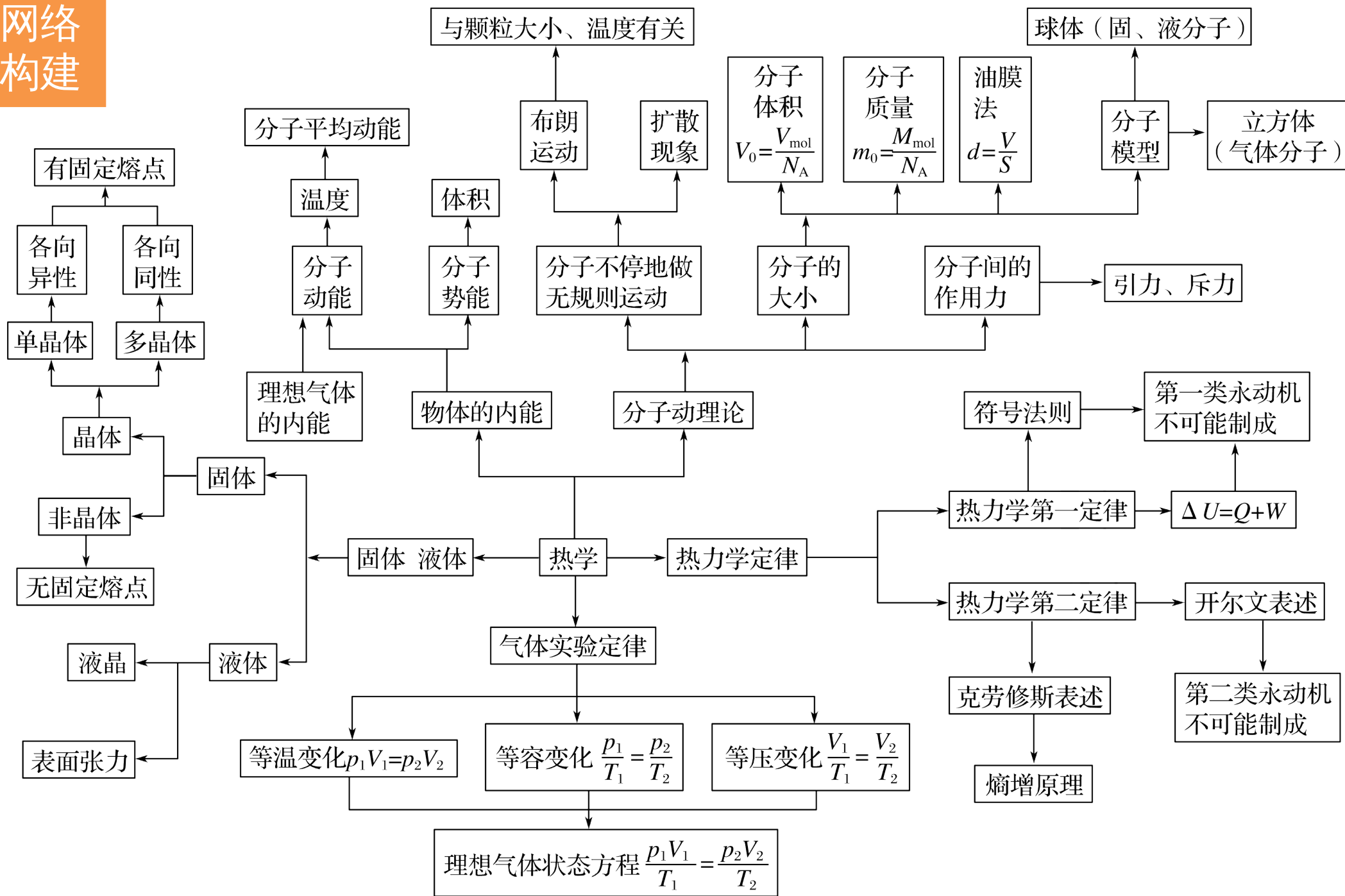


选考专题

# 专题17 选考3-3



# 网络构建



## 考题一 热学的基本知识

---

## 考题二 气体实验定律的应用

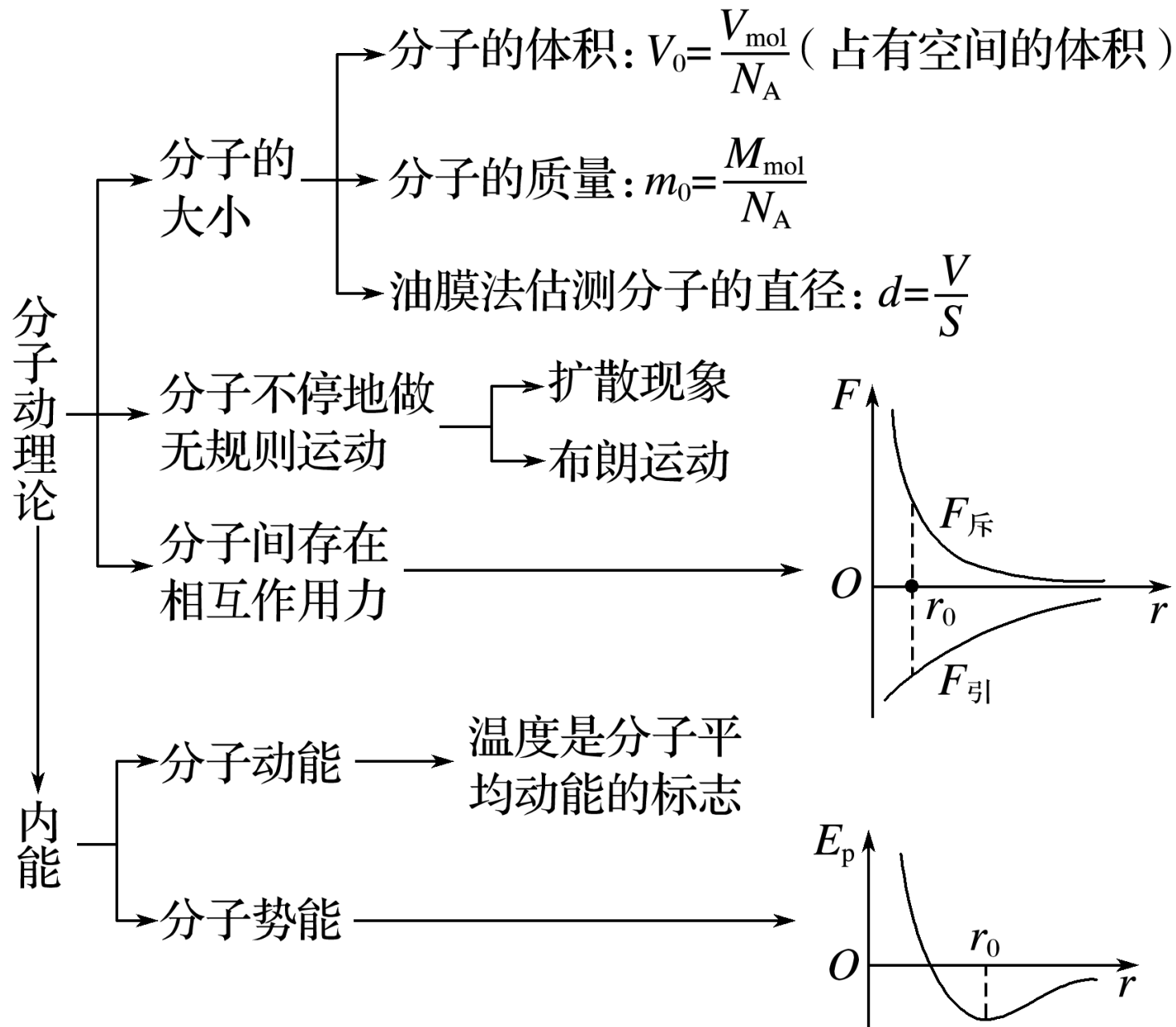
---

## 考题三 热力学第一定律与气体实验定律的组合

---

## 知识精讲

### 1. 分子动理论知识结构



## 2.两种微观模型

(1)球体模型(适用于固体、液体)：一个分子的体积  $V_0 = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{1}{6}\pi d^3$ ， $d$  为分子的直径.

(2)立方体模型(适用于气体)：一个分子占据的平均空间  $V_0 = d^3$ ， $d$  为分子间的距离.

3.阿伏加德罗常数是联系宏观与微观的桥梁，计算时要注意抓住与其相关的三个量：摩尔质量、摩尔体积和物质的量.

## 4. 固体和液体

### (1) 晶体和非晶体

比较	晶体		非晶体
	单晶体	多晶体	
形状	规则	不规则	不规则
熔点	固定	固定	不固定
特性	各向异性	各向同性	各向同性

### (2) 液晶的性质

液晶是一种特殊的物质，既可以流动，又可以表现出单晶体的分子排列特点，在光学、电学物理性质上表现出各向异性。

### (3) 液体的表面张力

使液体表面有收缩到球形的趋势，表面张力的方向跟液面相切。

### (4) 饱和汽压的特点

液体的饱和汽压与温度有关，温度越高，饱和汽压越大，且饱和汽压与饱和汽的体积无关。

