

# 第十五章 热

## 目录

<b>1 分子动理论内能固体和液体</b>	<b>3</b>
1.1 考点 1 分子动理论内能	3
1.1.1 一、物体是由大量分子组成的	3
1.1.2 二、分子的两种模型	3
1.1.3 三、宏观量与微观量及其相互关系	3
1.1.4 四、分子永不停息的无规则运动	4
1.1.5 五、分子间作用力与分子势能的比较	4
1.1.6 即练即清	5
1.1.7 六、分子动能、分子势能与内能的比较	6
1.1.8 典例 1	6
1.1.9 高考变式	6
1.2 考点 2 固体和液体性质的理解	7
1.2.1 一、固体	7
1.2.2 二、液体	7
1.2.3 即练即清	9
1.2.4 典例 2	10
1.2.5 提分关键 • 规律总结	12
<b>2 气体的性质</b>	<b>12</b>
2.1 考点 1 气体压强	12
2.1.1 即练即清	12
2.2 考点 2 气体实验定律理想气体状态方程	13
2.2.1 典例 1	13
2.2.2 提分关键 • 规律总结	14
2.3 考点 3 气体状态变化的图像问题	14
2.3.1 能力进阶	14
2.3.2 提分关键 • 方法提升	15
2.4 玻璃管 - 液柱模型	15
2.4.1 教考衔接	16
2.4.2 提分关键 • 规律总结	17
2.5 活塞 - 汽缸模型	17
2.5.1 题型活塞 - 汽缸模型	17
2.5.2 能力进阶	19

# 目录

2

2.6	气体变质量问题	20
2.6.1	题型气体变质量问题	20
2.6.2	教考衔接	21
<b>3</b>	<b>热力学定律与能量守恒定律</b>	<b>22</b>
3.1	考点 1 热力学定律能量守恒定律	22
3.1.1	一、热力学第一定律	22
3.1.2	二、热力学第二定律	23
3.1.3	三、能量守恒定律	23
3.1.4	即练即清	23
3.2	考点 2 热力学第一定律与图像的综合应用	24
3.2.1	典例 1	24
3.2.2	高考变式	25
3.3	考点 3 热力学第一定律与气体实验定律的综合应用	25
3.3.1	典例 2	26
<b>4</b>	<b>实验 17 用油膜法估测油酸分子的大小</b>	<b>28</b>
4.1	一、实验原理及装置图	28
4.2	二、操作要领及注意事项	28
4.3	三、数据处理	28
4.4	四、误差分析	28
<b>5</b>	<b>探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系</b>	<b>29</b>
5.1	一、实验原理及装置图	29
5.2	二、操作要领及注意事项	29
5.3	三、数据处理	30
5.4	四、误差分析	30

# 1 分子动理论内能固体和液体

## 1.1 考点 1 分子动理论内能

### 1.1.1 一、物体是由大量分子组成的

1. 分子直径的数量级为  $10^{-10}$  m，分子质量的数量级为  $10^{-26}$  kg。
2. 阿伏加德罗常数：1 mol 的任何物质中含有  $N_A = 6.02 \times 10^{23}$  个分子， $N_A$  即阿伏加德罗常数。

### 1.1.2 二、分子的两模型

物理现象对比表

	衰变	衰变
衰变方程	${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\text{He}$	${}^A_ZX \rightarrow {}^A_{Z+1}Y + {}^0_{-1}e$
衰变实质	2 个质子和 2 个中子结合成一个整体	1 个中子转化为 1 个质子和 1 个电子
	$2{}^1_1H + 2{}^1_0n \rightarrow {}^4_2He$	${}^1_0n \rightarrow {}^1_1H + {}^0_{-1}e$
匀强磁场中轨迹形状	带正电的粒子向一侧弯曲运动	带负电的粒子向另一侧弯曲运动
衰变规律	电荷数守恒、质量数守恒	
	球体模型	立方体模型
对象	固体和液体分子	气体分子
图示	分子被近似为紧密堆积的小球	分子被近似为分散排列的小立方体
关系	$d = \sqrt[3]{\frac{6V_0}{\pi}}$	$d = \sqrt[3]{V_0}$
意义	d 为分子直径， $V_0$ 为分子体积	d 为气体分子间的平均距离， $V_0$ 为分子所占空间体积

### 1.1.3 三、宏观量与微观量及其相互关系

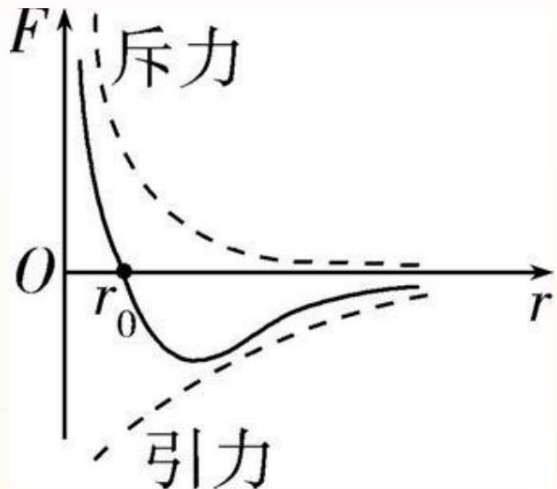
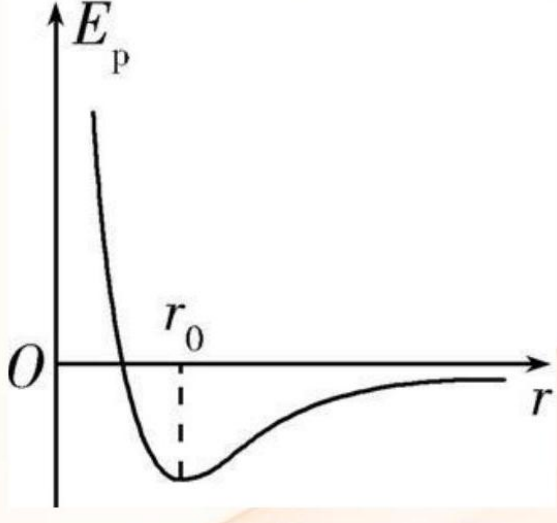
- (1) 微观量：分子体积  $V_0$ 、分子直径  $d$ 、分子质量  $m_0$ 。
- (2) 宏观量：摩尔体积  $V_{\text{mol}}$ 、摩尔质量  $M$ 、物体的体积  $V$ 、物体的质量  $m$ 、物体的密度  $\rho$ 。
- (3) 几个重要关系：
  1. 分子质量： $m_0 = \frac{M}{N_A} = \frac{\rho V_{\text{mol}}}{N_A}$ 。
  2. 分子体积： $V_0 = \frac{V_{\text{mol}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A}$ （对气体， $V_0$  为分子所占空间体积）。

3. 物体所含的分子数： $N = \frac{V}{V_{\text{mol}}} N_A = \frac{m}{\rho V_{\text{mol}}} N_A$  或  $N = \frac{m}{M} N_A = \frac{\rho V}{M} N_A$ 。

#### 1.1.4 四、分子永不停息的无规则运动

1. 分子热运动：分子在做永不停息的无规则运动。
2. 扩散现象：相互接触的不同物质彼此进入对方的现象。
  - (1) 扩散现象直接地反映了分子的热运动。
  - (2) 影响因素：温度。温度越高，扩散越快。
3. 布朗运动：悬浮在液体或气体中的微粒的无规则运动。
  - (1) 布朗运动不是分子的运动，但间接反映了液体或气体分子的无规则运动。
  - (2) 影响因素：微粒大小和温度。微粒越小，温度越高，布朗运动越明显。
4. 分子运动速率分布规律：
  - (1) 在任意一温度下，气体分子的速率都按“中间多、两头少”的规律分布。
  - (2) 温度升高时，“中间多”的这一“高峰”向速率大的方向移动，速率小的分子数减少，速率大的分子数增多，分子的平均速率增大，但不是每个分子的速率都增大。

#### 1.1.5 五、分子间作用力与分子势能的比较

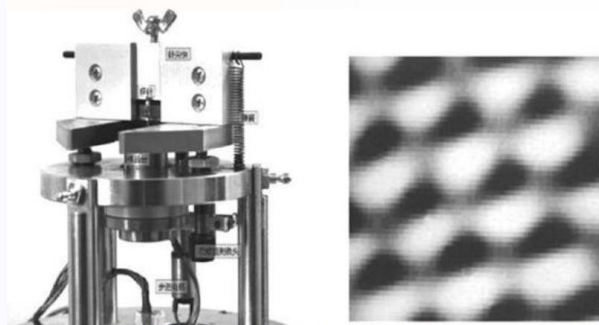
物理量	F-r / E <sub>p</sub> -r 图像
分子间作用力 $F$	
分子势能 $E_p$	

