \frac{7}{6}H > H$ , 因此假设不成立, 故气体先做等压变化, 活塞碰到挡板后气体做等容变化.

**突破点:** 用假设法判断气体的变化过程, 再用对应的实验定律验证

设初始气体压强为  $p$ , 对气缸受力分析, 有  $pS + Mg = p_0 S$ , 设  $T_2 = 700 \text{ K}$  时气体的压强为  $p'$ , 由理想气体状态方程得

$$\frac{p \cdot 0.5HS}{T_1} = \frac{p'HS}{T_2},$$

代入数据解得  $p' = \frac{7}{6} \left( p_0 - \frac{Mg}{S} \right)$ .

(2) 当活塞再次距离底部  $0.5H$  时, 由平衡条件可知, 气体压强恢复到  $p$ . 设缸内剩余气体初态时体积为  $V_{\text{余}}$ , 气体总体积为  $V_{\text{总}}$ , 从初始状态到最终状态, 该部分气体进行等压膨胀, 根据盖-吕萨克定律得  $\frac{V_{\text{余}}}{T_1} = \frac{V_{\text{总}}}{T_2}$ ,

$$\text{则漏出气体与原有气体质量比为 } \frac{m_{\text{漏}}}{m_{\text{总}}} = \frac{V_{\text{总}} - V_{\text{余}}}{V_{\text{总}}} = \frac{4}{7}.$$

### 一题多解 应用克拉伯龙方程解题

(2) 设初始气体总质量为  $m_{\text{总}}$ , 剩余气体质量为  $m_{\text{余}}$ , 根据克拉伯龙方程,

初态有  $p \cdot 0.5HS = n_{\text{总}} RT_1$ ,

末态有  $p \cdot 0.5HS = n_{\text{余}} RT_2$ ,

则漏出气体与原有气体质量比为  $\frac{m_{\text{漏}}}{m_{\text{总}}} = \frac{n_{\text{总}} - n_{\text{余}}}{n_{\text{总}}}$ ,

$$\text{可得 } \frac{m_{\text{漏}}}{m_{\text{总}}} = \frac{4}{7}.$$

**关键点拨** 克拉伯龙方程  $pV = nRT$ , 其中  $p$  是压强 (Pa)、 $V$  是体积 ( $\text{m}^3$ )、 $n$  是物质的量 (mol)、 $T$  是温度 (K)、 $R$  是一个常数, 只适用于理想气体.

### 方法总结 漏气问题的解题要点

容器漏气过程中气体的质量不断发生变化, 选容器内剩余气体和漏出气体整体为研究对象, 这样就把变质量问题转化为了定质量问题.

## 专题二 双气缸问题

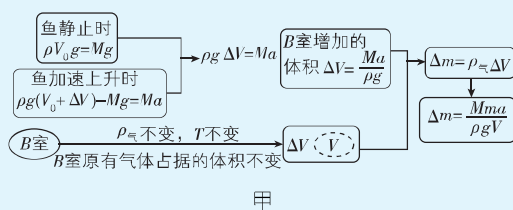
### 刷难关

1. CD **【解析】** 左、右气缸直径之比为  $1 : \sqrt{2}$ , 则横截面积之比为  $1 : 2$ , 设活塞 A 的面积为  $S$ , 初始状态缸内气体压强为  $p$ , 金属杆上的拉力为  $F$ , 对活塞 A, 有  $pS = p_0 S + F$ , 对活塞 B, 有  $p \cdot 2S = p_0 \cdot 2S + F$ , 联立解得  $p = p_0$ ,  $F = 0$ , 因此初始状态连接两活塞的金属杆既不受拉力, 也不受压力, A 错误; 升温过程中封闭气体发生等压膨胀, 直至活塞 A 右移至缸底, 设活塞 A 移动距离为  $L$ , 此时对应的温度为  $T_1$ , 由盖-吕萨克定律有  $\frac{L \cdot 2S + LS}{300 \text{ K}} = \frac{2L \cdot 2S}{T_1}$ , 解得  $T_1 = 400 \text{ K}$ , 所以当温度  $T \leq T_1 = 400 \text{ K}$  时, 内部气体压强等于  $p_0$ , B 错误, C 正确; 当温度  $T_2 = 600 \text{ K} > T_1 = 400 \text{ K}$  时, 活塞已无法移动, 被密封气体的体积保持不变, 由查理定律有  $\frac{p_0}{T_1} = \frac{p'}{T_2}$ , 解得  $p' = 1.5p_0$ , D 正确.