### (5) 相对湿度

某温度时空气中水蒸气的压强与同一温度时水的饱和汽压的百分比。即：

$$B = \frac{p}{p_s} \times 100\%.$$

例 1 下列说法正确的是( )

A. 随着科学技术的不断进步，总有一天能实现热量自发地从低温物体传到高温物体

✓ B. 气体压强的大小跟气体分子的平均动能、分子的密集程度这两个因素有关

✓ C. 不具有规则几何形状的物体一定不是晶体

✓ D. 空气相对湿度越大时，空气中水蒸气压强越接近饱和汽压，水蒸发越慢

E. 温度一定时，悬浮在液体中的固体颗粒越小，布朗运动越明显

## [ 变式训练 ]

1. 下列说法正确的是 ( ? )

- ✓ A. 一定质量的理想气体，在体积不变时，分子每秒与器壁平均碰撞次数随着温度降低而减小
- B. 晶体熔化时吸收热量，分子平均动能一定增大
- ✓ C. 空调既能制热又能制冷，说明热量可以从低温物体向高温物体传递
- D. 外界对气体做功时，其内能一定会增大
- ✓ E. 生产半导体器件时，需要在纯净的半导体材料中掺入其他元素，可以在高温条件下利用分子的扩散来完成

2. 根据分子动理论、温度和内能的基本观点，下列说法正确的是 ( ? )

A. 布朗运动是液体分子的运动，它说明分子永不停息地做无规则运动

✓ B. 温度高的物体内能不一定大，但分子平均动能一定大

✓ C. 如果两个系统分别与第三个系统达到热平衡，那么这两个系统彼此之间

也必定处于热平衡，用来表征所具有的“共同热学性质”的物理量叫做温度

✓ D. 当分子间距等于  $r_0$  时，分子间的引力和斥力都为零

E. 两个分子间的距离为  $r_0$  时，分子势能最小

3. 下列说法中正确的是 ( ? )

