12 自招综合训练-热学

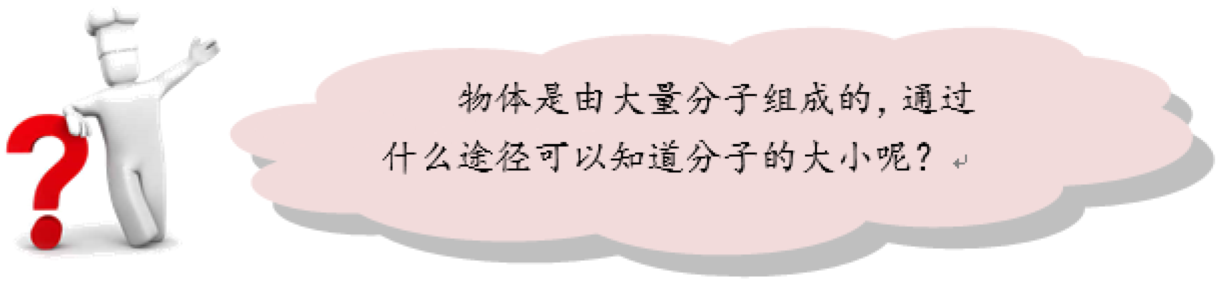
我国古代传说，燧人氏钻木取火以化腥臊，奉为千古圣皇；古希腊神话，普罗米修斯盗天火开罪于主神而泽惠天下，崇为世间英雄。在古代各民族的语言里，“火”与“热”几乎是同义词。热学这门科学起源于人类对于热与冷现象本质的追求，由于史前人类已经发明了火，我们可以想象到，追求热与冷现象的本质可能是人类最初对自然界法则的追求之一。在这个模块中，我们来研究一些热学现象。

一、分子动理论

1.知识点睛

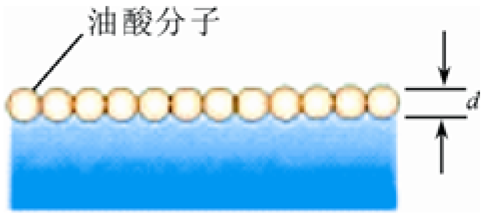
费曼在他的物理学讲义中写道：“假如由于某种大灾难，所有的科学知识都丢失了，只有一句话传给下一代，那么怎样才能用最少的词汇来表达最多的信息呢？我相信这句话是原子的假设：所有的物体都是由原子构成的，这些原子是一些小小的粒子，它们一直不停地运动着。当彼此略微离开时相互吸引，当彼此过于挤紧时又相互排斥。”这一句话中包含了大量的有关世界的信息，实际上就是我们下面要讲述的分子动理论的主要内容。

1．物体是由大量分子组成的



(1) 用油膜法估测分子的大小

把很小一滴油酸滴在水面上，水面上会形成一块油酸薄膜，薄膜是由单层油酸分子组成的。在估算时我们忽略油酸分子的形状，把它简化为球形。测出一滴液体中油酸所占的体积V，油膜的面积S，就能估算出油酸的分子直径$d=\frac{V}{S}$。



因此，估测油酸分子的直径，要解决两个问题：① 获得很小一滴油酸并测得它的体积；② 测量这滴油酸在水面上形成的油膜面积。

① 首先，配置一定浓度的油酸酒精溶液，例如可以向1mL油酸中加酒精，直至总量达到500mL。用注射器吸取这样的油酸溶液，把它一滴一滴地滴入小量筒中，记下液滴的总滴数和它们的总体积，这样便知道1滴溶液的体积了。例如，100滴溶液的体积是1mL，1滴的体积就是10^{-2}mL。根据这些数据就可以计算出一滴溶液中所含纯油酸的体积。例如，上述数据中，1滴溶液含油酸2×10^{-5}mL。如果把1滴这样的溶液滴在水面，溶液中的酒精将溶于水并很快挥发，液面上的油膜便是纯油酸形成的。

