

1. (2020•湖南新课标) 甲、乙两个储气罐储存有同种气体(可视为理想气体)。甲罐的容积为 V , 罐中气体的压强为 p ; 乙罐的容积为 $2V$, 罐中气体的压强为 $P = \frac{1}{2}P$, 现通过连接两罐的细管把甲罐中的部分气体调配到乙罐中去, 两罐中气体温度相同且在调配过程中保持不变, 调配后两罐中气体的压强相等。求调配后

(i) 两罐中气体的压强;

(ii) 甲罐中气体的质量与甲罐中原有气体的质量之比。

【解析】

(i) 对两罐中的甲、乙气体, 气体发生等温变化,

$$\text{根据玻意耳定律有: } PV + \frac{1}{2}P \times 2V = P' \times 3V$$

$$\text{解得甲乙中气体最终压强为: } P' = \frac{2}{3}P$$

(ii) 若调配后将甲气体再等温压缩到气体原来的压强为 p ,

$$\text{根据玻意耳定律得: } P'V = PV'$$

$$\text{计算可得: } V' = \frac{2}{3}V$$

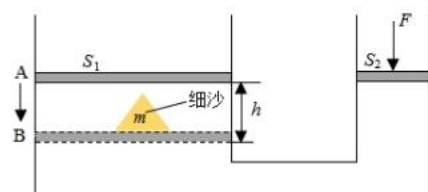
$$\text{由密度定律解得质量之比等于: } \frac{m}{m} = \frac{V'}{V} = \frac{2}{3}$$

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
两储气罐气体调配, 等温变化。	玻意耳定律、气体质量比计算。	玻意耳定律、气体密度与质量关系。	建模能力、计算能力、逻辑推理。

2. (2021•湖南) 如图, 两端开口、下端连通的导热汽缸, 用两个轻质绝热活塞(截面积分别为 S_1 和 S_2) 封闭一定质量的理想气体, 活塞与汽缸壁间无摩擦。在左端活塞上缓慢加细沙, 活塞从 A 下降 h 高度到 B 位置时, 活塞上细砂的总质量为 m 。在此过程中, 用外力 F 作用在右端活塞上, 使活塞位置始终不变。整个过程环境温度和大气压强 p_0 保持不变, 系统始终处于平衡状态, 重力加速度为 g 。下列说法正确的是

是 ()

A. 整个过程, 外力 F 做功大于 0, 小于 mgh



- B. 整个过程，理想气体的分子平均动能保持不变
- C. 整个过程，理想气体的内能增大
- D. 整个过程，理想气体向外界释放的热量小于 $(p_0 S_1 h + mgh)$
- E. 左端活塞到达 B 位置时，外力 F 等于 $\frac{mgS_2}{S_1}$

【解析】

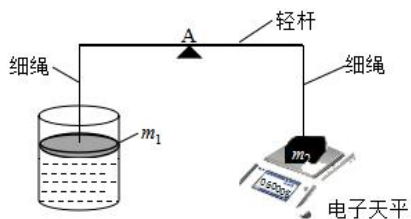
A、外力 F 作用在右端活塞上，活塞位置不变，可知在 F 作用下没有位移，可知外力 F 做功为零，故 A 错误；BC、气缸为导热汽缸，环境温度不变，所以气体状态变化过程中温度不变，温度是分子平均动能的标志，所以分子平均动能不变，对于定质量的理想气体，内能只与分子平均动能有关，所以内能也不变，故 B 正确，C 错误；D、此过程外界大气通过活塞对封闭气体做功为 $p_0 S_1 h$ ，活塞下降过程，因缓慢加细沙，故细沙通过活塞对气体做功小于 mgh ，所以外界对气体做功 $W < p_0 S_1 h + mgh$ ，根据 $\Delta U = Q + W$ ，因 $\Delta U = 0$ ，所以 $Q = -W$ ，即气体向外界释放的热量小于 $p_0 S_1 h + mgh$ ，故 D 正确；E、左端活塞到达 B 位置时，对左边活塞有：

$$p_{\text{气}} S_1 = p_0 S_1 + mg, \text{ 对于右边活塞有: } p_{\text{气}} S_2 = p_0 S_2 + F, \text{ 联立两式得: } F = \frac{mgS_2}{S_1}, \text{ 故 E 正确,}$$

故选：BDE。

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
导热汽缸、缓慢加细沙、活塞平衡。	理想气体状态方程、热力学第一定律、活塞受力分析。	等温过程、内能变化、热交换、受力平衡。	综合分析、判断推理、多选辨析。

3. (2021·湖南) 小赞同学设计了一个用电子天平测量环境温度的实验装置，如图所示。导热汽缸开口向上并固定在桌面上，用质量 $m_1 = 600\text{g}$ 、截面积 $S = 20\text{cm}^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞与汽缸壁间无摩擦。一轻质直杆中心置于固定支点 A 上，左端用不可伸长的细绳竖直悬挂活塞，右端用相同细绳竖直悬挂一个质量 $m_2 = 1200\text{g}$ 的铁块，并将铁块放置到电子天平上。当电子天平示数为 600.0g 时，测得环境温度 $T_1 = 300\text{K}$ 。设外界大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$ ，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ，轻杆始终保持水平。



(i) 当电子天平示数为 400.0g 时，环境温度 T_2 为多少？

(ii) 该装置可测量的最高环境温度 T_{\max} 为多少？

【解析】

(i) 轻质直杆中心置于固定支点 A 上，根据杠杆原理可知，两根细绳上的拉力相等。

对铁块受力分析如图所示：

电子天平示数为 600g 时，气体 $p_1 = p_0 = 1 \times 10^5 \text{Pa}$, $T_1 = 300\text{K}$

示数为 400g 时， $p_2 = p_0 + \frac{m_1 g - F}{S}$ ，其中，拉力 $F = m_2 g -$

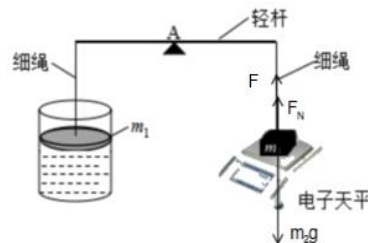
$m_0 g$,

其中 $m_0 = 400\text{g} = 0.4\text{kg}$, $m_1 = 600\text{g} = 0.6\text{kg}$, $m_2 = 1200\text{g} = 1.2\text{kg}$,