A. 晶体一定具有各向异性，非晶体一定具有各向同性

✓ B. 内能不同的物体，它们分子热运动的平均动能可能相同

✓ C. 液晶既像液体一样具有流动性，又跟某些晶体一样具有光学性质的各向异性

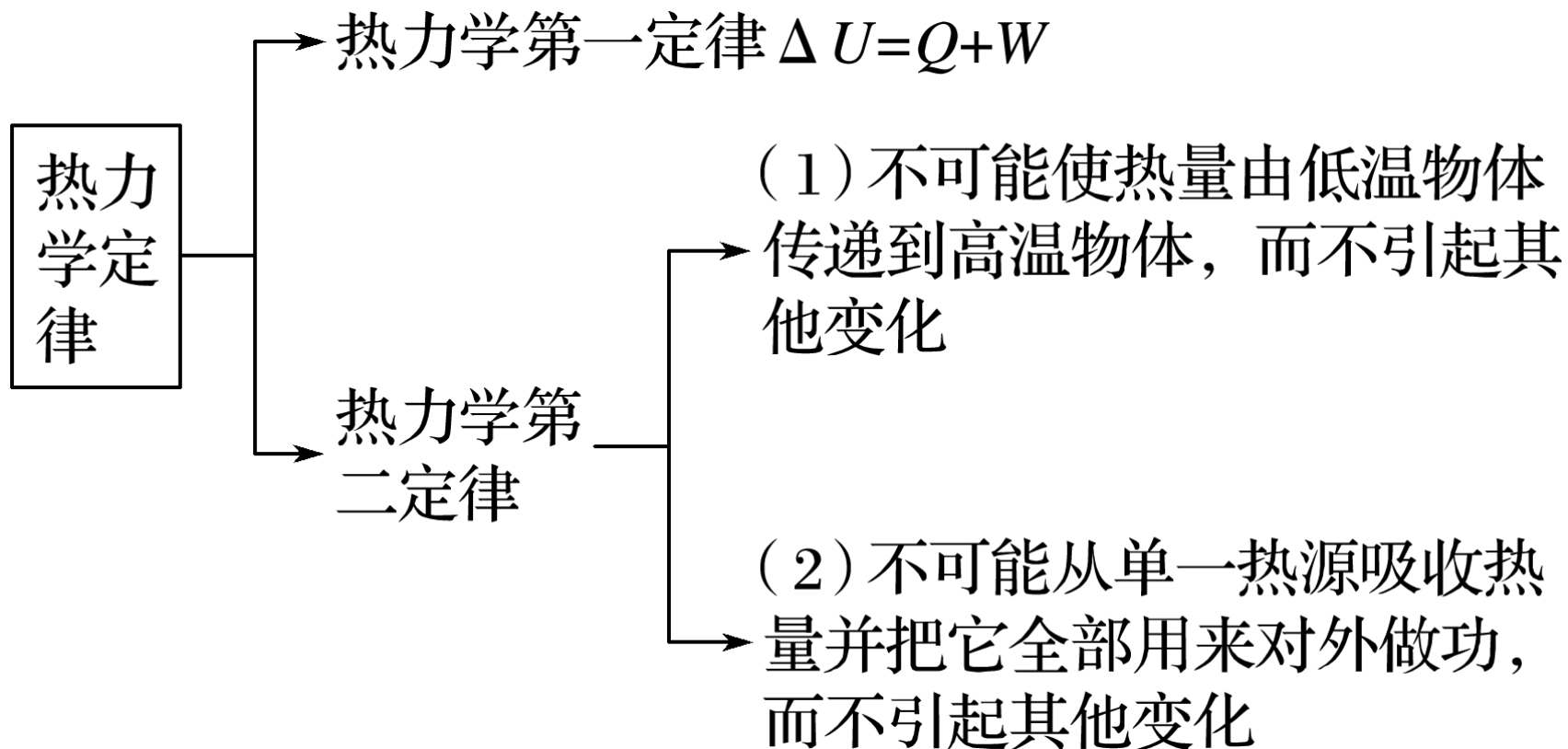
D. 随着分子间距离的增大，分子间作用力减小，分子势能也减小

✓ E. 当附着层中液体分子比液体内部稀疏时，液体与固体之间就表现为不浸润现象

4. 下列关于分子运动和热现象的说法正确的是 ( ? )

- ✓ A. 一定质量气体的内能等于其所有分子热运动动能和分子势能的总和
- ✓ B. 一定量  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水变成  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  的水蒸气，其分子之间的势能增加
- C. 气体如果失去了容器的约束就会散开，这主要是因为气体分子之间存在  
势能的缘故
- D. 如果气体分子总数不变，而气体温度升高，气体分子的平均动能增大，  
✓ 因此压强必然增大
- E. 饱和汽压随温度的升高而增大，与体积无关