② 先在浅盘里倒入约2cm深的水，然后将痱子粉或细石膏粉均匀地洒在水面上。用注射器往水面上滴1滴油酸酒精溶液，油酸立即在水面散开，形成一块薄膜。薄膜上没有痱子粉，可以清楚地看出它的轮廓。待油酸薄膜形状稳定后，将事先准备好的玻璃板放在浅盘上，在玻璃板上描下油酸膜的形状。将画有油酸膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上，计算轮廓范围内的正方形个数，不足半个的舍去，多于半个的算一个。把正方形的个数乘以单个正方形的面积就得到油膜的面积。

(2) 分子的大小：除了一些有机物质的大分子外，多数分子尺寸的数量级为10^{-10}m。

(3) 阿伏加德罗常数：

我们在化学课中学过，1mol的任何物质都含有相同的粒子数，这个数量可以用阿伏加德罗常数来表示。1986年用X射线测得的阿伏加德罗常数是$N_A=6.02\times10^{23}\mathrm{mol}^{-1}$。

阿伏加德罗常数是一个重要的常数，它把摩尔质量、摩尔体积这些宏观物理量与分子质量、分子大小等微观物理量联系起来，物理学中定量研究热现象时经常用到它。

① 固体、液体分子微观量的估算

分子数：$N=nN_A=\dfrac{m}{M_{\mathrm{mol}}}N_A=\dfrac{V}{V_{\mathrm{mol}}}N_A$（$M_{\mathrm{mol}}$为分子的摩尔质量，$V_{\mathrm{mol}}$为分子的摩尔体积）

每个分子的质量：$\mu=\dfrac{M_{\mathrm{mol}}}{N_A}$

每个分子体积（分子所占空间）：$V_1=\dfrac{V_{\mathrm{mol}}}{N_A}=\dfrac{M_{\mathrm{mol}}}{\rho N_A}$，其中$\rho$为固体或液体的密度。