解得 $F = 8\text{N}$ 由 $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$ ，代入数据解得 $T_2 = 297\text{K}$

(ii) 当拉力 $F = 0$ 时， $p_3 = p_0 + \frac{m_1 g}{S}$ ，代入解得 $p_3 = 1.03 \times 10^5 \text{Pa}$,

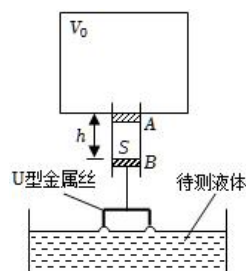
则 $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_3}{T_3}$ ，解得： $T_{\max} = T_3 = 309\text{K}$.



命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
电子天平测温度、 杠杆与气体压强。	理想气体状态方程、杠杆 原理、压强平衡。	查理定律、气体压强与 温度关系、受力分析。	实验设计、数据处 理、物理建模。

4. (2022·湖南) 如图，小赞同学设计了一个液体拉力测量仪。一个容积 $V_0 = 9.9\text{L}$ 的导热汽

缸下接一圆管，用质量 $m_1 = 90\text{g}$ 、横截面积 $S = 10\text{cm}^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞与圆管壁间摩擦不计。活塞下端用轻质细绳悬挂一质量 $m_2 = 10\text{g}$ 的 U 形金属丝，活塞刚好处于 A 位置。将金属丝部分浸入待测液体中，缓慢升起汽缸，使金属丝从液体中拉出，活



塞在圆管中的最低位置为 B。已知 A、B 间距离 $h = 10\text{cm}$ ，外界大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$ ，重力加速度取 10m/s^2 ，环境温度保持不变。求

(i) 活塞处于 A 位置时，汽缸中的气体压强 p_1 ；

(ii) 活塞处于 B 位置时，液体对金属丝拉力 F 的大小。

【解析】

(i) 活塞处于 A 位置时，根据活塞处于静止状态可知 $p_1 S + (m_1 + m_2) g = p_0 S$,

代入数据解得 $p_1 = 1.0 \times 10^5 \text{Pa}$,

(ii) 活塞处于 B 位置时, 根据活塞封闭一定质量的理想气体做等温变化,

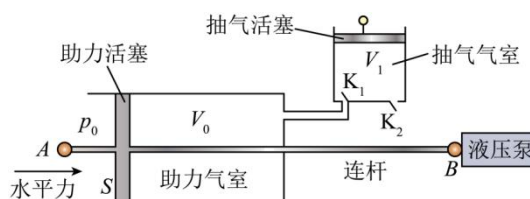
$$p_1 V_0 = p_2 (V_0 + Sh) \quad p_2 = p_0 - \frac{mg + F}{S_1}$$

联立解得 $F = 1 \text{N}$

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
液体拉力测量仪、 活塞升降。	玻意耳定律、活塞受力平衡。	等温过程、压强计算、 受力分析。	实际问题建模、 计算求解。

5. (2023·湖南) 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 。

【解析】

(1) 以助力气室内的气体为研究对象, 则初态压强 p_0 , 体积 V_0 , 第一次抽气后, 气体体积 $V = V_0 + V_1$, 根据玻意耳定律 $p_0 V_0 = p_1 V$

$$\text{解得: } p_1 = \frac{p_0 V_0}{V_0 + V_1}$$

(2) 同理第二次抽气 $p_1 V_0 = p_2 V$

$$\text{解得: } p_2 = \frac{p_1 V_0}{V_0 + V_1} = \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^2 p_0$$

以此类推.....

$$\text{则当 } n \text{ 次抽气后助力气室内的气体压强: } p_n = \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^n p_0$$

$$\text{则刹车助力系统为驾驶员省力大小为: } \Delta F = (p_0 - p_n)S = \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^n \right] p_0 S$$

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
汽车刹车助力装置、多次抽气。	玻意耳定律、递推关系、压强变化。	等温过程、压强递推公式、力与压强关系。	递推思维、建模能力、计算能力。

6. (2023·湖南) 一个充有空气的薄壁气球, 气球内气体压强为 p 、体积为 V 。气球内空气可视为理想气体。

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

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

【解析】

(1) 理想气体做等温变化, 根据玻意耳定律有: $pV = p_0 V_0$

$$\text{解得: } V_0 = \frac{pV}{p_0}$$

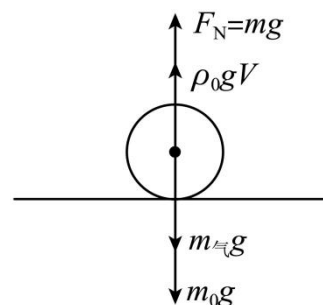
(2) 设气球内气体质量为 $m_{\text{气}}$, 密度为 $\rho_{\text{气}}$, 则等温变化中, 气体质量不变, 有:

$$m_{\text{气}} = \rho_{\text{气}} V = \rho_0 V_0$$

对气球进行受力分析如图所示:

根据气球的受力分析有: $mg + \rho_0 g V = m_{\text{气}} g + m_0 g$

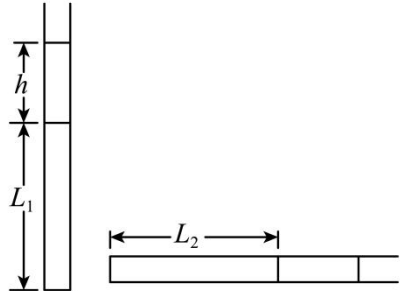
结合题中 p 和 V 满足的关系为: $(p - p_0)(V - V_{B0}) = C$