### 1.1.6 即练即清

判断正误，正确的打  $\checkmark$ ，错误的打  $\times$ 。

我国科学家用扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面原子的排布图如图所示，图中的每个亮斑都是一个碳原子。

- (1) 石墨中的碳原子的形状均为球形。(  $\times$  )
- (2) 1 mol 的石墨中含有相同的碳原子数。(  $\checkmark$  )



- (3) 石墨中的碳原子是静止不动的。(×)
- (4) 两个碳原子间不可能同时存在斥力与引力。(×)
- (5) 分子势能随着分子间距离的增大, 可能先减小后增大。(√)

### 1.1.7 六、分子动能、分子势能与内能的比较

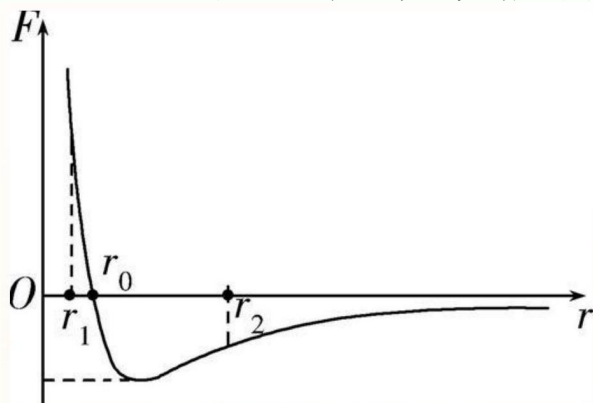
点拨提醒 (1) 分子势能与重力势能、弹性势能、电势能类似, 都是与某种力对应、由相对位置决定的能量。

(2) 分子势能为 0 和分子势能最小的含义不同, 前者与选择的零势能点有关, 而后者的位置一定在  $r = r_0$  处。

### 1.1.8 典例 1

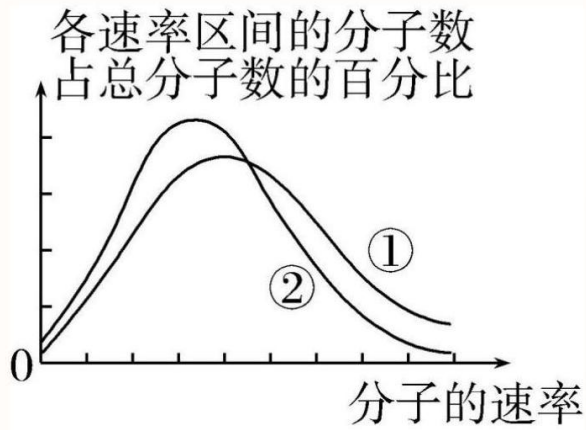
(2020 北京, 10,3 分) 分子力  $F$  随分子间距离  $r$  的变化如图所示。将两分子从相距  $r = r_2$  处释放, 仅考虑这两个分子间的作用, 下列说法正确的是 ( )

- 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

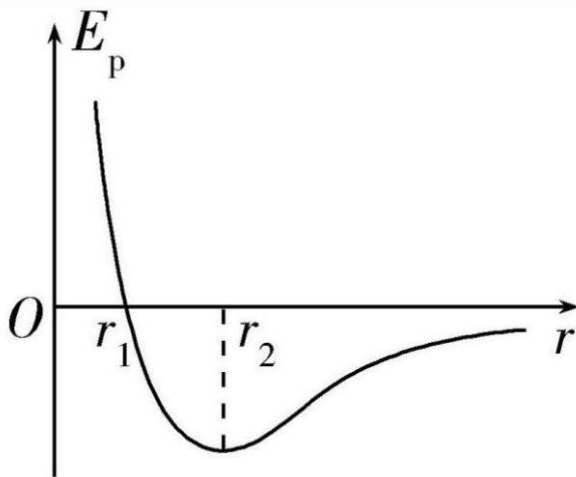


### 1.1.9 高考变式

(图像变化与联系) 图甲是一定质量的某种气体在不同温度下的气体分子运动速率分布曲线; 图乙是分子势能  $E_p$  与两分子间距离  $r$  的关系曲线。下列说法正确的是 ( )



甲



- A. 甲：同一温度下，气体分子热运动的速率都呈”中间多、两头少”的分布
- B. 甲：气体在 (1) 状态下的内能小于在 (2) 状态下的内能
- C. 乙：当  $r$  大于  $r_1$  时，分子间的作用力表现为引力
- D. 乙：在  $r$  由  $r_1$  变到  $r_2$  的过程中分子间作用力做负功

## 1.2 考点 2 固体和液体性质的理解

### 1.2.1 一、固体

固体可分为晶体和非晶体，晶体又可分为单晶体和多晶体。

### 1.2.2 二、液体

1. 液体的表面张力：

定义	使液体表面绷紧的力
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，作用力表现为引力
方向	和液面相切，垂直于液面上的各条分界线
作用	使液体表面具有收缩的趋势，使液体表面积趋于最小

## 2. 浸润和不浸润：

(1) 浸润：一种液体会润湿某种固体并附着在固体的表面上，这种现象叫作浸润。

(2) 不浸润：一种液体不会润湿某种固体，也就不会附着在这种固体的表面，这种现象叫作不浸润。

## 3. 毛细现象：

定义：浸润液体在细管中上升的现象，以及不浸润液体在细管中下降的现象，称为毛细现象（如图所示）。

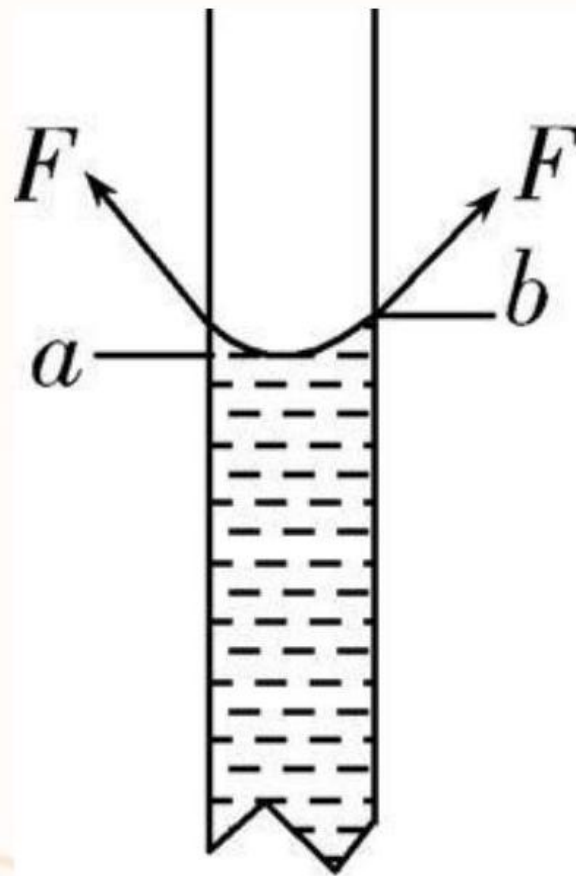


图 1: 浸润液体

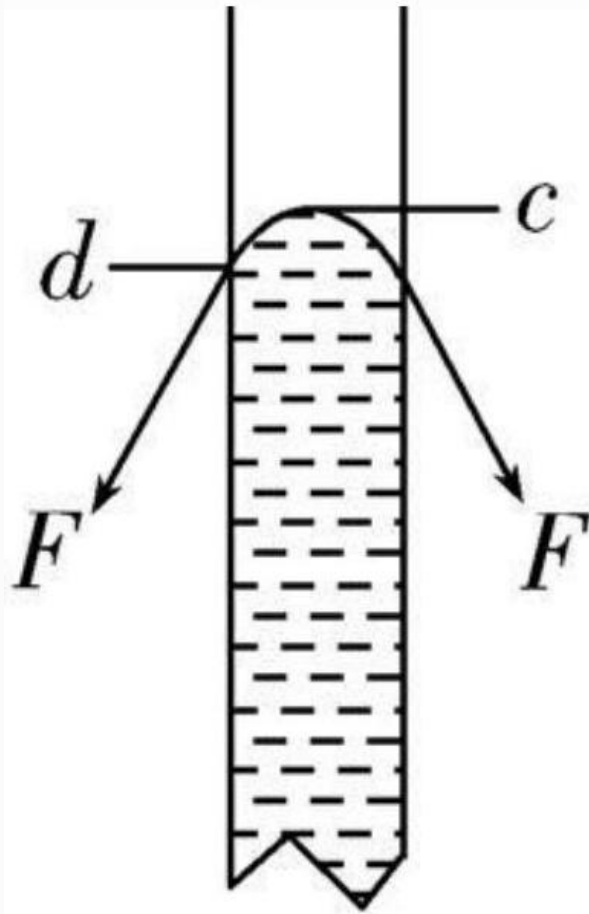


图 2: 不浸润液体

(2) 特点：细管内径越小，毛细现象越明显。

#### 4. 液晶：

(1) 液晶的物理性质：具有液体的流动性；具有晶体的光学各向异性。

(2) 液晶的微观结构：从某个方向上看，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。

### 1.2.3 即练即清

判断正误，正确的打  $\checkmark$ ，错误的打  $\times$ 。

(1) 将一块晶体敲碎后，得到的小颗粒是非晶体。(  $\times$  )