分子直径的估算：把固体、液体分子看成球形，则分子直径$d=\sqrt[3]{6V_1/\pi}$；

把固体、液体分子看成立方体，则$d=\sqrt[3]{V_1}$。

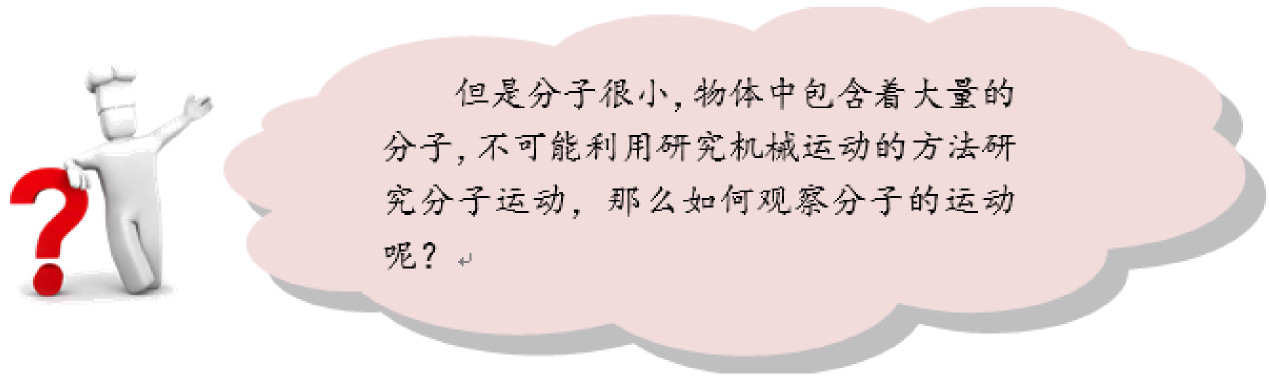
② 气体分子微观量的估算方法

物质的量$n=\frac{V_{标}}{22.4}$，$V_{标}$为气体在标况下的体积。

分子间距的估算：设想气体分子的分布均匀，每个分子平均占有一定的体积，假设为立方体，则分子间距$r=\sqrt[3]{V_{\text{mol}}/N_A}$。

2．分子永不停息地做无规则热运动

初中我们学习过，物体里的分子永不停息地做无规则运动，这种运动跟温度有关，所以通常把分子的这种运动叫做热运动。温度越高，分子热运动越剧烈。



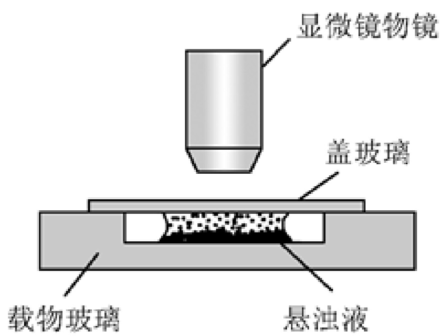
(1) 扩散现象

从实验和生活现象中我们都会发现，不同物质能够彼此进入对方，物理学把这类现象叫做扩散。

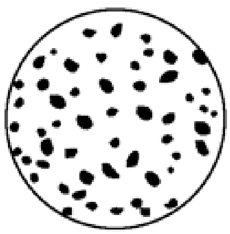
(2) 布朗运动

19世纪初，一些人观察到，悬浮在液体中的小颗粒总在不停的运动。1827年，英国植物学家布朗首先在显微镜下研究了这种运动。下面我们来做类似的实验。

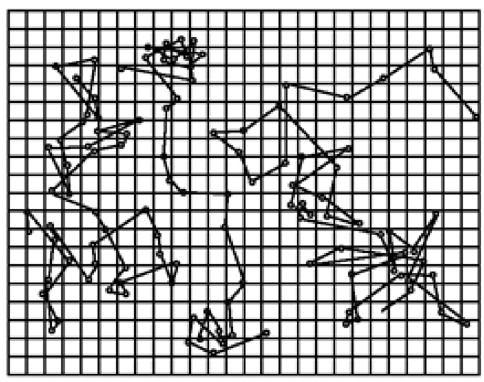
把墨汁用水稀释后取出一滴放在高倍显微镜下观察，可以看到悬浮在液体中的小碳粒在不停地做无规则运动，追踪一个小碳粒的运动，每隔$30s$把碳粒的位置记录下来，然后用直线把这些位置按时间顺序依次连接起来，就得到类似下图所示的微粒运动的位置连线。可以看出，微粒的运动是无规则的。实际上，就是在短短的$30s$内，微粒的运动也是极不规则的。



甲 实验装置

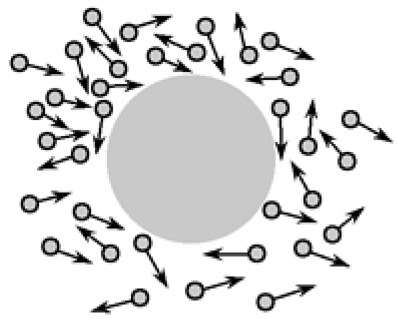


乙 显微镜下看到的微粒



布朗运动是怎样产生的呢？

在显微镜下看起来连成一片的液体，实际上是由许多分子组成的。液体分子不停地做无规则运动，不断地撞击微粒。如图为一颗微粒受到周围液体分子撞击的情景。悬浮微粒足够小时，来自各个方向的液体分子撞击作用的不平衡性便表现出来了。在某一瞬间，微粒在某个方向受到的撞击作用较强；在下一瞬间，微粒受到另一个方向的撞击作用较强，这样，就引起了微粒的无规则运动。