解得： $V = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
气球等温膨胀、气体质量与浮力。	玻意耳定律、浮力、气体状态方程。	等温过程、气体密度、浮力公式。	综合应用、方程联立、实际问题求解。

7. (2025•湖南) 用热力学方法可测量重力加速度。如图所示，粗细均匀的细管开口向上竖直放置，管内用液柱封闭了一段长度为 L_1 的空气柱。液柱长为 h ，密度为 ρ 。缓慢旋转细管至水平，封闭空气柱长度为 L_2 ，大气压强为 p_0 。



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

【解析】

(1) 竖直放置时里面气体的压强为 $p_1 = p_0 + \rho gh$

水平放置时里面气体的压强 $p_2 = p_0$

由等温过程可得： $p_1 L_1 s = p_2 L_2 s$ 解得： $g = \frac{p_0 (L_2 - L_1)}{L_1 \rho h}$

(2) 由等容过程 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 可知：代入数据可得 $g = 9.5 \text{ m/s}^2$

命题情境	追根溯源	必备知识	关键能力
细管旋转测重力加速度、温度变化。	玻意耳定律、查理定律、气体状态方程。	等温与等容过程、压强与高度关系。	实验数据处理、多过程综合分析。

湖南省高考物理气体实验定律及理想气体状态方程必备知识体系梳理

理

（基于 2020-2025 年真题）

通过对近六年真题的透析，我们可以将湖南近代物理考查的必备知识归纳为以下四个相层面，它们构成了应对气体实验定律及理想气状态方程物理高考题的“基石”。

知识模块	核心知识条目	复习提示（易错或关键点）
三大气体实验定律	1. 玻意耳定律（等温过程） $P_1 V_1 = P_2 V_2$	温度不变、质量不变时适用；湖南常考储气罐、活塞气缸问题。
	2. 查理定律（等容过程） $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$	体积不变；常与压强—温度图像结合考查。
	3. 盖-吕萨克定律（等压过程） $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	湖南高考较少单独考查，但需引起高度重视。
理想气体状态方程	4. 状态方程综合 $PV = nRT \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$	注意质量是否变化；分清 n （物质的量）与 m （质量）。
活塞与气缸模型	5. 静态平衡 $P_{\text{气}} S = P_0 S \pm mg \pm F_{\text{外}}$	注意活塞质量、外力方向；湖南常考缓慢移动过程。
	6. 动态过程分析 等温、等压、绝热过程判断	明确过程特点（如“缓慢加热”常视为等压）。
连通器与抽充气模型	7. 连接容器 • 调配总物质的量守恒 • 最终压强相等	如 2020 年两储气罐调配题
	8. 抽气/充气递推模型 • 等温抽气： $P_n = P_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^n$	2023 年刹车助力题；注意质量变化时可用密度法。

模块一：气体实验定律与单一过程应用

1. （2020•湖南）甲、乙两个储气罐储存有同种气体（可视为理想气体）。甲罐的容积为 V ，罐中气体的压强为 p ；乙罐的容积为 $2V$ ，罐中气体的压强为 $P = \frac{1}{2}P$ ，现通过连接两罐的细

管把甲罐中的部分气体调配到乙罐中去，两罐中气体温度相同且在调配过程中保持不变，调配后两罐中气体的压强相等。求调配后

(i) 两罐中气体的压强；

(ii) 甲罐中气体的质量与甲罐中原有气体的质量之比。

【解析】

(i) 对两罐中的甲、乙气体，气体发生等温变化，

$$\text{根据玻意耳定律有：} PV + \frac{1}{2}P \times 2V = P' \times 3V$$

$$\text{解得甲乙中气体最终压强为：} P' = \frac{2}{3}P$$

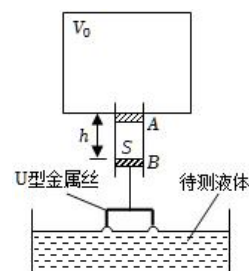
(ii) 若调配后将甲气体再等温压缩到气体原来的压强为 p ，

$$\text{根据玻意耳定律得：} P'V = PV'$$

$$\text{计算可得：} V' = \frac{2}{3}V$$

$$\text{由密度定律解得质量之比等于：} \frac{m}{m} = \frac{V'}{V} = \frac{2}{3}$$

2. (2022•湖南) 如图，小赞同学设计了一个液体拉力测量仪。一个容积 $V_0 = 9.9\text{L}$ 的导热汽缸下接一圆管，用质量 $m_1 = 90\text{g}$ 、横截面积 $S = 10\text{cm}^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞与圆管壁间摩擦不计。活塞下端用轻质细绳悬挂一质量 $m_2 = 10\text{g}$ 的 U 形金属丝，活塞刚好处于 A 位置。将金属丝部分浸入待测液体中，缓慢升起汽缸，使金属丝从液体中拉出，活塞在圆管中的最低位置为 B。已知 A、B 间距离 $h = 10\text{cm}$ ，外界大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5\text{Pa}$ ，重力加速度取 10m/s^2 ，环境温度保持不变。求



(i) 活塞处于 A 位置时，汽缸中的气体压强 p_1 ；

(ii) 活塞处于 B 位置时，液体对金属丝拉力 F 的大小。

【解析】

(i) 活塞处于 A 位置时，根据活塞处于静止状态可知 $p_1S + (m_1 + m_2)g = p_0S$ ，
代入数据解得 $p_1 = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$ ，