## 1. 热力学定律与气体实验定律知识结构



气体实验  
定律及状  
态方程

→ 等温变化 → 玻意耳定律  $p_1V_1=p_2V_2$

→ 等容变化 → 查理定律  $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

→ 等压变化 → 盖—吕萨克定律  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

→ 理想气体的状态方程 →  $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$

## 2. 应用气体实验定律的三个重点环节：

(1) 正确选择研究对象：对于变质量问题要保证研究质量不变的部分；对于多部分气体问题，要各部分独立研究，各部分之间一般通过压强找联系。

(2) 列出各状态的参量：气体在初、末状态，往往会有两个（或三个）参量发生变化，把这些状态参量罗列出来会比较准确、快速的找到规律。

(3) 认清变化过程：准确分析变化过程以便正确选用气体实验定律。

## 典例剖析

**例 2** 如图 1 所示，用一个绝热活塞将绝热容器平均分成  $A$ 、 $B$  两部分，用控制阀  $K$  固定活塞，开始时  $A$ 、 $B$  两部分气体的温度都是  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压强都是  $1.0\times 10^5\text{ Pa}$ ，保持  $A$  体积不变给电热丝通电，使气体  $A$  的温度升高到  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，求：

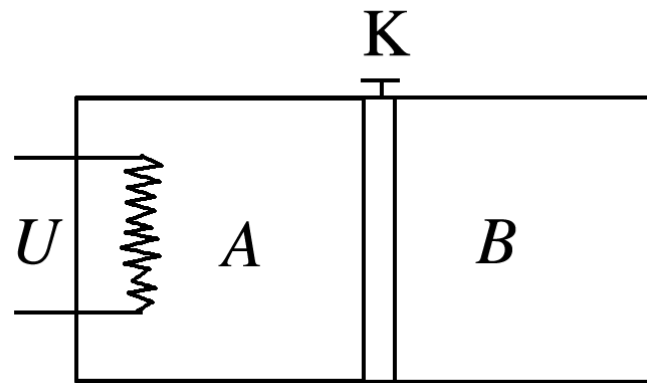


图 1

(1) 气体  $A$  的压强是多少？

**解析** 对  $A$  部分气体，在加热的过程中发生等容变化，根据查理定律可

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} \quad \text{解得：} p_1 = \frac{p_0 T_1}{T_0} = \frac{1.0 \times 10^5 \times (273 + 60)}{273 + 20} \text{ Pa} \approx 1.14 \times 10^5 \text{ Pa}$$

**答案**  $1.14 \times 10^5 \text{ Pa}$

(2) 保持气体  $A$  的温度不变，拔出控制阀  $K$ ，活塞将向右移动压缩气体  $B$ ，平衡后气体  $B$  的体积被压缩 0.05 倍，气体  $B$  的温度是多少？

**解析** 拔出控制阀  $K$ ，活塞将向右移动压缩气体  $B$ 。平衡后，气体  $A$  发生等温变化

根据玻意耳定律有： $p_1V = p_2(V + 0.05V)$

气体  $B$  的压缩过程，根据理想气体状态方程有： $\frac{p_0V}{T_0} = \frac{p_2'(V - 0.05V)}{T_2}$

根据活塞受力平衡有： $p_2 = p_2'$

代入数据联立解得：

$$T_2 \approx 302.2 \text{ K} , \text{ 即 } t_2 = T_2 - 273 = 29.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**答案** 29.2 °C

## [ 变式训练 ]

5. 一定质量的理想气体体积  $V$  与热力学温度  $T$  的关系图象如图 2 所示, 气体在状态  $A$  时的压强  $p_A = p_0$ , 温度  $T_A = T_0$ , 线段  $AB$  与  $V$  轴平行,  $BC$  的延长线过原点. 求:

(1) 气体在状态  $B$  时的压强  $p_B$  ;

**解析**  $A \rightarrow B$  : 等温变化  $p_0 V_0 = p_B \times 2V_0$  ,  
解得  $p_B = \frac{1}{2} p_0$

**答案**  $\frac{1}{2} p_0$

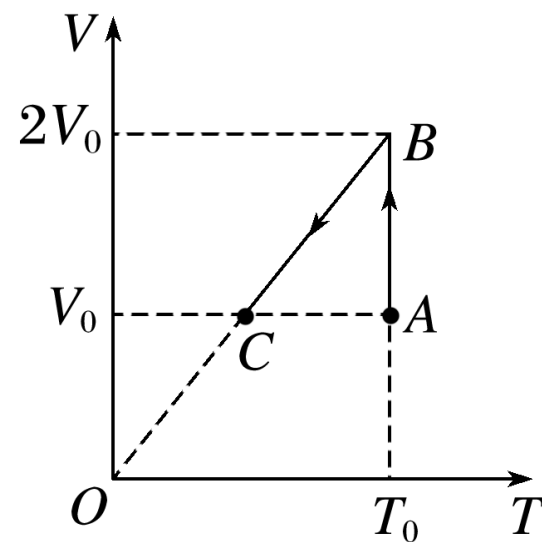


图 2

(2) 气体从状态  $A$  变化到状态  $B$  的过程中，对外界做的功为  $10\text{ J}$ ，该过程中气体吸收的热量是多少；

**解析**  $A \rightarrow B$  :  $\Delta U = 0$

$$\Delta U = Q + W$$

$$Q = -W = 10\text{ J}$$

**答案**  $10\text{ J}$

(3) 气体在状态  $C$  时的压强  $p_C$  和温度  $T_C$ .