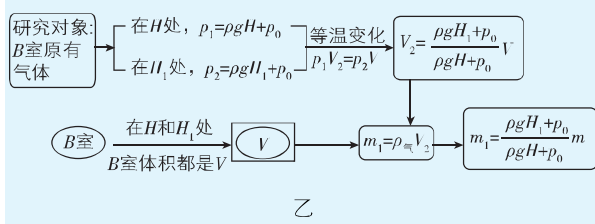
**教材变式** 本题目由教材 P53 第 10 题演变而来. 教材考查了气体温度降低时活塞的移动情况, 本题考查了气体温度升高到某一数值时气体压强的大小.

### 2. ABC

**思路导引** 求鱼获得大小为  $a$  的加速度时, 从 A 室充入 B 室气体的过程如图甲所示.



求鱼静止于水面下  $H_1$  处时,  $B$  室内气体质量的变化过程如图乙所示.



【解析】鱼静止在水面下  $H$  处时, 设鱼的体积为  $V_0$ , 受力平衡, 则此时鱼所受的浮力等于自身的重力, 即  $Mg = \rho g V_0$ , **A 正确**; 设当鱼获得大小为  $a$  的加速度时,  $B$  室体积增加  $\Delta V$ , 根据牛顿第二定律可得  $\rho g(V_0 + \Delta V) - Mg = Ma$ , 设  $B$  室内的气体密度为  $\rho_{气}$ , 则有  $m = \rho_{气} V$ , 又  $\Delta m = \rho_{气} \Delta V$ , 联立解得  $\Delta m = \frac{Mma}{\rho V g}$ ,

**B 正确**; 由题知, 开始时鱼静止在水面下  $H$  处,  $B$  室内气体体积为  $V$ , 质量为  $m$ , 且此时  $B$  室内的压强为  $p_1 = \rho g H + p_0$ , 鱼静止于水面下  $H_1$  处时, 因为浮力不变, 所以此时  $B$  室的体积仍为  $V$ , 又  $p_2 = \rho g H_1 + p_0$ , 由于鱼鳔内气体温度不变, 根据玻意耳定律有  $p_1 V_1 = p_2 V_2$ , 解得  $V_2 = \frac{\rho g H_1 + p_0}{\rho g H + p_0} V$ , 此时  $B$  室内气体质量  $m_1 = \rho_{气} V_2$ , 联立可得  $m_1 = \frac{\rho g H_1 + p_0}{\rho g H + p_0} m$ , **C 正确, D 错误**.

**3. BD** 【解析】设初始时缸内气体的压强为  $p$ , 则两活塞受力平衡, 有  $p_0 \cdot 2S + 3mg + pS = p_0 S + p \cdot 2S$ , 解得  $p = p_0 + \frac{3mg}{S}$ , **A 错误**;

→ **突破点**: 对两活塞整体受力分析时, 杆对活塞的作用力为内力

对活塞  $B$  受力分析, 有  $pS + mg = p_0 S + F$ , 解得  $F = 4mg$ , **B 正确**;

若气缸内密封气体温度缓慢降低到  $\frac{5T_0}{6}$ , 气体发生等压变化,

有  $\frac{L \cdot 2S + LS}{T_0} = \frac{V}{\frac{5T_0}{6}}$ , 解得  $V = \frac{5LS}{2}$ , 设两活塞向下移动的距离