(2) 在合适条件下，某些晶体可以转化为非晶体，某些非晶体也可以转化为晶体。(  $\checkmark$  )

(3) 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。(  $\times$  )

(4) 水在涂有油脂的玻璃板上能形成水珠，而在干净的玻璃板上却不能，这是因为油脂使水的表面张力增大。(  $\times$  )

(5) 在毛细现象中，毛细管中的液面有的升高，有的降低，这与液体的种类和毛细管的材质有关。(  $\checkmark$  )

1.2.4 典例 2

(原创) 下列几幅图对应的说法中正确的是 ()

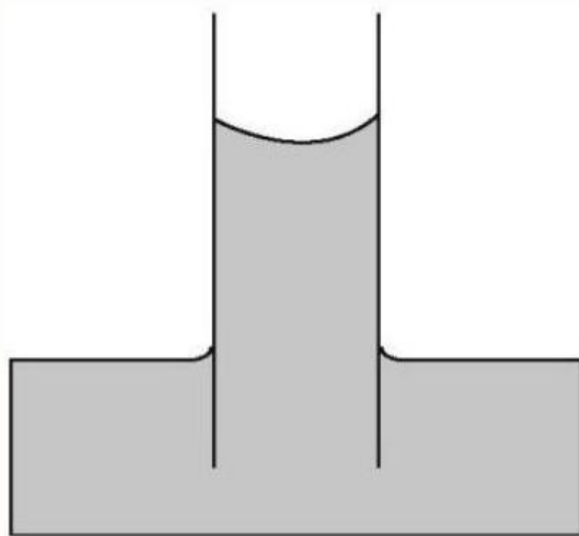


图 3: 甲

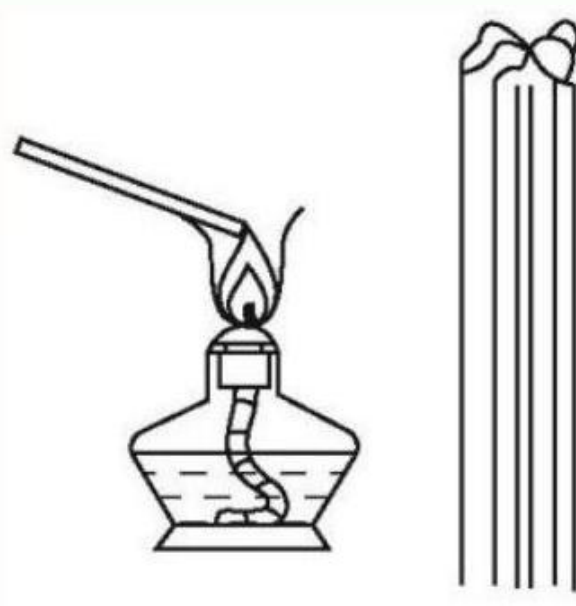


图 4: 乙

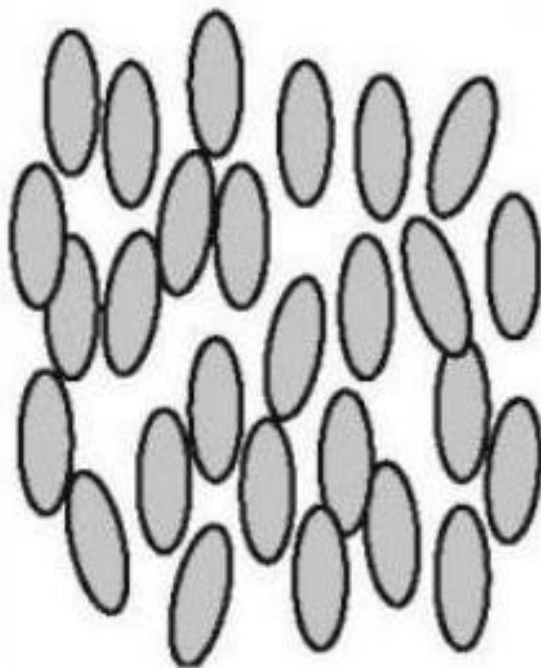


图 5: 丙



图 6: 丁

- A. 图甲是玻璃管插入某液体中的情形，表明该液体能够浸润玻璃
- B. 图乙中玻璃管锋利的断口在烧熔后变钝，原因是玻璃是非晶体，加热后变成晶体
- C. 丙图中说明液晶不是晶体，因此它不具有光学各向异性的特点
- D. 图丁中水黾静止在水面上，是浮力作用的结果

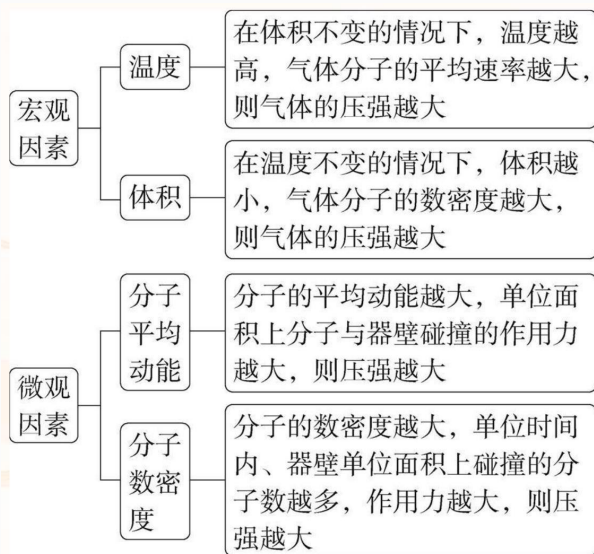
### 1.2.5 提分关键 · 规律总结

- (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) 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。
- (3) 晶体和非晶体在一定条件下可以相互转化。

## 2 气体的性质

### 2.1 考点 1 气体压强

1. 产生原因：气体中大量分子做无规则运动时对器壁频繁碰撞而形成对器壁各处均匀、持续的压力。
2. 决定因素（一定质量的某种理想气体）：



#### 2.1.1 即练即清

判断正误，正确的打  $\checkmark$ ，错误的打  $\times$ 。

- (1) 气体对容器壁有压强是大量气体分子对容器壁频繁碰撞的结果。(  $\checkmark$  )
- (2) 气体对器壁的压强是由气体的重力产生的。(  $\times$  )
- (3) 一定质量的理想气体体积不变时，温度越高，单位时间内容器壁单位面积受到气体分子撞击的次数越多。(  $\checkmark$  )

## 2.2 考点 2 气体实验定律理想气体状态方程

1. 气体实验定律：

	玻意耳定律	查理定律	盖 - 吕萨克定律
表达式	$p_1 V_1 = p_2 V_2$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ $\Delta p = \frac{p_1}{T_1} \Delta T$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $\Delta V = \frac{V_1}{T_1} \Delta T$

2. 理想气体状态方程：

(1) 理想气体：

1. 定义：在任何温度、任何压强下都遵从气体实验定律的气体。

2. 理想气体特点：理想气体不计分子间的作用力，即不计分子势能，其内能仅由温度决定。

(2) 理想气体状态方程： $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$  或  $\frac{pV}{T} = C$  (质量一定的理想气体)。