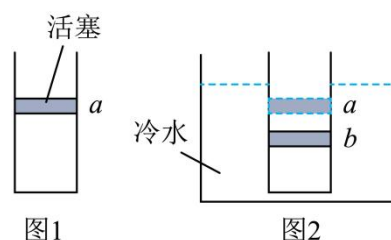
(ii) 活塞处于 B 位置时，根据活塞封闭一定质量的理想气体做等温变化，

$$p_1 V_0 = p_2 (V_0 + Sh) \quad p_2 = p_0 - \frac{mg + F}{S_1}$$

联立解得 $F = 1\text{N}$

3. (2025•四川) 如图 1 所示, 用活塞将一定质量的理想气体密封在导热气缸内, 活塞稳定在 a 处。将气缸置于恒温冷水中, 如图 2 所示, 活塞自发从 a 处缓慢下降并停在 b 处, 然后保持气缸不动, 用外力将活塞缓慢提升回 a 处。不计活塞与气缸壁之间的摩擦。则 ()

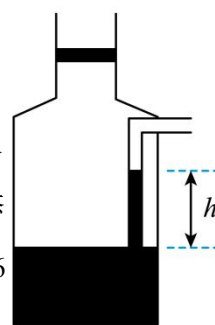
- A. 活塞从 a 到 b 的过程中, 气缸内气体压强升高
- B. 活塞从 a 到 b 的过程中, 气缸内气体内能不变
- C. 活塞从 b 到 a 的过程中, 气缸内气体压强升高
- D. 活塞从 b 到 a 的过程中, 气缸内气体内能不变



【解析】

AB. 根据题意可知活塞从 a 到 b 的过程中, 气缸内气体, 温度降低, 则内能减小, 体积减小, 压强不变, 故 AB 错误; CD. 根据题意可知活塞从 b 到 a 的过程中气缸内气体温度不变, 则内能不变, 体积增大, 根据玻意耳定律 $pV = C$ 可知压强减小, 故 C 错误, D 正确。故选 D。

4. (2025•浙江 1 月) 如图所示, 导热良好带有吸管的瓶子, 通过瓶塞密闭 $T_1 = 300\text{K}$, 体积 $V_1 = 1 \times 10^3\text{cm}^3$ 处于状态 1 的理想气体, 管内水面与瓶内水面高度差 $h = 10\text{cm}$ 。将瓶子放进 $T_2 = 303\text{K}$ 的恒温水中, 瓶塞无摩擦地缓慢上升恰好停在瓶口, h 保持不变, 气体达到状态 2, 此时锁定瓶塞, 再缓慢地从吸管中吸走部分水后, 管内和瓶内水面等高, 气体达到状态 3。已知从状态 2 到状态 3, 气体对外做功 1.02J ; 从状态 1 到状态 3, 气体吸收热量 4.56J , 大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5\text{Pa}$, 水的密度 $\rho = 1.0 \times 10^3\text{kg/m}^3$; 忽略表面张力和水蒸气对压强的影响。



(1) 从状态 2 到状态 3, 气体分子平均速率_____ (“增大”、“不变”、“减小”), 单位时间撞击单位面积瓶壁的分子数_____ (“增大”、“不变”、“减小”);

(2) 求气体在状态 3 的体积 V_3 ;

(3) 求从状态 1 到状态 3 气体内能的改变量 ΔU 。

【解析】

(1) 从状态 2 到状态 3, 温度保持不变, 气体分子的内能保持不变, 则气体分子平均速率不变, 由于气体对外做功, 则气体压强减小, 故单位时间撞击单位面积瓶壁的分子数减小。

(2) 气体从状态 1 到状态 2 的过程, 由盖-吕萨克定律 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ 其中 $V_1 = 1 \times 10^3 \text{ cm}^3$,

$T_1 = 300 \text{ K}$, $T_2 = 303 \text{ K}$ 解得 $V_2 = 1.01 \times 10^3 \text{ cm}^3$ 此时气体压强为 $p_2 = p_1 = p_0 + \rho gh = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$

气体从状态 2 到状态 3 的过程, 由玻意耳定律 $p_2 V_2 = p_3 V_3$ 其中 $p_3 = p_0$

代入数据解得, 气体在状态 3 的体积为 $V_3 = 1.0201 \times 10^3 \text{ cm}^3$

(3) 气体从状态 1 到状态 2 的过程中, 气体对外做功为 $W_1 = p_1(V_2 - V_1) = 1.01 \text{ J}$

由热力学第一定律 $\Delta U = Q - (W_1 + W_2)$

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

代入解得, 从状态 1 到状态 3 气体内能的改变量为 $\Delta U = 2.53 \text{ J}$

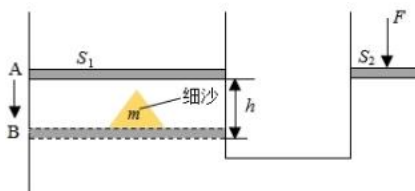
模块二：活塞—气缸模型与受力平衡

1. (2021•湖南) 如图, 两端开口、下端连通的导热汽缸, 用两个轻质绝热活塞 (截面积分别为 S_1 和 S_2) 封闭一定质量的理想气体, 活塞与汽缸壁间无摩擦。在左端活塞上缓慢加细沙, 活塞从 A 下降 h 高度到 B 位置时, 活塞上细砂的总质量为 m 。在此过程中, 用外力 F 作用在右端活塞上, 使活塞位置始终不变。整个过程环境温度和大气压强 p_0 保持不变, 系统始终处于平衡状态, 重力加速度为 g 。下列说法正确的是

是 ()

- A. 整个过程, 外力 F 做功大于 0, 小于 mgh
- B. 整个过程, 理想气体的分子平均动能保持不变
- C. 整个过程, 理想气体的内能增大
- D. 整个过程, 理想气体向外界释放的热量小于 $(p_0 S_1 h + mgh)$