为  $x$ , 有  $V = \frac{5LS}{2} = (L-x) \cdot 2S + (L+x)S$ , 解得  $x = \frac{L}{2}$ , **C 错误**; 若

气缸内密封气体温度缓慢升高到  $\frac{7T_0}{6}$ , 气体发生等压变化, 有

$\frac{L \cdot 2S + LS}{T_0} = \frac{V'}{\frac{7T_0}{6}}$ , 解得  $V' = \frac{7LS}{2}$ , 缸内气体等压膨胀对外做功

为  $W = p \left( \frac{7LS}{2} - 3LS \right) = \frac{p_0 SL + 3mgL}{2}$ , **D 正确**.

**4. (1)  $\frac{p_0 S}{g}$  (2)  $\frac{8p_0 S}{3H}$**

【解析】(1) 设活塞  $P$  稳定时气缸  $A$  中气体的压强为  $p_1$ . 初始稳定时, 对活塞  $P$ , 有  $mg + p_0 S = p_1 S$ ,

由玻意耳定律可知  $p_0 HS = \frac{1}{2} p_1 HS$ ,

解得  $p_1 = 2p_0$ ,  $m = \frac{p_0 S}{g}$ .

(2) 设打开阀门后, 活塞  $Q$  移动的距离为  $x$ . 由玻意耳定律可

知  $\frac{p_1 HS}{2} + \frac{p_0 HS}{4} = p_1 \left( \frac{H}{4} + x \right) S$ ,

最终稳定时, 对活塞  $Q$ , 有  $kx + p_0 S = p_1 S$ ,

解得  $k = \frac{8p_0 S}{3H}$ .

**5. (1) 337.5 K  $\frac{2}{3} p_0$  (2) 15 cm (3) 3 500 cm<sup>3</sup>**

【解析】(1) 阀门  $K$  关闭时, 对  $A$  内气体加热, 温度升高, 气体压强不变, 为等压变化, 对于  $A$  内气体, 初态  $V_A = aS_A$ ,  $T_0 = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$ , 末态  $V_{A1} = \left( a + \frac{1}{2}b \right) S_A$ , 温度为  $T_1$ ,

由盖-吕萨克定律有  $\frac{V_A}{T_0} = \frac{V_{A1}}{T_1}$ , 解得  $T_1 = 337.5 \text{ K}$ ,

以两活塞整体为研究对象, 根据受力平衡得

$p_A S_A - p_0 S_A + p_0 S_B = 0$ ,

解得  $p_A = \frac{2}{3} p_0$ .

(2) 足够长时间后气体的温度与外界相等, 则  $T = (273 + 27) \text{ K} = 300 \text{ K}$ , 左侧活塞到气缸  $A$  底部的距离  $\Delta x$ , 则气体的总体积  $V = \Delta x \cdot S_A + (a + b - \Delta x) S_B$ ,

以两活塞整体为研究对象, 根据受力平衡得  $p_A S_A - p_0 S_A + p_0 S_B - p_0 S_B = 0$ ,

解得  $p = p_0$ ,

根据  $\frac{p_A V_{A1}}{T_1} = \frac{pV}{T}$ , 解得  $\Delta x = 15 \text{ cm}$ .

(3) 当活塞回到原来的位置时, 对右侧气体, 由玻意耳定律有  $p(a + b - \Delta x) S_B = p_{B2} b S_B$ ,

解得  $p_{B2} = 3.5 p_0$ ,

以两活塞整体为研究对象, 根据受力平衡得  $p_{A2} S_A - p_0 S_A + p_0 S_B - p_{B2} S_B = 0$ ,

解得  $p_{A2} = \frac{11}{6} p_0$ ,

对左侧气体, 由玻意耳定律有  $p_{A2} a S_A = p \Delta x \cdot S_A + 2p_0 \Delta V$ ,

解得  $\Delta V = 3 500 \text{ cm}^3$ .