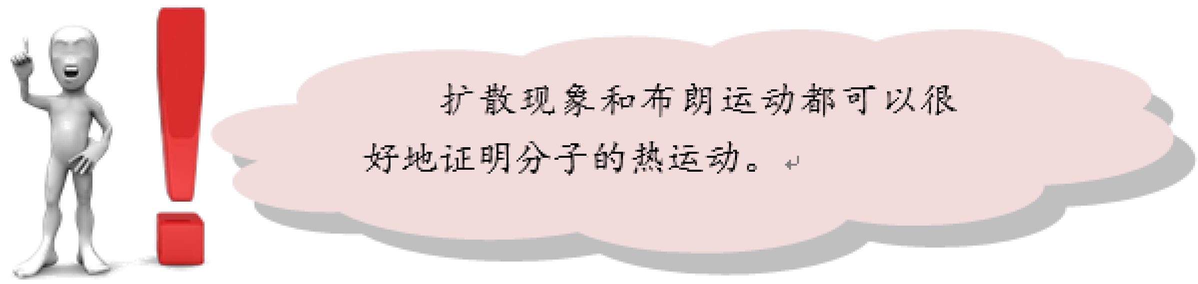
关于布朗运动，要注意以下几点：

① 形成条件是微粒足够小。

② 温度越高，布朗运动越剧烈。

③ 观察到的是固体微粒（不是液体分子）的无规则运动，反映的是液体分子运动的无规则性。

④ 实验中描绘出的是某固体微粒每隔的位置的连线，不是该微粒的运动轨迹。



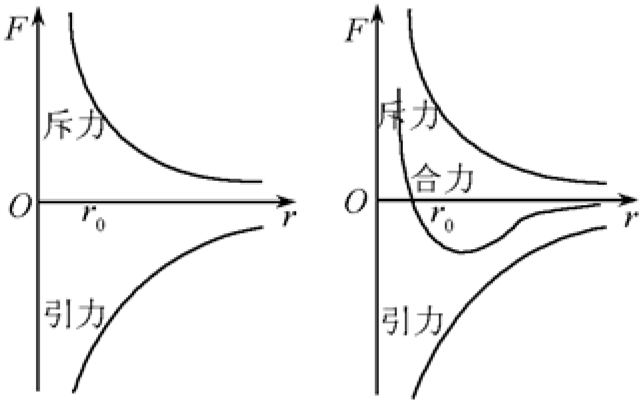
3．分子间的作用力

气体很容易被压缩，说明气体分子间存在着很大的空隙。水和酒精混合后总体积会减小，说明液体分子间存在着空隙。压在一起的金片和铅片，各自的分子能扩散到对方的内部，说明固体分子间也存在着空隙。

分子间虽然有空隙，大量分子却能聚集在一起形成固体或液体，说明分子之间存在着引力；用力压缩物体，物体内会产生反抗压缩的弹力，说明分子间还存在着斥力。

(1) 分子间同时存在引力和斥力，实际表现的分子力是它们的合力。

(2) 分子力特点：引力和斥力都随着距离的增大而减小；斥力比引力减小得快。



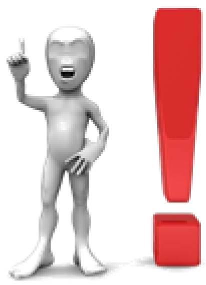
(3) 分子间作用力（指引力和斥力的合力）随分子间距离而变化的规律是：

①$r < r_0$时表现为斥力；

②$r = r_0$时分子力为零；

③$r > r_0$时表现为引力；

④$r > 10r_0$以后，分子力变得十分微弱，可以忽略不计。



物体是由大量分子组成的，分子在做永不停息的无规则运动，分子之间存在着引力和斥力。这就是分子动理论的主要内容。

2. 例题精讲

1 据保加利亚媒体2005年8月27日报道，一艘乌克兰油轮在多瑙河保加利亚维丁港附近的河段发生原油泄漏事故，造成河水严重污染，对饮用水和生态环境构成威胁．现假设该艘油轮装载着密度为$9\times10^2\mathrm{kg/m^3}$的原油在海上航行，由于某种事故使原油发生部分泄漏，设共泄漏出9t，则这次事故造成的最大可能的污染面积约为（　　）