**解析**  $B \rightarrow C$  : 等压变化,  $p_C = p_B = \frac{1}{2}p_0$

$$\frac{V_B}{V_C} = \frac{T_B}{T_C}$$

$$T_C = \frac{1}{2}T_0$$

**答案**  $\frac{1}{2}p_0$   $\frac{1}{2}T_0$

6. 如图 3 所示，两端封闭的 U 型细玻璃管竖直放置，管内水银封闭了两段空气柱，初始时空气柱长度分别为  $l_1 = 10 \text{ cm}$ 、 $l_2 = 16 \text{ cm}$ ，两管液面高度差为  $h = 6 \text{ cm}$ ，气体温度均为  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ ，右管气体压强为  $p_2 = 76 \text{ cmHg}$ ，热力学温度与摄氏温度的关系为  $T = t + 273 \text{ K}$ ，空气可视为理想气体。求：（结果保留到小数点后一位数字）

(1) 若保持两管气体温度不变，将装置以底边  $AB$  为轴缓慢转动  $90^\circ$ ，求右管内空气柱的最终长度；

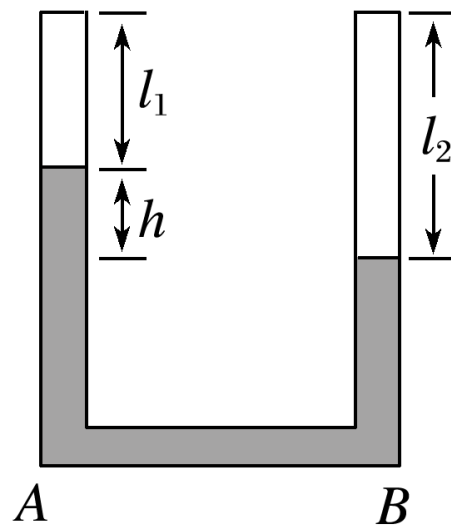


图 3

(2) 若保持右管气体温度不变，缓慢升高左管气体温度，求两边气体体积相同时，右管内气体的压强。

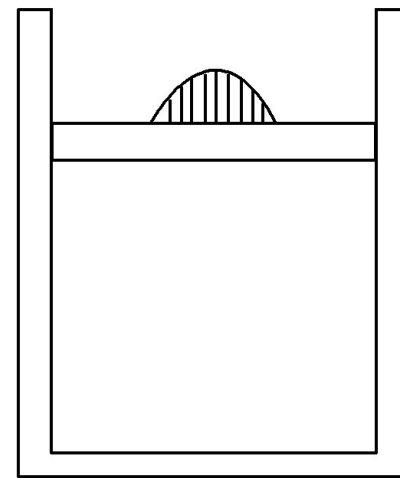
**解析** 右侧气体发生的是等温变化，由玻意耳定律得：

$$p_2 V_2 = p_3 V_3, 76 \times 16S = p_3 \times 13S$$

解得： $p_3 \approx 93.5 \text{ cmHg}$

**答案** 93.5 cmHg

7. 如图 4 所示，竖直放置的导热汽缸内用活塞封闭着一定质量的理想气体，活塞的质量为  $m$ ，横截面积为  $S$ ，缸内气体高度为  $2h$ 。现在活塞上缓慢添加砂粒，直至缸内气体的高度变为  $h$ 。然后再对汽缸缓慢加热让活塞恰好回到原来位置。已知大气压强为  $p_0$ ，大气温度为  $T_0$ ，重力加速度为  $g$ ，不计活塞与汽缸壁间摩擦。求：



(1) 所添加砂粒的总质量；

**解析** 设添加砂粒的总质量为  $m_0$ ，最初气体压强为  $p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}$  图 4

添加砂粒后气体压强为  $p_2 = p_0 + \frac{(m + m_0)g}{S}$

该过程为等温变化，有  $p_1 S \cdot 2h = p_2 S \cdot h$  解得  $m_0 = m + \frac{p_0 S}{g}$  **答案**  $m + \frac{p_0 S}{g}$

(2) 活塞返回至原来位置时缸内气体的温度。

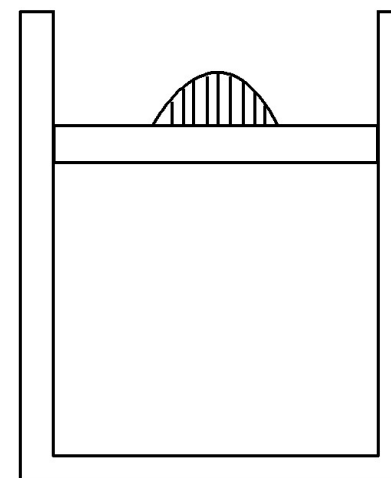
**解析** 设活塞回到原来位置时气体温度为  $T_1$ ，该过程为等压变化，有

$$\frac{V_1}{T_0} = \frac{V_2}{T_1}$$

解得  $T_1 =$

**答案**

$$2T_0$$



8. 如图 5 所示，一竖直放置的、长为  $L$  的细管下端封闭，上端与大气（视为理想气体）相通，初始时管内气体温度为  $T_1$ . 现用一段水银柱从管口开始注入管内将气柱封闭，该过程中气体温度保持不变且没有气体漏出，平衡后管内上下两部分气柱长度比为 1:3. 若将管内下部气体温度降在保持温度不变的条件下将管倒置，平衡后水银柱下端与管下端刚好平齐（没有水银漏出）. 已知  $T_1 = \frac{5}{2}T_2$ ，大气压强为  $p_0$ ，重力加速度为  $g$ . 求水银柱的长度  $h$  和水银的密度  $\rho$ .