## 第四节 液体的表面张力

### 刷基础

**1. BC** 【解析】题图甲中的液体表面层分子间作用力表现为引力, 所以分子间的距离大于平衡距离, 故 **A 错误**; 题图甲中的液体表面层分子间的距离大于液体内部分子间的平均距离, 导致表面层内分子之间的分子力表现为引力, 宏观上产生表面张力, 故 **B 正确**; 结合上述分析可知, 表面张力表现为引



力,可知题图乙中液体表面张力方向垂直于分界面  $MN$ ,即与液面相切,故 **C 正确, D 错误**。

易错点: 液体表面张力方向垂直于分界面

- 2. D** 【解析】薄膜中分子间的距离比液体内部大一些,分子间的相互作用表现为引力,方向与液面相切,产生收缩效果;用烧热的针刺破  $a$  侧的薄膜,  $b$  侧的薄膜将使  $b$  的面积趋于最小,故 **D 正确**。

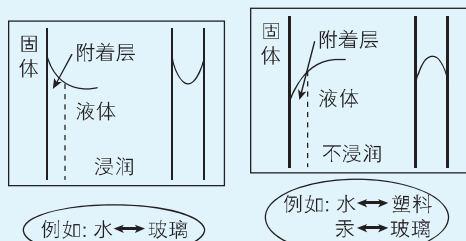
**教材变式** 本题日由教材 P33 观察与思考演变而来,教材考查了刺破棉线一侧的薄膜后,薄膜和棉线变化后的形状,本题延伸考查了刺破棉线一侧的薄膜后,棉线的受力情况。

- 3. B** 【解析】水能从盛水容器通过棉线到盆栽,说明水浸润棉线,故 **A 错误**;该装置通过棉线把水从低处引到高处,利用了毛细现象,故 **B 正确**;棉线与水接触的附着层内,由于棉线分子对水分子的吸引力,水分子比较密集,水分子间的作用力表现为斥力,故 **C 错误**;在完全失重的环境下,分子间作用力仍然存在,毛细现象更明显,该装置仍会对盆栽浇水,故 **D 错误**。

**4. A**

#### 模型构建

浸润与不浸润的示意图如图所示。



【解析】水处于完全失重状态,由于水对玻璃的浸润性,在表面张力的作用下,水应该吸附在容器的内表面呈现选项 **A** 中的形状,故 **A 正确, B、C、D 错误**。

- 5. B** 【解析】当把毛细管  $B$  插入液体时,液面呈现凹形,说明液体对  $B$  浸润,液体不能附着在  $A$  表面,说明液体对  $A$  不浸润,所以  $A$  与  $B$  一定不是同种材料,故 **A、C 错误, B 正确**;根据浸润与不浸润的特点,浸润时,附着层内的分子引力小于固体对分子的引力,而不浸润时,附着层内的分子引力大于固体对分子的引力,所以固体  $A$  的分子对液体附着层内的分子引力比毛细管  $B$  的分子对液体附着层内的分子引力小,故 **D 错误**。

#### 刷易错

★易错点 混淆浸润和不浸润液体附着层内分子间距和分子力

- 6. A** 【解析】附着层内液体分子间距离大于  $r_0$  时,附着层内分子间作用力表现为引力,附着层有收缩的趋势,即为不浸润现象, **A 正确**。

**易错分析** 浸润:附着层内的液体分子受固体分子引力比液体分子间引力强,部分液体分子进入附着层,使附着层液体分子密集,附着层内液体分子间距小于分子间的平衡距离  $r_0$ ,附着层内分子力表现为斥力,附着层有扩展趋势,表现为液体浸润固体。