A. $10^{11}\mathrm{m^2}$

B. $10^{12}\mathrm{m^2}$

C. $10^{9}\mathrm{m^2}$

D. 10^8m^2

答案 A

解析 当水面形成单分子油膜时，污染面积最大，根据密度和质量算出泄漏油的体积，再用体积除以单分子直径的数量级$10^{-10}m$即可得到大约的污染面积．

故选A．

标注 热学 > 分子动理论 > 分子的大小

2 用单分子油膜法测出油酸分子（视为球形）的直径后，还需要下列哪一个物理量就可以计算出阿伏伽德罗常数（　　）

A. 油滴的体积

B. 油滴的质量

C. 油酸的摩尔体积

D. 油酸的摩尔质量

答案 C

解析 方法一：已知分子直径，可以求出分子的体积，因此，只要知道摩尔体积，就可以求出阿伏伽德罗常数．

故选C．

方法二：求出一个油分子的体积，只要知道了油的摩尔体积即可求出阿伏加德罗常数，如果知道油的摩尔量和密度可求出摩尔体积．

故选C．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

3 如果M表示摩尔质量，m表示分子质量，V_1表示分子的体积，V表示摩尔体积，N表示阿伏加德罗常数，n_0表示单位体积的分子数，ρ表示物质的密度，那么反映这些量之间关系的下列各式中正

确的是（　　）

A. $V=\dfrac{M}{\rho}$

B. $m=\rho V_1$

C. $N=\dfrac{V}{V_1}$

D. $\rho=n_0\dfrac{M}{N}$

答案　AD

解析　固体和液体分子可看成紧密堆集在一起的，分子的体积$V_0=\dfrac{V_m}{N_A}$仅适用于固体和液体，对气体不适用．对于气体分子，由于气体分子间绝大部分是空隙，$d=\sqrt[3]{V_0}$的值并非气体分子的大小，而是两个相邻的气体分子之间的平均距离，由于本题没有指明是固体、液体还是气体，题中四个选项表述中，A、D对任何形式的物质都适用，B、C只对固、液态物质适用，对气态物质不适用．

故选AD．

标注　热学 > 分子动理论 > 物体是由大量分子组成的

热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

4 在压强不太大，温度不太低的情况下，气体分子本身的大小比分子间的距离小很多，因而在理想气体模型中通常忽略分子的大小．已知液氮的密度$\rho=810\,\mathrm{kg\cdot m^{-3}}$，氮气的摩尔质量$M_{\mathrm{mol}}=28\times10^{-3}\,\mathrm{kg\cdot mol^{-1}}$．假设液氮可看作由立方体分子堆积而成，根据所给数据对标准状态下的氮气做出估算，说明上述结论的合理性．

答案

标准状态下气体单位体积的分子数

$n_0=\frac{N_A}{V_{\mathrm{mol}}}$ ①

分子间的平均距离$\bar{l}=\left(\frac{1}{n_0}\right)^{\frac{1}{3}}$ ②

设液氮分子的边长为d，质量为m，单位体积的分子数为n，由此可估算氮分子的大小．

由$\rho=nm=n\frac{M_{\mathrm{mol}}}{N_A}$ ③

且$\frac{1}{n}=d^3$ ④

联立③④式得：$d=\left(\frac{M_{\mathrm{mol}}}{\rho N_A}\right)^{\frac{1}{3}}$ ⑤

联立①②⑤式并带入相关数据，得

$\bar{l}\approx 8.7d$ ⑥

即分子平均距离约为分子大小的8.7倍，气体分子本身的大小可忽略．

解析 标准状态下气体单位体积的分子数

$n_0=\frac{N_A}{V_{\mathrm{mol}}}$ ①

分子间的平均距离$\bar{l}=\left(\frac{1}{n_0}\right)^{\frac{1}{3}}$ ②

设液氮分子的边长为d，质量为m，单位体积的分子数为n，由此可估算氮分子的大小．

由$\rho=nm=n\frac{M_{\mathrm{mol}}}{N_A}$ ③

且$\frac{1}{n}=d^3$ ④

联立③④式得：$d=\left(\frac{M_{\mathrm{mol}}}{\rho N_A}\right)^{\frac{1}{3}}$ ⑤

联立①②⑤式并带入相关数据，得

$\bar{l}\approx 8.7d$ ⑥

即分子平均距离约为分子大小的8.7倍，气体分子本身的大小可忽略．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