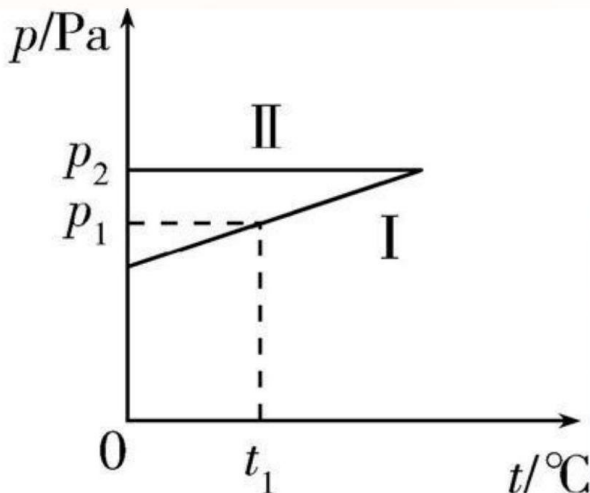
点拨提醒理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$ ，式中的  $C$  是与  $p V T$  无关的常量，它与气体的质量、种类有关。

### 2.2.1 典例 1

某同学探究一封闭汽缸内理想气体的状态变化特性，得到压强  $p$  随温度  $t$  的变化如图所示。已知图线 I 描述的是体积为  $V_1$  的等容过程，当温度为  $t_1$  时气体的压强为  $p_1$ ；图线 II 描述的是压强为  $p_2$  的等压过程。取  $0^\circ\text{C}$  为 273 K，求

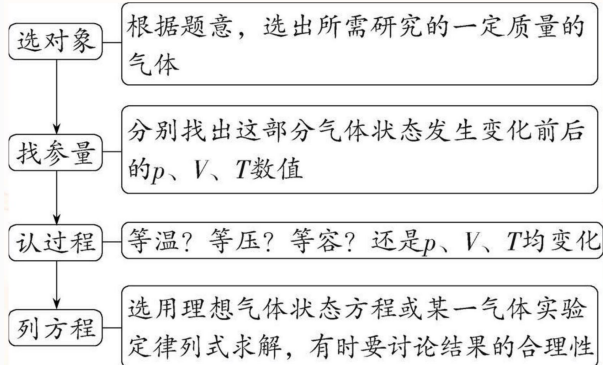
(1) 等容过程中，温度为  $0^\circ\text{C}$  时气体的压强；

(2) 等压过程中，温度为  $0^\circ\text{C}$  时气体的体积。



### 2.2.2 提分关键 · 规律总结

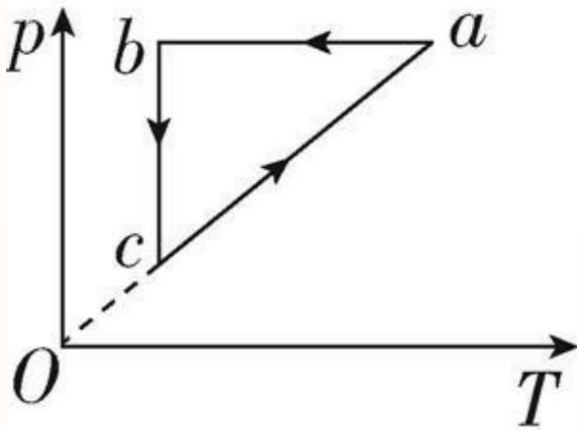
利用气体实验定律、理想气体状态方程解决问题的基本思路：



## 2.3 考点 3 气体状态变化的图像问题

### 2.3.1 能力进阶

典例 2 一定质量的理想气体经过一系列变化过程，如图所示，下列说法中正确的是 ( )



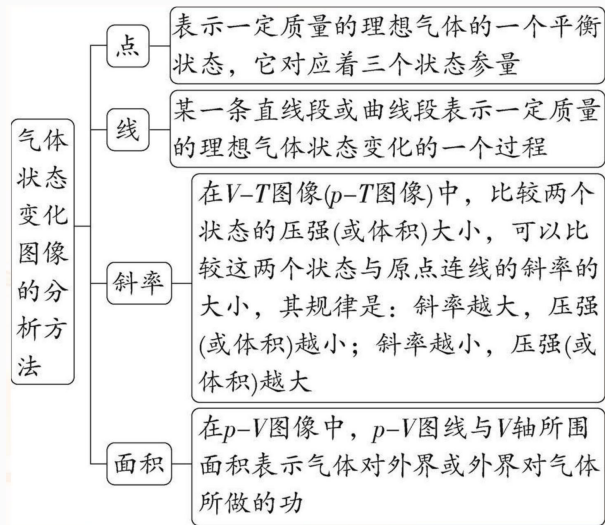
- A.  $a \rightarrow b$  过程中，气体温度降低，体积增大
- B.  $b \rightarrow c$  过程中，气体温度不变，体积减小
- C.  $c \rightarrow a$  过程中，气体压强增大，体积不变
- D. 在  $c$  状态时，气体的体积最小

进阶 1 根据气体状态变化的  $p-T$  图像，定性作出三个过程的  $V-T$  图像。

进阶 2 根据气体状态变化的  $p-T$  图像，定性作出三个过程的  $p-V$  图像。

### 2.3.2 提分关键 · 方法提升

处理气体状态变化的图像问题要抓住“点、线、斜率、面积”：



## 2.4 玻璃管 - 液柱模型

## 1. 玻璃管 - 液柱模型的核心研究对象是什么？

热学研究对象	被液柱封闭的气体	依据气体实验定律或理想气体状态方程列出方程
力学研究对象	液柱	对液柱进行受力分析，列相关方程

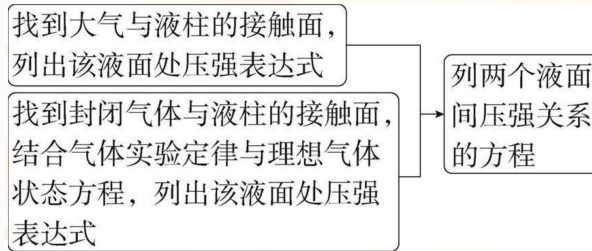
## 2. 两种研究对象的区别在哪里？

连通的气体压强处处相等，而液体的压强与该位置的高度有关。

## 3. 玻璃管 - 液柱模型的核心方程是什么？

一段液柱下表面处的压强等于液柱上表面处的压强加上由于液柱重力产生的压强，即  $p_{\text{上}} + \rho gh = p_{\text{下}}$ 。其中  $h$  是两液面间的高度差，而非液柱的长度。

## 4. 解决玻璃管 - 液柱模型的基本步骤：

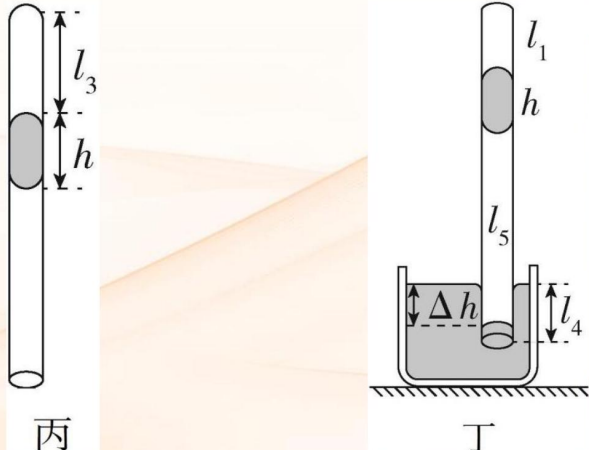


## 2.4.1 教考衔接

典例 1 (人教版选必三 P<sub>44</sub>, T<sub>6</sub> 改编) 一端开口且粗细均匀的玻璃管长  $l = 103 \text{ cm}$ ，用长  $h = 10 \text{ cm}$  的水银柱封闭一定质量的空气 (可视为理想气体)。当管开口向上竖直放置时，封闭空气柱的长度  $l_1 = 13 \text{ cm}$ ，如图甲所示，已知大气压强  $p_0 = 75 \text{ cmHg}$ ，整个过程环境温度保持  $17^\circ\text{C}$  不变。



图 7: 甲



丙

丁

(1) (回归教材) 当将玻璃管缓慢转至水平放置时, 如图乙所示, 求空气柱的长度  $l_2$  (保留三位有效数字);

(2) (情境变式) 在竖直平面内缓慢转动玻璃管, 当玻璃管开口向下竖直放置时, 如图丙所示, 求被封闭空气柱的长度  $l_3$ ;

(3) (拓展变式 1) 将玻璃管开口端向下缓慢插入足够深的水银槽中, 直到玻璃管顶部封闭空气柱的长度重新变为 13 cm 为止, 如图丁所示, 求此时玻璃管插入水银槽的长度  $l_4$ ;