E. 左端活塞到达 B 位置时, 外力 F 等于 $\frac{mgS_2}{S_1}$



【解析】

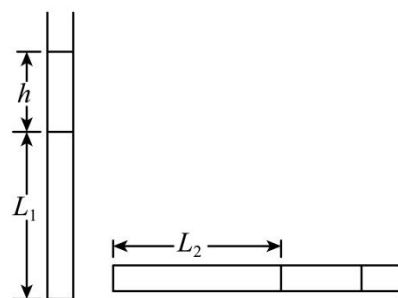
B、外力 F 作用在右端活塞上, 活塞位置不变, 可知在 F 作用下没有位移, 可知外力 F 做功为零, 故 A 错误; BC、气缸为导热汽缸, 环境温度不变, 所以气体状态变化过程中温度不变, 温度是分子平均动能的标志, 所以分子平均动能不变, 对于定质量的理想气体, 内能只与分子平均动能有关, 所以内能也不变, 故 B 正确, C 错误; D、此过程外界大气通过活塞对封闭气体做功为 $p_0 S_1 h$, 活塞下降过程, 因缓慢加细沙, 故细沙通过活塞对气体做功

小于 mgh ，所以外界对气体做功 $W < p_0 S_1 h + mgh$ ，根据 $\Delta U = Q + W$ ，因 $\Delta U = 0$ ，所以 $Q = -W$ ，即气体向外界释放的热量小于 $p_0 S_1 h + mgh$ ，故 D 正确；E、左端活塞到达 B 位置时，对左边活塞有：

$$p_{\text{气}} S_1 = p_0 S_1 + mg, \text{ 对于右边活塞有: } p_{\text{气}} S_2 = p_0 S_2 + F, \text{ 联立两式得: } F = \frac{mg S_2}{S_1}, \text{ 故 E 正确,}$$

故选：BDE。

2. (2025•湖南) 用热力学方法可测量重力加速度。如图所示，粗细均匀的细管开口向上竖直放置，管内用液柱封闭了一段长度为 L_1 的空气柱。液柱长为 h ，密度为 ρ 。缓慢旋转细管至水平，封闭空气柱长度为 L_2 ，大气压强为 p_0 。



(1) 若整个过程中温度不变，求重力加速度 g 的大小；

(2) 考虑到实验测量中存在各类误差，需要在不同实验

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

【解析】

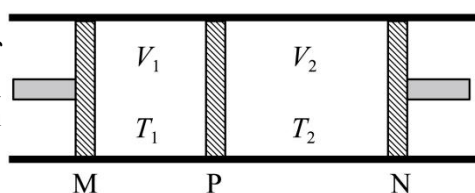
(1) 竖直放置时里面气体的压强为 $p_1 = p_0 + \rho gh$

水平放置时里面气体的压强 $p_2 = p_0$

$$\text{由等温过程可得: } p_1 L_1 S = p_2 L_2 S \quad \text{解得: } g = \frac{p_0 (L_2 - L_1)}{L_1 \rho h}$$

(2) 由等容过程 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ 可知：代入数据可得 $g = 9.5 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

3. (2025•河南) 如图，一圆柱形汽缸水平固置，其内部被活塞 M 、 P 、 N 密封成两部分，活塞 P 与汽缸壁均绝热且两者间无摩擦。平衡时， P 左、右两侧理想气体的温度分别为 T_1 和 T_2 ，体积分别为 V_1 和 V_2 ， $T_1 < T_2$, $V_1 < V_2$ 。则 ()



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

【解析】

AB. 由题干可知初始左右气体的压强相同，假设在升温的过程中 P 板不发生移动，则由定容过程 $\frac{p}{T} = \frac{\Delta p}{\Delta T} \Rightarrow \Delta p = \frac{p}{T} \Delta T$ ，可得左侧气体压强增加量多，则 P 板向右移动；A 正确 B 错误；

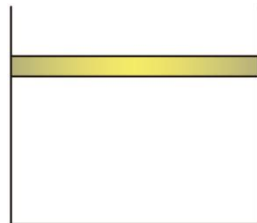
CD. 保持温度不变移动相同的距离时 $\frac{pV_1}{T_1} = C_1$ ， $p = \frac{C_1 T_1}{V_1}$ 同理 $\frac{C_1 T_1}{V_1} = \frac{C_2 T_2}{V_2}$ 得

$\frac{V_1}{C_1 T_1} = \frac{V_2}{C_2 T_2}$ ，若 P 不移动，则 $\frac{V_1 - \Delta V}{C_1 T_1} < \frac{V_2 - \Delta V}{C_2 T_2}$ ，故 $\frac{C_1 T_1}{V_1 - \Delta V} > \frac{C_2 T_2}{V_2 - \Delta V}$ ，则 $p_1 > p_2$ ，向右移

动，C 正确 D 错误。

故选 AC

4. (2025•海南) 如图，竖直放置的汽缸内有一横截面积 $S = 0.01\text{m}^2$ 的活塞，活塞质量忽略不计，活塞与汽缸无摩擦且密封良好。若活塞保持静止，气缸内密封一定质量的理想气体，气体温度 $T_0 = 300\text{K}$ ，气体体积 $V_0 = 5 \times 10^{-3}\text{m}^3$ 。设大气压强 $p_0 = 1 \times 10^5\text{Pa}$ ，重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ 。



(1) 若加热气体，使活塞缓慢上升，当气体体积变为 $V_1 = 7.5 \times 10^{-3}\text{m}^3$ ，求气体温度 T_1 ；

(2) 若往活塞上轻放质量为 $m = 25\text{kg}$ 的重物，且活塞下降过程中气体温度 T_0 不变，求稳定后的气体体积 V_2 。

【解析】

(1) 活塞缓慢上升过程中，气体做等压变化，根据盖-吕萨克定律 $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$