教师版补充：下面补充一道类似的题，老师可选用

5 $1\mathrm{cm}^3$的水中和标准状态下$1\mathrm{cm}^3$的水蒸气中各有多少个水分子. 在上述两种状态下，相邻两个水分子之间的距离各是多少．

答案 3.3×10^{22}；2.7×10^{19}；$3.85\times10^{-10}\mathrm{m}$；$3.3\times10^{-9}\mathrm{m}$

解析 $1\mathrm{cm}^3$水中的水分子个数为$n=\dfrac{\rho V}{M_A}N_A=\dfrac{1\times1\times6.02\times10^{23}}{18}=3.3\times10^{22}$个．

设相邻两个水分子间距离为d，视水分子为球形，则$\dfrac{V}{n}=\dfrac{4}{3}\pi\left(\dfrac{d}{2}\right)^3$，

$d=2\sqrt[3]{\dfrac{3V}{4\pi n}}=2\sqrt[3]{\dfrac{3\times1\times10^{-6}}{4\times3.14\times3.3\times10^{22}}}\mathrm{m}=3.85\times10^{-10}\mathrm{m}$．

$1\mathrm{cm}^3$的水蒸气的水分子个数为$n'=\dfrac{V}{V_A}N_A=\dfrac{1\times10^{-3}\times6.02\times10^{23}}{22.4}=2.7\times10^{19}$个．

设相邻两个水分子间的距离为d'，视水蒸气分子所占据的空间为正方体，则$d'^3=\dfrac{V}{n'}$，

$d'=\sqrt[3]{\dfrac{V}{n'}}=\sqrt[3]{\dfrac{1\times10^{-6}}{2.7\times10^{19}}}\mathrm{m}=3.3\times10^{-9}\mathrm{m}$．

$1\mathrm{cm}^3$水中的水分子个数为3.3×10^{22}个；$1\mathrm{cm}^3$的水蒸气的水分子个数为2.7×10^{19}个；相邻水分子之间的距离为$3.85\times10^{-10}\mathrm{m}$；相邻水蒸气分子间的距离为：$3.3\times10^{-9}\mathrm{m}$．

故答案为：3.3×10^{22}；2.7×10^{19}；$3.85\times10^{-10}\mathrm{m}$；$3.3\times10^{-9}\mathrm{m}$．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

热学 > 分子动理论 > 分子的大小

6 沙尘暴使空气中的悬浮微粒的最高浓度达到$5.8\times10^{-6}\mathrm{kg/m^3}$，悬浮微粒的密度为$2.0\times10^{3}\mathrm{kg/m^3}$，其中悬浮微粒的直径小于$10^{-7}$的称为“可吸入颗粒物”，对人体的危害最大．北京地区出现上述沙尘暴时，设悬浮微粒中总体积的$\dfrac{1}{50}$为可吸入颗粒物，并认为所有可吸入颗粒物的平均直径为$5.0\times10^{-8}\mathrm{m}$，求$1.0\mathrm{cm}^3$的空气中所含可吸入颗粒物的数量是多少．（计算时把可吸入颗粒物视为球形，计算结果保留1位有效数字）

答案 9×10^{5}．

解析 沙尘暴天气时，$1\mathrm{cm}^3$空气中所含悬浮微粒总体积为

$V=\dfrac{m}{\rho}=\dfrac{5.8\times10^{-6}\times1\times10^{-6}}{2.0\times10^{3}}\mathrm{m}^3=2.9\times10^{-15}\mathrm{m}^3$，其中所含的可吸入颗粒物的体积为