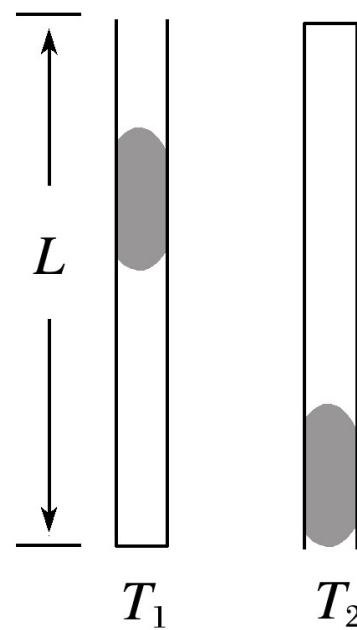


图 5

## 知识精讲

### 1. 应用气体实验定律的解题思路

- (1) 选择对象——即某一定质量的理想气体；
- (2) 找出参量——气体在始末状态的参量  $p_1$ 、 $V_1$ 、 $T_1$  及  $p_2$ 、 $V_2$ 、 $T_2$ ；
- (3) 认识过程——认清变化过程是正确选用物理规律的前提；
- (4) 列出方程——选用某一实验定律或气态方程，代入具体数值求解，并讨论结果的合理性。

## 2. 牢记以下几个结论

- (1) 热量不能自发地由低温物体传递给高温物体；
- (2) 气体压强是由气体分子频繁地碰撞器壁产生的，压强大小与分子热运动的剧烈程度和分子密集程度有关；
- (3) 做功和热传递都可以改变物体的内能，理想气体的内能只与温度有关；
- (4) 温度变化时，意味着物体内分子的平均动能随之变化，并非物体内每个分子的动能都随之发生同样的变化。

### 3. 对热力学第一定律的考查有定性判断和定量计算两种方式

(1) 定性判断 . 利用题中的条件和符号法则对  $W$ 、 $Q$ 、 $\Delta U$  中的其中两个量做出准确的符号判断 , 然后利用  $\Delta U = W + Q$  对第三个量做出判断 .

(2) 定量计算 . 一般计算等压变化过程的功 , 即  $W = p \cdot \Delta V$  , 然后结合其他条件 , 利用  $\Delta U = W + Q$  进行相关计算 .

(3) 注意符号正负的规定 . 若研究对象为气体 , 对气体做功的正负由气体体积的变化决定 . 气体体积增大 , 气体对外界做功 ,  $W < 0$  ; 气体的体积减小 , 外界对气体做功 ,  $W > 0$  .

## 典例剖析

**例 3** (1) 关于热力学第二定律，下列说法正确的是 ( )

- A. 热量能够自发地从高温物体传到低温物体
- B. 不可能使热量从低温物体传向高温物体
- C. 第二类永动机违背了热力学第二定律
- D. 可以从单一热源吸收热量并使之完全变成功
- E. 功转化为热的实际宏观过程是可逆过程

(2) 如图 6 所示，一个绝热的汽缸竖直放置，内有一个绝热且光滑的活塞，中间有一个固定的导热性良好的隔板，隔板将汽缸分成两部分，分别密封着两部分理想气体  $A$  和  $B$ 。活塞的质量为  $m$ ，横截面积为  $S$ ，与隔板相距  $h$ 。现通过电热丝缓慢加热气体，当  $A$  气体吸收热量  $Q$  时，活塞上升了  $h$ ，此时气体的温度为  $T_1$ 。已知大气压强为  $p_0$ ，重力加速度为  $g$ 。

① 加热过程中，若  $A$  气体内能增加了  $\Delta E_1$ ，求  $B$  气体内增加量  $\Delta E_2$ ；

② 现停止对气体加热，同时在活塞上缓慢添加砂粒，当活塞恰好回到原来的位置时  $A$  气体的温度为  $T_2$ 。求此时

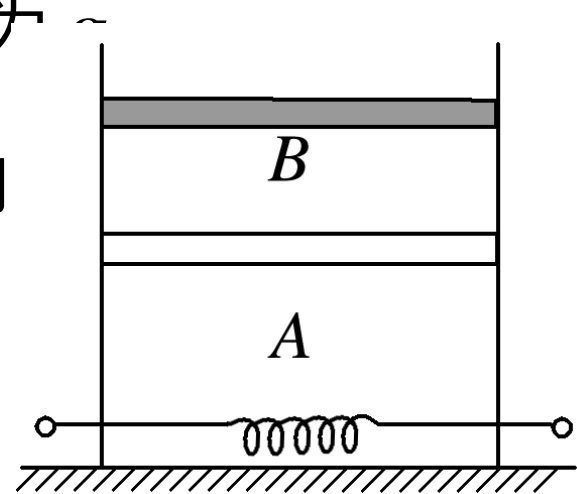


图 6

添加砂粒的总质量  $\Delta m$ 。

## [ 思维规范流程 ]

(1) 热力学第二定律 表明热传递具有方向性，热量能够自发地从高温物体传到低温物体，故 A 正确；热量可以在一定的条件下从低温物体传向高温物体，故 B 错误；第二类永动机不违背能量守恒定律，但违背了热力学第二定律，故 C 正确；根据热力学第二定律，不可能从单一热源吸

取热量，使之完全变为有用功而不产生其他影响。可知在外界的作用下，从单一热库吸收热量，可以使之完全变成功，故 D 正确；功转化为热的过程可以自发地进行，而热转化为功的过程要在一定的条件下才能进行，即功转

地进行，而热转化为功的过程要在一定的条件下才能进行，即功转

(2)①B 气体对外做功

$$\underline{W = pSh = (p_0S + mg)h} \quad (1 \text{ 分})$$

由热力学第一定律得  $\underline{\Delta E_1 + \Delta E_2 = Q - W}$  (1 分)