代入数值解得 $T_1 = 450\text{K}$

(2) 设稳定后气体的压强为 p_2 ，根据平衡条件有 $p_2 S = p_0 S + mg$ 分析可知初始状态

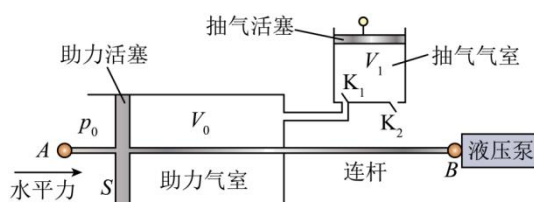
时气体压强与大气压相等为 p_0 ，整个过程根据玻意耳定律 $p_0 V_0 = p_2 V_2$

联立解得 $V_2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

模块三：多过程、质量变化与递推模型

1. (2023•湖南) 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 。

【解析】

(1) 以助力气室内的气体为研究对象，则初态压强 p_0 ，体积 V_0 ，第一次抽气后，气体体积 $V = V_0 + V_1$ ，根据玻意耳定律 $p_0 V_0 = p_1 V$

$$\text{解得： } p_1 = \frac{p_0 V_0}{V_0 + V_1}$$

(2) 同理第二次抽气 $p_1 V_0 = p_2 V$

$$\text{解得： } p_2 = \frac{p_1 V_0}{V_0 + V_1} = \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^2 p_0$$

以此类推.....

则当 n 次抽气后助力气室内的气体压强: $p_n = \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^n p_0$

则刹车助力系统为驾驶员省力大小为: $\Delta F = (p_0 - p_n)S = \left[1 - \left(\frac{V_0}{V_0 + V_1} \right)^n \right] p_0 S$

2. (2025•浙江) “拔火罐”是我国传统医学的一种疗法。治疗时, 医生将开口面积为 S 的玻璃罐加热, 使罐内空气温度升至 t_1 , 然后迅速将玻璃罐倒扣在患者皮肤上 (状态 1)。待罐内空气自然冷却至室温 t_2 , 玻璃罐便紧贴在皮肤上 (状态 2)。从状态 1 到状态 2 过程中罐内气体向外界放出热量 7.35J 。已知 $S = 1.6 \times 10^{-3} \text{m}^2$, $t_1 = 77^\circ\text{C}$, $t_2 = 27^\circ\text{C}$ 。忽略皮肤的形变, 大气压强 $p_0 = 1.05 \times 10^5 \text{Pa}$ 。求:



- (1) 状态 2 时罐内气体的压强;
- (2) 状态 1 到状态 2 罐内气体内能的变化;
- (3) 状态 2 时皮肤受到的吸力大小。

【详解】

(1) 状态 1 气体的温度 $T_1 = (77 + 273) \text{K} = 350\text{K}$ 压强 $p_1 = p_0 = 1.05 \times 10^5 \text{Pa}$

状态 2 气体的温度 $T_2 = (27 + 273) \text{K} = 300\text{K}$

气体做等容变化, 根据 $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

可得 $p_2 = 9 \times 10^4 \text{Pa}$

(2) 气体做等容变化, 外界对气体不做功, 气体吸收热量为 $Q = -7.35\text{J}$

根据热力学第一定律 $\Delta U = W + Q$

可得状态 1 到状态 2 罐内气体内能的变化 $\Delta U = -7.35\text{J}$

即气体内能减少 7.35J 。

(3) 罐内外的压强差 $\Delta p = p_0 - p_2 = 1.5 \times 10^4 \text{Pa}$

状态 2 皮肤受到的吸力大小 $F = \Delta p S = 24\text{N}$

3. (2025•广东) 如图是某铸造原理示意图, 往气室注入空气增加压强, 使金属液沿升液管进

入已预热的铸型室, 待铸型室内金属液冷却凝固后获得铸件。柱状铸型室通过排气孔与大气

相通，大气压强 $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ，铸型室底面积 $S_1 = 0.2 \text{ m}^2$ ，

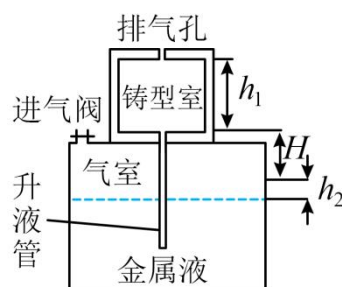
高度 $h_1 = 0.2 \text{ m}$ ，底面与注气前气室内金属液面高度差

$H = 0.15 \text{ m}$ ，柱状气室底面积 $S_2 = 0.8 \text{ m}^2$ ，注气前气室内

气体压强为 p_0 ，金属液的密度 $\rho = 5.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，重力

加速度取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，空气可视为理想气体，不计升液

管的体积。



(1) 求金属液刚好充满铸型室时，气室内金属液面下降的高度 h_2 和气室内气体压强 p_1 。

(2) 若在注气前关闭排气孔使铸型室密封，且注气过程中铸型室内温度不变，求注气后铸型室内的金属液高度为 $h_3 = 0.04 \text{ m}$ 时，气室内气体压强 p_2 。

【详解】

(1) 根据体积关系 $S_1 h_1 = S_2 h_2$ ，可得下方液面下降高度 $h_2 = 0.05 \text{ m}$

此时下方气体的压强 $p_1 = p_0 + \rho g(h_1 + H + h_2)$

代入数据可得 $p_1 = 1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$

(2) 初始时，上方铸型室气体的压强为 p_0 ，体积 $V = S_1 h_1$

当上方铸型室液面高为 $h_3 = 0.04 \text{ m}$ 时，体积为 $V' = S_1(h_1 - h_3)$

根据玻意耳定律 $p_0 V = p' V'$

可得此时上方铸型室液面高为 $h_3 = 0.04 \text{ m}$ 时，气体的压强为 $p' = 1.25 \times 10^5 \text{ Pa}$

同理根据体积关系 $S_1 h_3 = S_2 h_4$ 可得 $h_4 = 0.01 \text{ m}$

此时下方气室内气体压强 $p_2 = p' + \rho g(H + h_3 + h_4)$

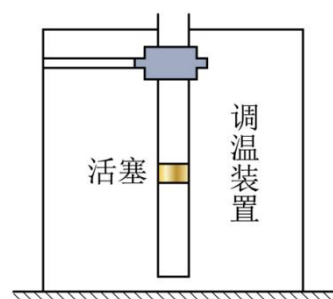
4. (2025•山东) 如图所示，上端开口，下端封闭的足够长玻璃管竖直固定于调温装置内。