(4) (拓展变式 2) 若使玻璃管开口向上做  $a = 5 \text{ m/s}^2$  的匀加速直线运动,  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ , 求稳定后被封闭空气柱的长度  $l'$  (保留三位有效数字)。

(5) (链接高考) [2023 全国乙, 33 (2), 10 分] 如图, 竖直放置的封闭玻璃管由管径不同、长度均为 20 cm 的 A、B 两段细管组成, A 管的内径是 B 管的 2 倍, B 管在上方。管内空气被一段水银柱隔开, 水银柱在两管中的长度均为 10 cm。现将玻璃管倒置使 A 管在上方, 平衡后, A 管内的空气柱长度改变 1 cm。求 B 管在上方时, 玻璃管内两部分气体的压强。(气体温度保持不变, 以 cmHg 为压强单位)

### 2.4.2 提分关键 · 规律总结

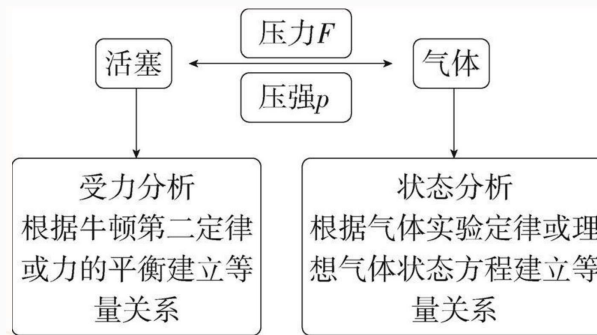
加速运动系统中封闭气体压强的求法:

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

## 2.5 活塞 - 汽缸模型

### 2.5.1 题型活塞 - 汽缸模型

1. 活塞 - 汽缸模型中的解题思路:



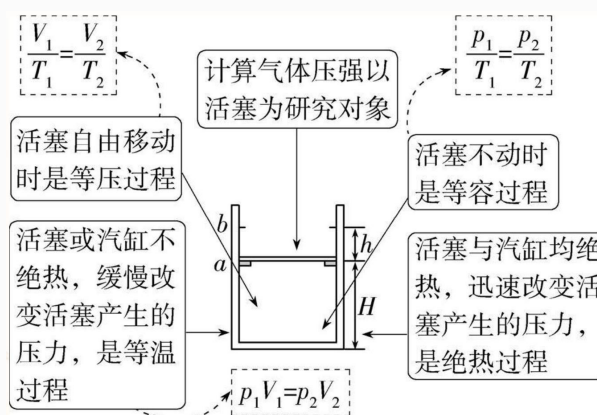
## 2. 以活塞为研究对象，如何处理活塞 - 汽缸模型？

- (1) 明确活塞的质量是否忽略不计，明确活塞是水平放置还是竖直放置，如果竖直放置，是否考虑活塞的重力产生的压强。
- (2) 活塞如果处于力学平衡状态，则要对活塞进行受力分析，根据受力平衡得出气体的压强大小或活塞两侧的隔离气体的压强关系。
- (3) 活塞如果处于力学非平衡状态，则要对活塞进行受力分析，根据牛顿运动定律得出气体压强的大小或活塞两侧的隔离气体的压强关系。

## 3. 以气体为研究对象，如何处理活塞 - 汽缸模型？

- (1) 如果气体在单个汽缸中，需明确气体的变化过程，分析清楚气体初末状态及初末状态的温度、压强、体积，再依据气体实验定律或理想气体状态方程列出方程。
- (2) 如果涉及两个或多个汽缸封闭着几部分气体，并且气体之间相互关联，解答时应分别研究各部分气体，找出它们各自遵循的规律，并写出相应的方程，最后联立求解。

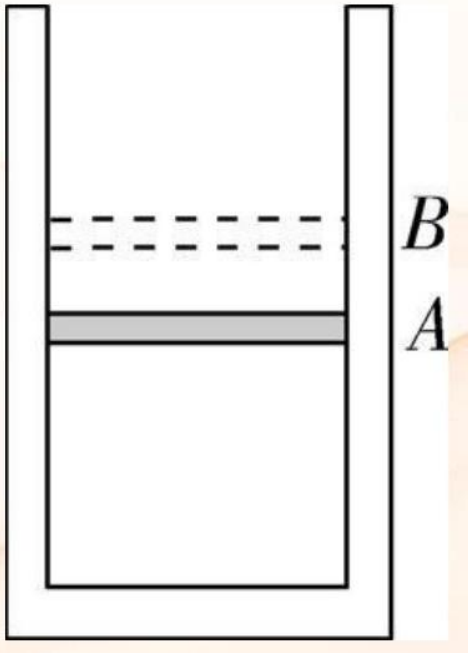
## 4. 如何选用气体实验定律？



## 2.5.2 能力进阶

典例 1 (单缸独塞) 如图所示, 圆柱形汽缸竖直放置。横截面积  $S = 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  的活塞封闭某理想气体, 活塞最初静止在  $A$  位置, 缓慢加热气体使活塞从  $A$  位置上升到  $B$  位置。已知  $A B$  距汽缸底面高度  $h_A = 0.5 \text{ m}$ ,  $h_B = 0.6 \text{ m}$ , 活塞在  $A$  位置时气体温度  $T_A = 300 \text{ K}$ , 压强  $p_A = 1.02 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 活塞从  $A$  运动到  $B$  的过程中气体内能增加量  $\Delta U = 100 \text{ J}$ , 外界大气压强  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 不计摩擦,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) 活塞的质量;
- (2) 活塞在  $B$  位置时密闭气体的温度  $T_B$ ;
- (3) 上述过程中缸内气体吸收的热量  $Q$ 。



进阶 1 (单缸双塞) 一直立的汽缸内用横截面积分别为  $S_A = 100 \text{ cm}^2$   $S_B = 50 \text{ cm}^2$  的活塞  $A B$  封闭一定质量的理想气体, 两活塞之间用原长  $l_0 = 0.7 \text{ m}$  的轻质弹簧连接, 起初封闭气体的压强等于外部大气压  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 热力学温度  $T_0 = 300 \text{ K}$ , 弹簧的长度  $l_1 = 1.0 \text{ m}$ , 如图甲所示; 现对封闭气体缓慢加热, 活塞  $B$  先向下运动, 后向上运动, 最后回到原来位置, 如图乙所示, 此时封闭气体的压强  $p_1 = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。已知弹簧的劲度系数  $k = 100 \text{ N/m}$ , 弹簧始终处于弹性限度内, 汽缸内壁光滑。重力加速度大小  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , 求:

- (1) 活塞  $A$  的质量  $m_A$ ;
- (2) 图乙中封闭气体的热力学温度  $T$ 。

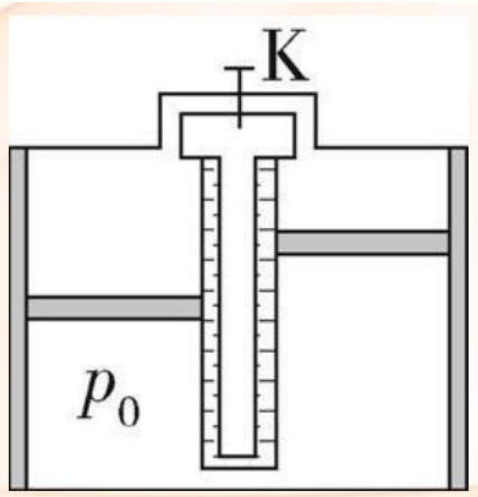
进阶 2 (双缸双塞) 如图所示, 竖直放置在水平桌面上的左右两汽缸粗细均匀, 内壁光滑, 横截面积分别为  $S$   $2S$ , 由体积可忽略的细管在底部连通。两汽缸中各有一轻质活塞将一定质量的理想气体封闭, 左侧汽缸底部与活塞用轻质细弹簧相连。初始时, 两汽缸内封闭气柱的高度均为  $H$ , 弹簧长度恰好为原长。现往右侧活塞上表面缓慢添加一定质量的沙子, 直至右侧活塞下降  $\frac{1}{2}H$ , 左侧活塞上升  $\frac{1}{2}H$ 。已知大气压强为  $p_0$ , 重