$V'=\dfrac{V}{50}=5.8\times10^{-17}\mathrm{m}^3$．每一个可吸入颗粒的体积为$V_0=\dfrac{1}{6}\pi d^3\approx6.54\times10^{-23}\mathrm{m}^3$．所以$1\mathrm{cm}^3$的空气中所含的可吸入颗粒物的数量$n=\dfrac{V'}{V_0}\approx9\times10^{5}$个．

故答案为：9×10^{5}．

标注 热学 > 分子动理论 > 物体是由大量分子组成的

7 为落实“以人为本，创建和谐社会”的号召，党中央决定在3年内“在公共场所全面禁止吸烟”，我们知道被动吸烟比主动吸烟害处更多．一个高约$2.8\mathrm{m}$、面积约$10\mathrm{m}^2$的两人办公室，若只有一人吸了一根烟（人正常呼吸一次吸入气体$300\mathrm{cm}^3$，一根烟大约吸10次）．假设在标准状态下，试估算：

(1) 被污染的空气分子间的平均距离．

(2) 另一不吸烟者一次呼吸大约吸入多少个被污染过的空气分子．

答案 (1) $7\times10^{-8}\mathrm{m}$

(2) 8.7×10^{17}个

解析 (1) 吸烟者抽一根烟吸入气体的总体积为$V=10\times300\mathrm{cm}^3=3\mathrm{L}$，含有空气分子数

$N=\dfrac{V}{V_m}N_{\mathrm{A}}=\dfrac{3}{22.4}\times6.02\times10^{23}$个$\approx8.1\times10^{22}$个．

办公室单位体积内含被污染的空气分子数$n=\dfrac{N}{2.8\mathrm{m}\times10\mathrm{m}^2}\approx2.9\times10^{21}$个$/\mathrm{m}^3$，每个污染分子所占体积的$V_0=\dfrac{1}{2.9\times10^{21}}\mathrm{m}^3\approx3.4\times10^{-22}\mathrm{m}^3$，所以平均距离为

$L=\sqrt[3]{V_0}\approx7\times10^{-8}\mathrm{m}$．

故答案为：$7\times10^{-8}\mathrm{m}$．

(2) 被动吸烟者一次吸入被污染的空气分子数为：

$2.9\times10^{21}\times300\times10^{-6}$个$=8.7\times10^{17}$个．

故答案为：8.7×10^{17}个．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

热学 > 分子动理论 > 分子的大小

热学 > 分子动理论 > 物体是由大量分子组成的

8 已知地球半径约为$6.4\times10^6\mathrm{m}$，空气的摩尔质量约为$29\times10^{-3}\mathrm{kg/mol}$，一个标准大气压约为$1.0\times10^5\mathrm{Pa}$．利用以上数据可估算出地球表面大气在标准状况下的体积为（　　）

A. $4\times10^{16}\mathrm{m}^3$

B. $4\times10^{18}\mathrm{m}^3$

C. $4\times10^{20}\mathrm{m}^3$

D. $4\times10^{22}\mathrm{m}^3$

答案 B

解析 大气压是由于大气受到重力产生的．大气压强$p=\dfrac{mg}{S}-\dfrac{mg}{4\pi R^2}$，带入数据可得地球表面大气质量为$m=5.2\times10^{18}\mathrm{kg}$．标准状态下$1\mathrm{mol}$气体的体积为$V_{\mathrm{mol}}=22.4\times10^{-3}\mathrm{m}^3$，故地球表面大气体积为$V=\dfrac{m}{m_0}V_{\mathrm{mol}}=\dfrac{5.2\times10^{18}}{29\times10^{-3}}\times22.4\times10^{-3}\mathrm{m}^3=4\times10^{18}\mathrm{m}^3$，B对．