玻璃管导热性能良好，管内横截面积为 S ，用轻质活塞封闭一定质量的理想气体。大气压强

为 p_0 ，活塞与玻璃管之间的滑动摩擦力大小恒为 $f_0 = \frac{1}{21} p_0 S$ ，等于最大静摩擦力。用调

温装置对封闭气体缓慢加热， $T_1 = 330 \text{ K}$ 时，气柱高度为 h_1 ，活

塞开始缓慢上升；继续缓慢加热至 $T_2 = 440 \text{ K}$ 时停止加热，活



塞不再上升；再缓慢降低气体温度，活塞位置保持不变，直到降温至 $T_3 = 400\text{K}$ 时，活塞才开始缓慢下降；温度缓慢降至 $T_4 = 330\text{K}$ 时，保持温度不变，活塞不再下降。求：

(1) $T_2 = 440\text{K}$ 时，气柱高度 h_2 ；

(2) 从 T_1 状态到 T_4 状态的过程中，封闭气体吸收的净热量 Q （扣除放热后净吸收的热量）。【解析】

(1) 活塞开始缓慢上升，由受力平衡 $p_0 S + f_0 = p_1 S$

可得封闭的理想气体压强 $p_1 = \frac{22}{21} p_0$

$T_1 \rightarrow T_2$ 升温过程中，等压膨胀，由盖-吕萨克定律 $\frac{h_1 S}{T_1} = \frac{h_2 S}{T_2}$ 解得 $h_2 = \frac{4}{3} h_1$

(2) $T_1 \rightarrow T_2$ 升温过程中，等压膨胀，外界对气体做功 $W_1 = -p_1(h_2 - h_1)S = -\frac{22p_0 h_1 S}{63}$

$T_2 \rightarrow T_3$ 降温过程中，等容变化，外界对气体做功 $W_2 = 0$

活塞受力平衡有 $p_0 S = f_0 + p_3 S$ 解得封闭的理想气体压强 $p_3 = \frac{20}{21} p_0$

$T_3 \rightarrow T_4$ 降温过程中，等压压缩，由盖-吕萨克定律 $\frac{h_2 S}{T_3} = \frac{h_4 S}{T_4}$ 解得 $h_4 = \frac{11}{10} h_1$

外界对气体做功 $W_3 = p_3(h_2 - h_4)S = \frac{14p_0 h_1 S}{63}$

全程中外界对气体做功 $W = W_1 + W_2 + W_3 = \frac{-8p_0 h_1 S}{63}$

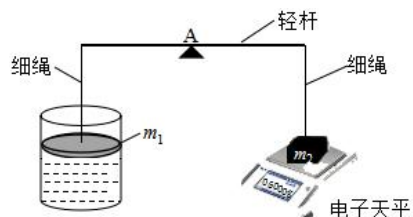
因为 $T_1 = T_4$ ，故封闭的理想气体总内能变化 $\Delta U = 0$ ，利用热力学第一定律

$\Delta U = W + Q$ 解得 $Q = \frac{8p_0 h_1 S}{63}$

故封闭气体吸收的净热量 $Q = \frac{8p_0 h_1 S}{63}$ 。

模块四：力热综合与真实情境建模

1. (2021•湖南) 小赞同学设计了一个用电子天平测量环境温度的实验装置，如图所示。导热汽缸开口向上并固定在桌面上，用质量 $m_1 = 600\text{g}$ 、截面积 $S = 20\text{cm}^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞与汽缸壁间无摩擦。



一轻质直杆中心置于固定支点 A 上，左端用不可伸长的细绳竖直悬挂活塞，右端用相同细

绳竖直悬挂一个质量 $m_2=1200\text{g}$ 的铁块，并将铁块放置到电子天平上。当电子天平示数为 600.0g 时，测得环境温度 $T_1=300\text{K}$ 。设外界大气压强 $p_0=1.0\times 10^5\text{Pa}$ ，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ，轻杆始终保持水平。

(i) 当电子天平示数为 400.0g 时，环境温度 T_2 为多少？

(ii) 该装置可测量的最高环境温度 T_{\max} 为多少？

【解析】

(i) 轻质直杆中心置于固定支点 A 上，根据杠杆原理可知，两根细绳上的拉力相等。

对铁块受力分析如图所示：

电子天平示数为 600g 时，气体 $p_1=p_0=1\times 10^5\text{Pa}$ ， $T_1=300\text{K}$ ，

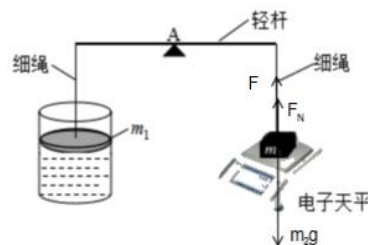
示数为 400g 时， $p_2=p_0+\frac{m_1g-F}{S}$ ，其中，拉力 $F=m_2g-m_0g$ ，

其中 $m_0=400\text{g}=0.4\text{kg}$ ， $m_1=600\text{g}=0.6\text{kg}$ ， $m_2=1200\text{g}=1.2\text{kg}$ ，

解得 $F=8\text{N}$ 由 $\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2}$ ，代入数据解得 $T_2=297\text{K}$

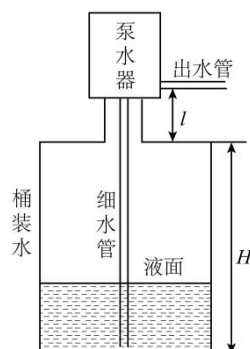
(ii) 当拉力 $F=0$ 时， $p_3=p_0+\frac{m_1g}{S}$ ，代入解得 $p_3=1.03\times 10^5\text{Pa}$ ，