力加速度大小为  $g$ ，汽缸足够高，汽缸内气体温度始终不变，弹簧始终在弹性限度内。求：

- (1) 最终汽缸内气体的压强。
- (2) 弹簧的劲度系数和添加的沙子质量。

进阶 3 (关联气体) 如图，两个侧壁绝热、顶部和底部都导热的相同汽缸直立放置，汽缸底部和顶部均有细管连通，顶部的细管带有阀门 K，两汽缸的横截面积均为  $S$ ，容积均为  $V_0$ ，汽缸中各有一个绝热活塞，左侧活塞质量是右侧的 1.5 倍。开始时 K 关闭，两活塞下方和右活塞上方均充有气体（可视为理想气体），活塞下方气体压强为  $p_0$ ，左活塞在汽缸正中间，其上方为真空，右活塞上方气体体积为  $\frac{V_0}{4}$ 。现使汽缸底与一热源接触，热源温度恒为  $\frac{7}{5}T_0$ ，平衡后左活塞升至汽缸某一位置；然后打开 K，经过一段时间，重新达到平衡。已知外界温度为  $T_0$ ，不计活塞体积及与汽缸壁间的摩擦。求：

- (1) 开始时右活塞上方气体压强  $p'$ ；
- (2) 接触恒温热源后且未打开 K 之前，左活塞上升的高度  $H$ ；

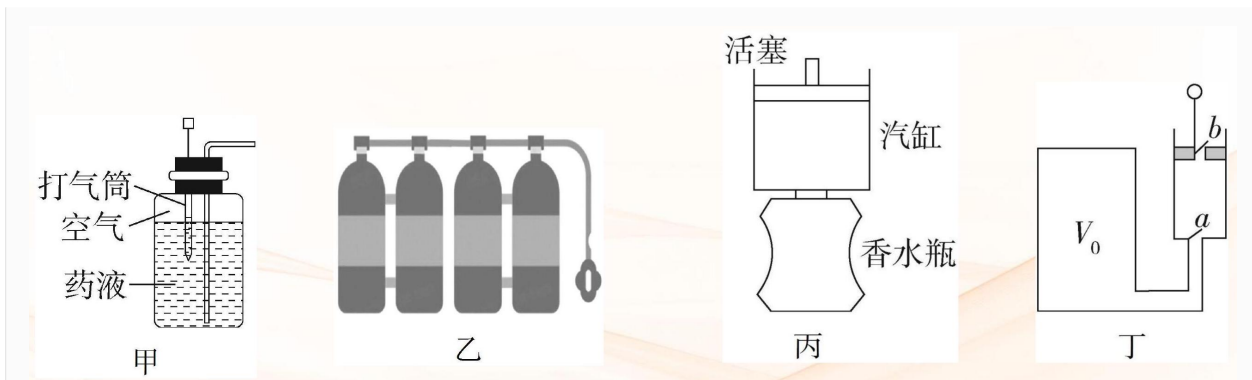


- (3) 打开阀门 K 后，重新达到平衡时左汽缸中活塞上方气体的体积  $V_x$ 。

## 2.6 气体变质量问题

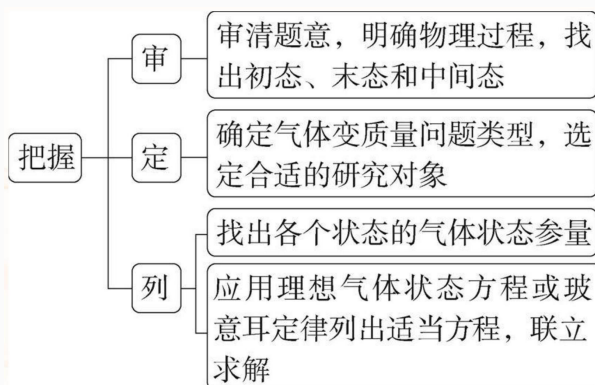
### 2.6.1 题型气体变质量问题

1. 牢记一个思想：把变质量问题转化为定质量问题。
2. 选研究对象：将问题涉及的全部气体选为研究对象，这些气体状态不管怎样变化，其总质量都不变。
  - (1) 充气（打气）：如图甲，将即将充进容器内的气体和容器内的原有气体构成的整体作为研究对象。
  - (2) 灌气（分装）：如图乙，把大容器中的剩余气体和多个小容器中的气体构成的整体作为研究对象。
  - (3) 漏气：如图丙，选容器内剩余气体和漏出气体构成的整体作为研究对象。
  - (4) 抽气：如图丁，将每次抽气过程中抽出的气体和剩余气体构成的整体作为研究对象。



3. 选择适当的方程: 应用理想气体状态方程的分态式  $\frac{p_1 V_1}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} + \dots = \frac{p_1' V_1'}{T_1'} + \frac{p_2' V_2'}{T_2'} + \dots$  求解, 或巧妙应用玻意耳定律  $p_1 V_1 + p_2 V_2 + \dots = p V$  求解。

4. 把握一个流程:



### 2.6.2 教考衔接

典例 1 (人教版选必三 P<sub>44</sub>, T<sub>4</sub> 改编) 汽车行驶时轮胎的胎压太高或太低都存在安全隐患。已知某型号的轮胎能在  $-40 \sim 100^\circ\text{C}$  的温度下正常工作, 且轮胎在此温度范围内安全工作时的最高胎压不超过  $3.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 最低胎压不低于  $1.6 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。已知大气压强  $p_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 轮胎的容积为  $200 \text{ L}$  并始终保持不变。

(1) (回归教材) 若胎内气体温度为  $27^\circ\text{C}$ , 胎内气体的压强为  $2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 试判断该轮胎能否在胎内气体温度为  $100^\circ\text{C}$  时正常工作。

(2) 情境变式 1 (单次打气) 现有一只该型号轮胎, 未充气前胎内已有温度为  $27^\circ\text{C}$ 、压强为大气压强  $p_0$  的气体。充入温度为  $27^\circ\text{C}$ 、压强为  $p_0$  的空气, 为使该轮胎能在  $-40^\circ\text{C}$  时正常工作, 求至少充入的空气体积 (结果保留 3 位有效数字)。

(3) 情境变式 2 (多次打气) 已知某型号轮胎的容积恒为  $6.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ , 轮胎原有气体的压强为  $1.2 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。此类轮胎正常行驶时标准气压为  $2.4 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。取一只该型号的轮胎。已知打气筒每次可将体积为  $2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  的空气打入轮胎内, 外界大气压为  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 假设打气过程中温度保持不变。外界温度为  $27^\circ\text{C}$ , 要求胎内气压不超过标准气压。求:

- (1) 打气筒打 20 次后轮胎内的气压  $p_{20}$  ；
- (2) 若打完气后胎内气体温度上升到  $47^{\circ}\text{C}$  ，则最多打气多少次？
- (4) 拓展变式 (抽气) 夏天常出现较高气温，使汽车行驶时轮胎胎压过高，容易造成安全隐患。某型号汽车轮胎在温度  $t_1 = 27^{\circ}\text{C}$  时，轮胎内气体压强 (即胎压)  $p_1 = 2.4 \times 10^5 \text{ Pa}$  ；某一天某时段内，室外地面环境温度达到  $t_2 = 67^{\circ}\text{C}$  并保持不变，设轮胎容积不变，且轮胎导热性能良好，这一天该时段内，该汽车停在室外地面上时，
- (1) 求该汽车轮胎的胎压  $p_2$  ；
- (2) 为使该汽车轮胎胎压不超过  $p_0 = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  ，需要将轮胎内气体放出一部分，求至少需要放出的气体质量与放气前原轮胎内气体质量的比值。
- (5) (链接高考) (2024 安徽, 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。

### 3 热力学定律与能量守恒定律

#### 3.1 考点 1 热力学定律能量守恒定律

##### 3.1.1 一、热力学第一定律

- 内容：一个热力学系统的内能变化量等于外界向它传递的热量与外界对它所做的功的和。
  - 表达式：  $\Delta U = W + Q$  。
- (1) 表达式  $\Delta U = W + Q$  中的正、负号法则：

物理量	+	-
W	外界对气体做功	气体对外界做功
Q	气体吸收热量	气体放出热量
$\Delta U$	内能增加	内能减少

- (2) 热力学第一定律的三种特殊情况：
- 绝热过程：  $Q = 0, W = \Delta U$  。
  - 等容过程：  $W = 0, Q = \Delta U$  。

3. 恒温过程或初、末状态的内能相等： $\Delta U = 0, W + Q = 0$  或  $W = -Q$ 。

### 3.1.2 二、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：热量不能自发地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，而不产生其他影响。

2. 热力学第二定律方向性实例：

- (1) 高温物体
- (2) 功 不能自发地转化为 能。
- (3) 气体体积  $V_1$  能自发膨胀到 气体体积  $V_2 (V_1 < V_2)$ 。
- (4) 不同气体  $A$  和  $B$