不浸润:附着层内的液体分子受固体分子引力较弱,附着层中的部分液体分子进入液体内部,从而使附着层液体分子比液体内部分子稀疏,附着层内液体分子间距大于分子的平衡距离  $r_0$ ,附着层内分子力表现为引力,附着层有收缩趋势,表现为液体不浸润固体。

## 第五~六节 晶体/新材料

### 刷基础

- 1. C** 【解析】单晶体具有规则的几何外形、固定的熔点和各向异性等特点;多晶体具有固定熔点,没有规则的几何外形,表现为各向同性;非晶体没有规则的几何外形,没有固定熔点,表现为各向同性。天然石英有规则的几何外形及固定的熔点,表现为各向异性,是单晶体;而石英玻璃是天然石英熔化后再凝固而成,没有规则的几何外形和固定熔点,属于非晶体,所以天然石英是晶体,石英玻璃是非晶体,故 **C 正确**。

易错点: 单晶体有规则的几何外形,而多晶体和非晶体没有

**关键点拨** 晶体在熔化过程中,温度不变,温度是分子平均动能的标志,故分子平均动能不变;但是因为要破坏晶体的空间点阵结构,分子势能增大,内能增大。

- 2. D** 【解析】由题图 1 可知,甲、乙表现为各向同性,丙表现为各向异性;由题图 2 可知,甲、丙有固定熔点,乙无固定熔点,所以甲、丙为晶体,乙为非晶体,其中甲可能为多晶体,也可能为单晶体,丙为单晶体, **D 正确**。

易错点: 题图 1 只能说明甲的导热性表现为各向同性,但不能说明甲在其他性质方面也表现为各向同性

- 3. B** 【解析】根据题图可知,黑磷的微观结构呈现空间上规则排列,具有空间上的周期性,属于晶体材料,因而黑磷具有固定的熔点,熔化过程中温度不变, **A 错误, B 正确**;组成物质的分子总是在做无规则热运动, **C 错误**;黑磷具有各向异性,但不一定体现在导热性上, **D 错误**。

- 4. D** 【解析】液晶是介于液体和晶体之间的中间状态,并非普通液体,不具有液体的所有性质, **A 错误**;液晶分子的排列在外界条件(如电场、温度)变化时会发生改变,并非完全稳定,但其具有各向异性, **B 错误**;液晶显示器利用的是液晶光学性质的各向异性, **C 错误**;液晶同时具有液体的流动性和类似晶体分子的部分规则排列, **D 正确**。

5. A 【解析】计算机 CPU 中采用了半导体材料, A 错误. 家用电冰箱门为了关闭得更严, 采用了带有磁性的橡胶封条, B 正确. 1 纳米等于  $10^{-9}$  米, 原料的几何尺寸达到这个级别, 可以获得特殊性能, C 正确. 光纤通信和微波通信的传播介质不同, 所以电磁波的速度不相同, D 正确. 本题选说法错误的, 故选 A.

## 刷易错

★易错点 误认为单晶体在各个物理性质上都是各向异性

6. C 【解析】表现出各向同性的可以是多晶体, 也可以是非晶体, 并且单晶体的某些物理性质也表现出各向同性, 不能根据各向异性或各向同性来鉴别晶体和非晶体, 故 A 错误; 沿各个方向对一块均匀薄片施加拉力, 发现其强度一样, 力学性质表现出各向同性, 但并不能判断出其他物理性质是否也具有各向同性, 则薄片可能是非晶体, 也可能是多晶体, 还可能是单晶体, 故 B 错误; 一个固体球, 如果沿其各条直径方向的导电

性能不同, 即具有各向异性, 则该球一定是单晶体, 故 C 正确; 单晶体具有各向异性的特征, 仅指某些物理性质, 并不是所有的物理性质都是各向异性的, 故当晶体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, 故 D 错误.