则 $\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_3}{T_3}$ ，解得： $T_{\max}=T_3=309\text{K}$ 。



2. (2025·江西) 如图所示，一泵水器通过细水管与桶装水相连。按压一次泵水器可将压强等于大气压强 p_0 、体积为 V_0 的空气压入水桶中。在设计泵水器时应

计算出 V_0 的临界值 V_{0c} ，当 $V_0=V_{0c}$ 时，在液面最低的情况下仅按压一次泵水器恰能出水。设桶身的高度和横截面积分别为 H 、 S ，颈部高度为 l ，按压前桶中气体压强为 p_0 。不考虑温度变化和漏气，忽略桶壁厚度及桶颈部、细水管和出水管的体积。已知水的密度为 ρ ，重力加速度为 g 。该临界值 V_{0c} 等于 ()



A. $\frac{\rho g S}{p_0} H^2$

B. $\frac{\rho g S}{p_0} H(H+l)$

$$\text{C. } \frac{p_0 - \rho g(H+l)}{p_0} SH$$

$$\text{D. } \frac{p_0 + \rho g(H+l)}{p_0} SH$$

【解析】

根据题意，设往桶内压入压强为 p_0 、体积为 V_{0c} 的空气后，桶内气体压强增大到 p ，根据玻意耳定律有 $p_0 SH + p_0 V_{0c} = p SH$ ，泵水器恰能出水满足 $p = p_0 + \rho g(H+l)$

联立解得 $V_{0c} = \frac{\rho g S}{p_0} H(H+l)$ ，故选 B。

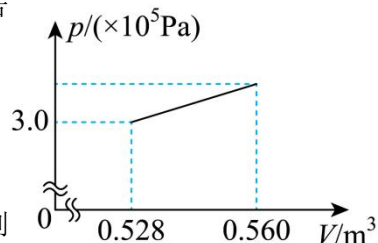
3. (2025·陕晋青宁) 某种卡车轮胎的标准胎压范围为 $2.8 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 3.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。卡车行驶过程中，一般胎内气体的温度会升高，体积及压强也会增大。若

某一行驶过程中胎内气体压强 p 随体积 V 线性变化如图所示，

温度 T_1 为 300K 时，体积 V_1 和压强 p_1 分别为 0.528 m^3 、

$3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ；当胎内气体温度升高到 T_2 为 350K 时，体积增大到

V_2 为 0.560 m^3 ，气体可视为理想气体。



(1) 求此时胎内气体的压强 p_2 ；

(2) 若该过程中胎内气体吸收的热量 Q 为 $7.608 \times 10^4 \text{ J}$ ，求胎内气体的内能增加量 ΔU 。

【详解】

(1) 气体可视为理想气体，根据理想气体状态方程 $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

整理代入数据得 $p_2 = \frac{p_1 T_2 V_1}{T_1 V_2} = 3.3 \times 10^5 \text{ Pa}$

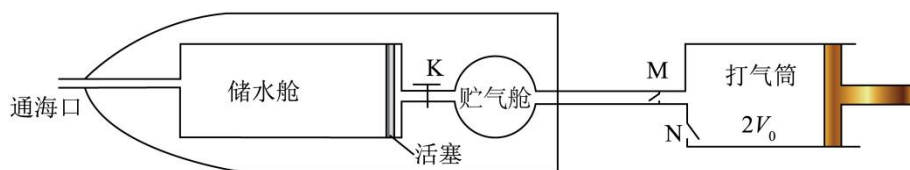
(2) p - V 图线与 V 轴围成的面积代表做功的大小，该过程气体体积增大，则气体对外做功，可得外界对气体做功为 $W = -\frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = -1.008 \times 10^4 \text{ J}$

由热力学第一定律 $\Delta U = Q + W$

代入数据可得 $\Delta U = 6.6 \times 10^4 \text{ J}$

4. (2025·河南·一模) 某同学设计如图所示潜艇模型的截面示意图，容积为 V_0 的贮气舱通过细管与储水舱连接，储水舱中有一厚度忽略不计的轻活塞，容积大于 V_0 的储水舱通过通海口与海水连通。某次下潜前，在海面上保持阀门 K 关闭，贮气舱内有压强为 p_0 、体积为 V_0 的空气，现用容积为 $2V_0$ 的打气筒向贮气舱充气，贮气舱与打气筒相连，且该连接口有两开关

M、N（M、N 均为单向通气），现在向贮气舱内用打气筒连续打了 10 次气体，每次打入气体的体积均为 $2V_0$ ，压强为 p_0 。当潜艇静止潜在某深度处时，活塞位于最右端，储水舱内充满水。现打开阀门 K，向储水舱压入一定量的气体后，关闭阀门 K，活塞左移，排出水的体积为 V_0 ，贮气舱内剩余气体的压强变为 $12p_0$ ，排水过程中气体温度不变，潜水艇深度不变。已知大气压强为 p_0 ，重力加速度为 g ，海水密度为 ρ ，忽略温度的变化和海水密度随深度的变化。求：



(1) 潜艇下潜前，充气完成后贮气舱内空气的压强 p_1 ；

(2) 潜艇所在的深度 h 。

【解析】

(1) 对贮气舱内原有气体和打入的气体，由玻意耳定律得

$$p_0(V_0 + 20V_0) = p_1V_0 \quad \text{解得 } p_1 = 21p_0$$

(2) 潜艇在深度 h 处的压强为 $p_2 = p_0 + \rho gh$

对于贮气舱和储水舱的气体，根据玻意耳定律得 $p_1V_0 = p_2V_0 + 12p_0V_0$

$$\text{联立解得 } h = \frac{8p_0}{\rho g}$$