解得  $\Delta E_2 = Q - (mg + p_0S)h - \Delta E_1$  (2 分)

②B 气体的初状态  $\underline{p_1 = p_0 + \frac{mg}{S}}$

$\underline{V_1 = 2hS}$   $T_1$   $\underline{p_2 = p_0 + \frac{(\Delta m)g}{S}}$  (0分)

B 气体的末状态  $\underline{V_2 = hS}$

$\underline{\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}}$  (2 分)

由气态方程  $\underline{2T_2 = \frac{Sp_0}{T_1} + m}$  (1 分)

解得  $\Delta m = \underline{\frac{2T_2}{T_1} - 1} + m$  (1 分)

## [ 变式训练 ]

9.(1) 关于分子力，下列说法中正确的是 ( ? )

- A. 碎玻璃不能拼合在一起，说明分子间斥力起作用
- ✓ B. 将两块铅压紧以后能连成一块，说明分子间存在引力
- C. 水和酒精混合后的体积小于原来体积之和，说明分子间存在引力
- ✓ D. 固体很难被拉伸，也很难被压缩，说明分子间既有引力又有斥力
- ✓ E. 分子间的引力和斥力同时存在，都随分子间距离的增大而减小

(2) 如图 7，一定质量的理想气体被活塞封闭在竖直放置的绝热汽缸内，活塞质量为  $30\text{ kg}$ 、横截面积  $S = 100\text{ cm}^2$ ，活塞与汽缸间连着自然长度  $L = 50\text{ cm}$ 、劲度系数  $k = 500\text{ N/m}$  的轻弹簧，活塞可沿汽缸壁无摩擦自由移动。初始时刻，汽缸内气体温度  $t = 27\text{ }^\circ\text{C}$ ，活塞距汽缸底部  $40\text{ cm}$ 。现对汽缸内气体缓慢加热，使活塞上升  $30\text{ cm}$ 。已知外界大气压  $p_0 = 1.0 \times 10^5\text{ Pa}$ ， $g = 10\text{ m/s}^2$ ，求汽缸内气体的末态温度。

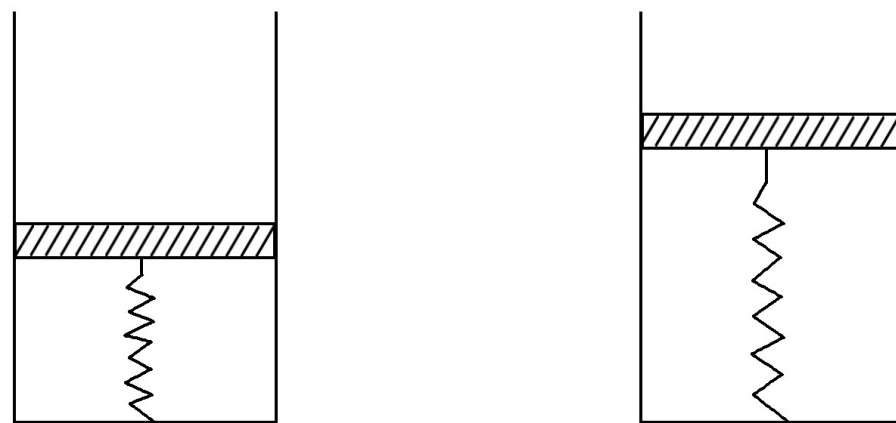


图 7

10.(1) 下列说法正确的是 ( ? )

- ✓ A. 为了增加物体的内能，必须对物体做功或向它传递热量
- B. 物体温度升高，物体內所有分子运动的速率均增加
- ✓ C. 热量能够自发地从高温物体传递到低温物体，但不能自发地从低温物体传递到高温物体
- D. 当分子间的距离增大时，分子之间的引力和斥力均同时减小，而分子势能一定增大
- ✓ E. 生产半导体器件时，需要在纯净的半导体材料中掺入其他元素，可以在高温条件下利用分子的扩散来完成

(2) 已知竖直玻璃管总长为  $h$ ，第一次向管内缓慢地添加一定量的水银，水银添加完成时，气柱长度变为  $\frac{3}{4}h$ ，第二次再取与第一次相同质量的水银缓慢地添加在管内，整个过程水银未溢出玻璃管，外界大气压强保持不变。

① 求第二次水银添加完时气柱的长度。

② 若第二次水银添加完后，把玻璃管在竖直面内以底部为轴缓慢地沿顺时针方向旋转  $60^\circ$ ，求此时气柱长度。(水银未溢出玻璃管)

**解析** 把玻璃管在竖直面内缓慢的沿顺时针方向旋转  $60^\circ$  时气体压强：

$$p' = p_0 + 2p \sin 30^\circ ,$$

气体发生等温变化，由玻意耳定律得： $p_0 h S = (p_0 + 2p \sin 30^\circ) h'' S$ ，

联立解得： $h'' = 0.75h$ .