## 易错分析

通常说的物理性质包括弹性、硬度、导热性、导电性、对光的折射率等. 单晶体的各向异性是指单晶体在不同方向上物理性质不同, 也就是沿不同方向去测试晶体的物理性质时测量结果不同. 但同时要注意, 单晶体的各向异性, 不是说每种单晶体都能在各种物理性质上表现出各向异性. 例如, 云母、石膏在导热性上表现出各向异性, 即在不同方向上传热的快慢不同; 方铅矿晶体在导电性能上表现出显著的各向异性, 即沿不同方向的电阻率不同; 立方铜晶体在弹性上表现出显著的各向异性, 即沿不同方向的弹性不同; 方解石晶体在对光的折射能力上表现出显著的各向异性, 即沿不同方向的折射率不同.

## 第三章 热力学定律

## 第一~二节 热力学第一定律/能量守恒定律及其应用

## 刷基础

1. C 【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, 质量不同、温度相同的氢气和氧气, 分子平均动能相同, 故 A 错误; 物体是由大量分子组成的, 分子可再分为原子, 故 B 错误; 物体的内能取决于物体的温度、体积以及物态等, 物体的内能改变时温度不一定改变, 例如  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水变为水蒸气过程中, 内能增大而温度不变, 故 C 正确; 内能是物体中所有分子热运动所具有的动能和势能的总和, 故 D 错误.
2. C 【解析】一定质量的  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冰熔化成  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水时, 温度不变, 分子的平均动能不变, 则分子的动能之和不, 故 A、B 错误;  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冰熔化成  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水时, 需要吸收热量, 所以其内能一定增加, 而其分子总动能不变, 则分子的势能之和增大, 故 C 正确, D 错误.
3. C 【解析】孔明灯是利用热空气上升的原理制成的, 点燃后, 灯内空气受热体积膨胀, 因而灯内空气的密度变小, 孔明灯重力减小, 而浮力不变, 从而升空, A 错误; 点燃后, 灯内气体的温度升高, 灯内空气受热后体积膨胀, 灯内气体质量减少, 减少量不能确定, 因此内能的变化不能确定, B 错误; 点燃后升空过程中, 由于灯内气体的温度升高, 气体分子的平均动能增大, 分子间的平均撞击力增大, C 正确, D 错误.
4. ABD 【解析】用压力  $F$  向下压活塞时, 外界对气体做功, 因和外界没有热交换, 可知气体的内能增加; 气体的温度升高,

气体分子的平均动能增加, 分子对器壁单位面积碰撞的冲力增大; 由理想气体状态方程可知, 温度升高、气体体积减小, 故气体的压强增大, C 正确, 不符合题意; A、B、D 错误, 符合题意.

5. A 【解析】由热力学第一定律知, 改变内能的方法有热传递和做功两种方式, 气体被缓慢压缩时, 如果同时对外放热, 气体内能可能不变, 故 A 正确; 能源有可利用能源和不可利用能源之分, 自然界的总能量保持不变, 我们应该节约使用的是可利用能源, 故 B 错误; 由理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = c$  可知, 一定质量的理想气体, 在压强减小、体积增大时, 气体温度的变化无法判断, 则无法判断气体内能的变化, 无法确定气体与外界的热传递情况, 故 C 错误; 一定质量的理想气体, 温度降低, 气体内能减小, 体积增大, 气体对外做功, 根据热力学第一定律,  $\Delta U = Q + W$  可知, 由于不知道  $W$  和  $\Delta U$  的大小关系, 则无法判断气体吸放热情况, 故 D 错误.

6. A 【解析】打开阀门 K 后,  $P$  中气体进入  $Q$  中, 由于  $Q$  内为真空, 气体体积增大时并没有对外做功, 又因为系统没有热交换, 由热力学第一定律可知, 系统内能不变, 温度不变, 故选 A.

7. D 【解析】在汽车匀减速前进时, 加速度向左, 活塞所受合外力向左, 则活塞相对气缸向右运动, 缸内气体体积减小, 压强增大. 关键点: 根据加速度的方向, 判断出活塞相对气缸运动的方向.