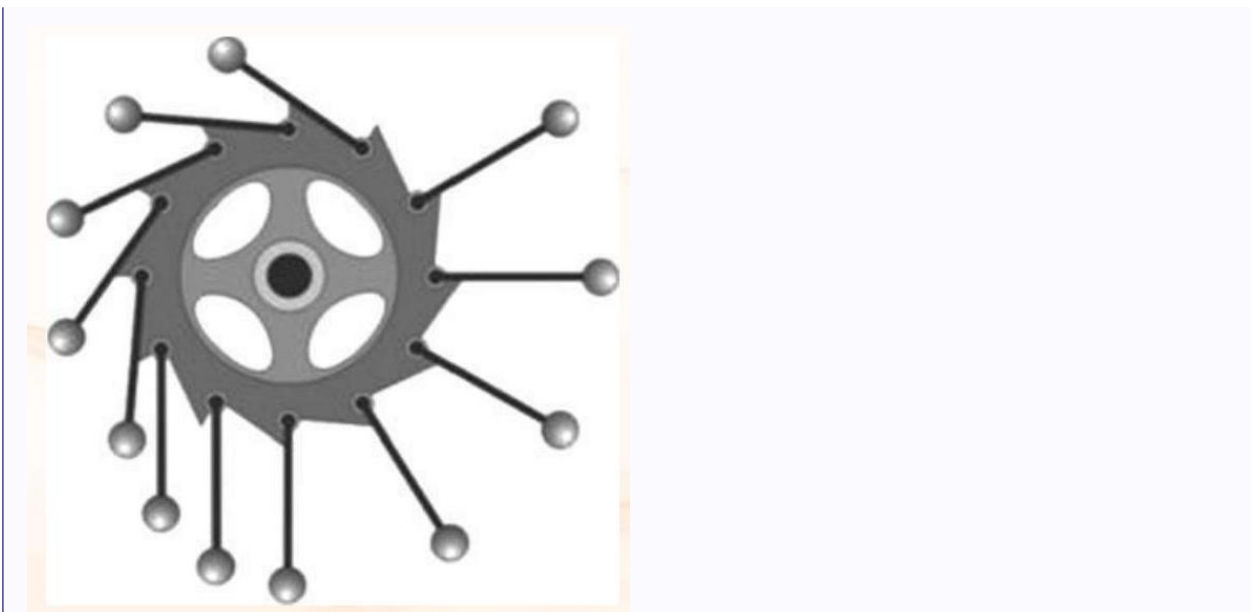
### 3.1.3 三、能量守恒定律

1. 内容：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只能从一种形式转化为其他形式，或者从一个物体转移到别的物体，在转化或转移的过程中，能量的总量保持不变。
2. 条件性：能量守恒定律是自然界的普遍规律，某一种形式的能是否守恒是有条件的。
3. 第一类永动机是不可能制成的，它违背了能量守恒定律。

### 3.1.4 即练即清

判断正误，正确的打  $\checkmark$ ，错误的打  $\times$ 。

某类永动机的方案如图所示。轮子中央有一个转动轴，轮子边缘安装着 12 个可活动的短杆，每个短杆的一端装有一个铁球。方案的设计者认为，右边的球比左边的球离轴远些，轮子就会沿顺时针方向永无休止地转动下去。但实际中轮子转动几下后便会停止。



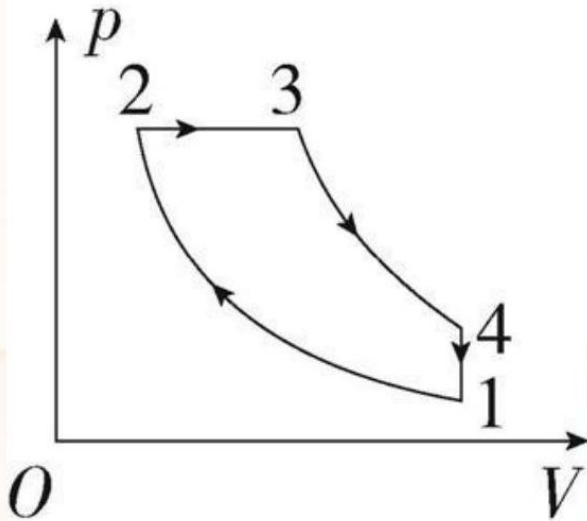
- (1) 轮子在转动过程中产生了能量。(×)
- (2) 轮子转动几下后便会停止,这说明能量在消失。(×)
- (3) 方案设计者是想机器不消耗任何能量,却能不断地对外做功。(√)
- (4) 方案中的机器称为第一类永动机。(√)
- (5) 第一类永动机违反了能量守恒定律。(√)

## 3.2 考点 2 热力学第一定律与图像的综合应用

### 3.2.1 典例 1

(2024 新课标, 21,6 分) (多选) 如图, 一定量理想气体的循环由下面 4 个过程组成:  $1 \rightarrow 2$  为绝热过程 (过程中气体不与外界交换热量),  $2 \rightarrow 3$  为等压过程,  $3 \rightarrow 4$  为绝热过程,  $4 \rightarrow 1$  为等容过程。上述四个过程是四冲程柴油机工作循环的主要过程。下列说法正确的是 ( )

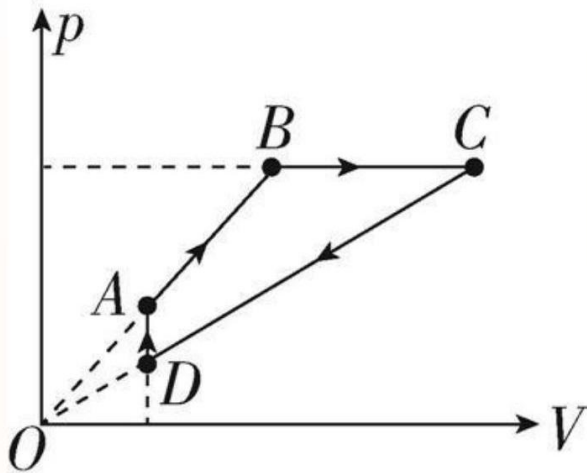
- A.  $1 \rightarrow 2$  过程中, 气体内能增加
- B.  $2 \rightarrow 3$  过程中, 气体向外放热
- C.  $3 \rightarrow 4$  过程中, 气体内能不变



D. 4 → 1 过程中，气体向外放热

### 3.2.2 高考变式

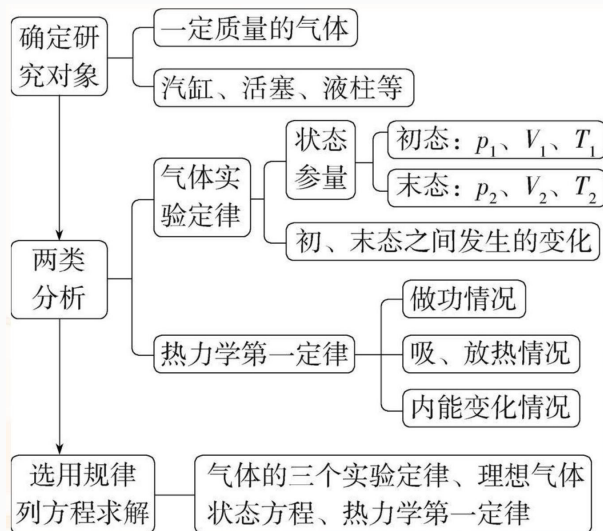
(考法变换 · 延伸考点) 一定质量的理想气体从状态  $A$  缓慢经过状态  $B$   $C$   $D$  再回到状态  $A$ ，其压强  $p$  与体积  $V$  的关系图像如图所示，下列说法正确的是 ( )



- A.  $A \rightarrow B$  过程中气体对外界做的功等于吸收的热量
- B.  $A \rightarrow B$  过程中气体对外界做的功小于吸收的热量
- C.  $B \rightarrow C$  过程中气体分子在单位时间内对单位面积容器壁的平均碰撞次数不断增加
- D.  $B \rightarrow C$  过程中气体分子在单位时间内对单位面积容器壁的平均碰撞次数不变

### 3.3 考点 3 热力学第一定律与气体实验定律的综合应用

1. 一个思维流程：



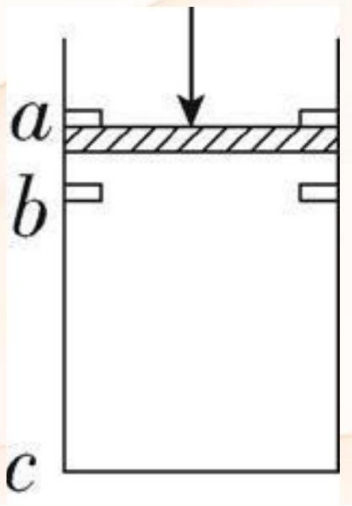
## 2. 四点注意:

- (1) 气体的状态变化可由图像直接判断或结合理想气体状态方程  $\frac{pV}{T} = C$  分析。
- (2) 气体做功的情况由体积的变化情况分析。体积膨胀, 气体对外做功,  $W < 0$ ; 气体被压缩, 外界对气体做功,  $W > 0$ 。
- (3) 气体内能的变化由温度的变化判断。温度升高, 气体内能增大; 温度降低, 气体内能减小。
- (4) 气体的做功情况、吸放热及内能变化也可由热力学第一定律  $\Delta U = W + Q$  分析。

### 3.3.1 典例 2

[2024 全国甲, 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  $ab$  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  $300 \text{ K}$ 。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  $200 \text{ N}$  并保持不变。

- (i) 求外力增加到  $200 \text{ N}$  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。



(拓展变式) 若  $\overline{bc} = 30 \text{ cm}$ ，对汽缸内气体加热，从活塞刚好能离开卡销  $b$  至活塞刚好缓慢运动到  $a$  处的过程中，气体对外界做功的大小为多少？

(综合变式) 如图甲所示，不计厚度的绝热汽缸高为  $H$ ，卡销  $b$  在汽缸的正中间，不计厚度的绝热活塞在  $b$  处时，撤去外力，将活塞面积记为  $S$ ，此时封闭气体温度为  $T_0$ ，压强等于外界大气压强  $p_0$ ，现通过电热丝缓慢加热，封闭气体先后经历了如图乙所示的三个状态变化过程，其中从  $N \rightarrow E$  过程，电热丝产生的热量为  $p_0SH$ ，活塞可在汽缸内无摩擦滑动，重力加速度为  $g$ ，则 ()

- A.  $M$  点时活塞已经离开了卡销  $b$
- B. 活塞质量为  $\frac{p_0S}{g}$
- C. 从  $N \rightarrow E$  过程，气体内能增加了  $\frac{3p_0SH}{4}$

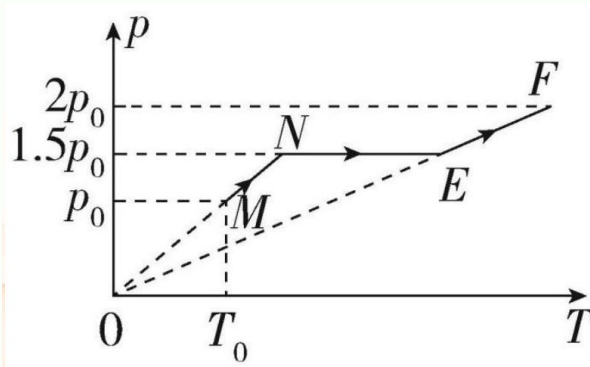


图 8: 图乙

- D. 封闭气体在状态  $F$  时的温度为  $4T_0$

## 4 实验 17 用油膜法估测油酸分子的大小

### 4.1 一、实验原理及装置图

如图所示，利用油酸酒精溶液在平静的水面上形成单分子油酸薄膜，用  $D = \frac{V}{S}$  计算出油酸薄膜的厚度，其中  $V$  为一滴油酸酒精溶液中所含纯油酸的体积， $S$  为油酸薄膜面积，这个厚度就近似等于油酸分子的直径。



### 4.2 二、操作要领及注意事项

1. 如何配制油酸酒精溶液：取纯油酸 1 mL，注入 500 mL 的容量瓶中，然后向容量瓶内注入酒精，直到液面达到 500 mL 刻度线为止。
2. 如何测出 1 滴油酸酒精溶液的体积：用注射器（或滴管）将油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，并记下量筒内增加一定体积  $V_n$  时的滴数  $n_0$ 。根据  $V_0 = \frac{V_n}{n_0}$  算出 1 滴油酸酒精溶液的体积  $V_0$ 。
3. 如何形成待测油酸薄膜：向浅盘里倒入约 2 cm 深的水，并将爽身粉均匀地撒在水面上；用注射器（或滴管）将一滴油酸酒精溶液滴在水面上，形状稳定后就形成了油酸薄膜。
4. 如何求出油酸薄膜的面积：将玻璃板放在浅盘上，并将油酸薄膜的轮廓用彩笔画在玻璃板上；将画有油酸薄膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上，算出油酸薄膜的面积  $S$ （求面积时以坐标纸上边长为 1 cm 的正方形为单位计算轮廓内正方形的个数，不足半格的舍去，多于半格的算一格）。

### 4.3 三、数据处理

1. 根据配制的油酸酒精溶液的浓度，算出一滴溶液中纯油酸的体积  $V$ 。
2. 根据一滴溶液中纯油酸的体积  $V$  和薄膜的面积  $S$ ，即可算出油酸薄膜的厚度，即油酸分子的直径大小。

### 4.4 四、误差分析

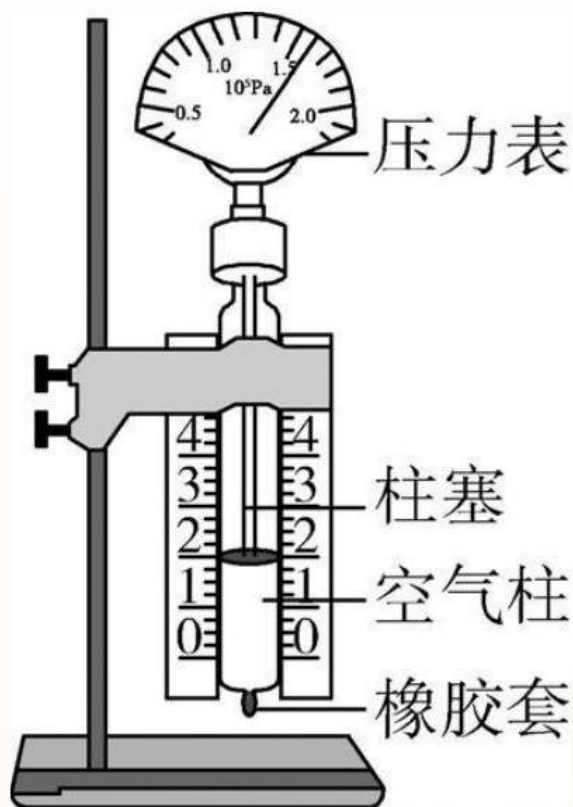
1. 油酸酒精溶液的实际浓度和理论值间存在偏差。
2. 一滴油酸酒精溶液的实际体积和理论值间存在偏差。
3. 油酸在水面上的实际分布情况和理想中的“均匀”“单分子纯油酸层”间存在偏差。
4. 采用“互补法”（即不足半格的舍去，大于半格的算一格）计算获得的油膜面积与实

际的油膜面积间存在偏差。

## 5 探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系

### 5.1 一、实验原理及装置图

控制气体质量和温度不变，用如图装置研究气体压强与体积的关系。



### 5.2 二、操作要领及注意事项

1. 如何确保气体的质量不变：按图示安装器材，注射器下端有橡胶套，它和柱塞一起把一段空气柱封闭。
2. 如何测量不同状态下气体的体积和压强：
  - (1) 用手缓慢地把柱塞向下压，选取几个位置，待示数稳定后读出刻度尺示数与压力表示数，记录数据；用手缓慢把柱塞向上拉，选取几个位置，待示数稳定后读出刻度尺示数与压力表示数，记录数据。
  - (2) 在该实验中，我们可以直接用刻度尺示数作为空气柱体积，无须测量空气柱的横截面积。

### 5.3 三、数据处理

1. 以压强  $p$  为纵坐标、体积  $V$  为横坐标，建立  $p - V$  坐标系，画出气体等温变化的  $p - V$  图像，由于图线是曲线，不能说明压强与体积成反比。
2. 以压强  $p$  为纵坐标、体积的倒数  $\frac{1}{V}$  为横坐标，建立  $p - \frac{1}{V}$  坐标系，画出气体等温变化的  $p - \frac{1}{V}$  图像，图线是过原点的倾斜直线，说明压强与体积成反比。

### 5.4 四、误差分析

1. 橡胶套密封不严会使空气柱的质量变化，从而引起误差。
2. 实验过程环境温度变化，或柱塞向下压或向上拉得过快均会使空气柱的温度发生变化，从而引起误差。
3. 空气柱长度的测量、压力表的读数等引起的误差。