**答案**  $0.75h$

11.(1) 下列说法正确的是 ( ? )

- ✓ A. 分子质量不同的两种气体，温度相同时其分子平均动能相同
- B. 一定质量的气体，在体积膨胀的过程中，内能一定减小
- ✓ C. 布朗运动表明，悬浮微粒周围的液体分子在做无规则运动
- D. 知道阿伏加德罗常数、气体的摩尔质量和密度就可以估算出气体分子的大小
- ✓ E. 两个分子的间距从极近逐渐增大到  $10r_0$  的过程中，它们的分子势能先减小后增大

(2) 如图 8 所示，左右两个容器的侧壁都是绝热的、底部都是导热的、横截面积均为  $S$ 。左容器足够高，上端敞开，右容器上端由导热材料封闭。两个容器的下端由容积可忽略的细管连通。容器内两个绝热的活塞  $A$ 、 $B$  下方封有氮气， $B$  上方封有氢气。大气的压强为  $p_0$ ，外部气温为  $T_0 = 273 \text{ K}$  保持不变，两个活塞因自身重力对下方气体产生的附加压强均为  $0.1p_0$ 。系统平衡时，各气体柱的高度如图所示。现将系统的底部浸入恒温热水槽中，再次平衡时  $A$  上外力

将  $A$  缓慢推回第一次平衡时的位置并固定，第三次达到平衡时氢气柱高度为  $0.8h$ 。氮气和氢气均可视为理想气体。求：

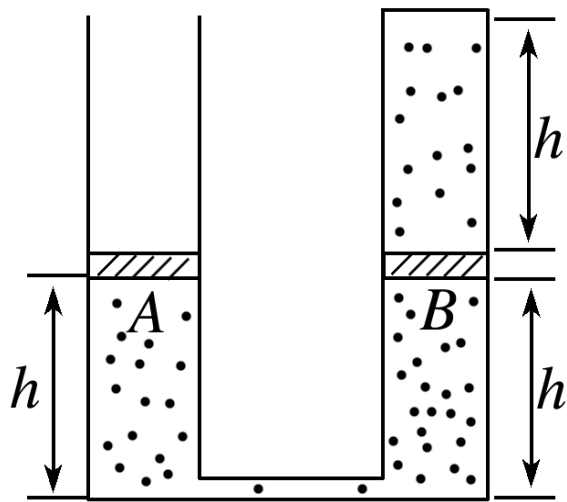


图 8

① 第二次平衡时氮气的体积；

② 水的温度 .

**解析** 活塞  $A$  从最初位置升到最高位置过程为等压过程，该过程的初态体积和温度分别为  $2hS$  和  $T_0 = 273 \text{ K}$ ，末态体积为  $2.7hS$ ，

设末态温度为  $T$ ，由盖—吕萨克定律：
$$\frac{2hS}{T_0} = \frac{2.7hS}{T}$$

解得： $T = 368.55 \text{ K}$

**答案**  $368.55 \text{ K}$

12.(1) 下列说法正确的是 ( ? )

A. 在完全失重的情况下，密闭容器内的气体对器壁没有压强

✓ B. 液体表面存在着张力是因为液体表面层分子间的距离大于液体内部分子间的距离

的距离

✓ C. 温度相同的氢气和氧气，氢气分子和氧气分子的平均速率相同

D. 密闭在汽缸里的一定质量理想气体发生等压膨胀时，单位时间碰撞器壁

✓ 单位面积的气体分子数一定减少

E. 影响蒸发快慢以及影响人们对干爽与潮湿感受的因素是空气中水蒸气的

压强与同一温度下水的饱和汽压的比值

(2) 如图 9 所示为一竖直放置、上粗下细且上端开口的薄壁玻璃管，上部和下部的横截面积之比为 2:1，上管足够长，下管长度  $l = 34 \text{ cm}$ 。在管内用长度  $h = 4 \text{ cm}$  的水银封闭一定质量的理想气体，气柱长度  $l_1 = 20 \text{ cm}$ 。大气压强  $p_0 = 76 \text{ cmHg}$ ，气体初始温度为  $T_1 = 300 \text{ K}$ 。

① 若缓慢升高气体温度，使水银上端面到达粗管和细管交界处，求此时的温度  $T_2$ ；

**解析** 气体做等压变化， $\frac{l_1}{T_1} = \frac{l_2}{T_2}$ ， $l_2 = l - h = 30 \text{ cm}$   
 由盖—吕萨克定律： $\frac{l_1}{T_1} = \frac{l_2}{T_2}$  解得： $T_2 = \frac{l_2}{l_1} T_1 = 450 \text{ K}$

**答案** 450 K

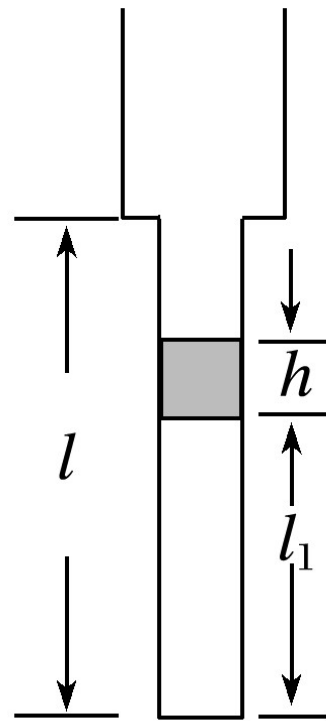


图 9

②继续缓慢升高温度至水银恰好全部进入粗管，求此时的温度  $T_3$ 。

**解析**  $p_1 = 80 \text{ cmHg}$  ,  $p_3 = 78 \text{ cmHg}$  ,  $l_3 = 34 \text{ cmHg}$

由理想气体状态方程：
$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_3 V_3}{T_3}$$

解得：
$$T_3 = \frac{p_3 l_3}{p_1 l_1} T_1 = 497.25 \text{ K}$$

**答案** 497.25

K