故选B．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

热学 > 分子动理论 > 物体是由大量分子组成的

9 若把黄瓜腌制成咸菜，通常需要较长时间，但要把黄瓜炒熟，只要几分钟就可以有咸味，造成这种情况的原因是（　　）

A. 盐分子小，容易进入黄瓜

B. 盐分子间有相互作用的斥力，容易扩散

C. 黄瓜分子间有空隙，盐分子容易进入

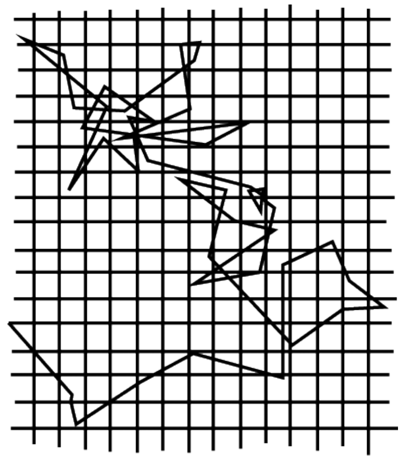
D. 炒菜时温度升高，盐分子热运动剧烈

答案 D

解析 首先盐分子进入黄瓜是一种扩散现象，盐分子进入黄瓜的时间不同是由于扩散的剧烈程度不同，炒菜时温度高，分子热运动剧烈，扩散也容易．

标注 热学 > 分子动理论 > 扩散现象

10 在一杯清水中滴一滴墨汁，制成悬浊液在显微镜下进行观察．若追踪一个小碳粒的运动，每隔$30\mathrm{s}$把观察到的碳粒的位置记录下来，然后用直线把这些位置依次连接起来，就得到如图所示的折线．则以下判断正确的是（　　）



A. 图中折线为小碳粒运动的轨迹

B. 可以看出小碳粒的运动是无规则的

C. 反映的是液体分子运动的无规则性

D. 可以看出碳粒越大布朗运动越明显

答案 BC

解析 A．记录下来的是小炭粒的每隔30s固体微粒的位置，不是轨迹，故A错误；

BC．从这里可以看出固体小颗粒运动的杂乱无章，无规则，反应的是液体分子运动的无规则性．B对C对．

不能看出布朗运动与颗粒大小的关系，而实际上，是颗粒越小布朗运动越明显．

故选BC．

标注 热学 > 分子动理论

11 不容易观察到较大的颗粒做布朗运动是因为（　　）

A. 液体分子停止运动

B. 液体温度太低

C. 跟颗粒碰撞的分子数较多，各方向的撞击作用相互平衡

D. 分子冲击力很难改变颗粒的运动状态

答案 C

解析 跟颗粒碰撞的分子数较多，各方向的撞击作用相互平衡.

故选C.

标注 热学 > 分子动理论

12 将橡皮筋拉伸时，橡皮筋内分子间的（　　）

A. 引力增大，斥力减小

B. 斥力增大，引力减小

C. 引力和斥力都增大

D. 引力和斥力都减小

答案 D

解析 分子间的引力和斥力都是随着分子间距离增大而减小．

故选D．

标注 热学 > 分子动理论 > 温度和内能

13 分子间同时存在吸引力和排斥力，下列说法正确的是（　　）

A. 固体分子间的吸引力总是大于排斥力

B. 气体分子能充满任何容器是因为分子间的排斥力大于吸引力

C. 分子间的吸引力和排斥力都随分子间距离的增大而减小

D. 分子间的吸引力随分子间距离的增大而增大，而排斥力随距离的增大而减小

答案 C

解析 A．固体分子间也满足根据分子力与分子间距离的关系，故A错误；

B．是因为气体分子做无规则热运动，故B错误；

CD．根据分子力与分子间距离的关系可得答案，C对D错．

故选C．

标注 热学 > 分子动理论 > 温度和内能

14 晶须是一种发展中的高强度材料，它是一些非常细且完整的丝状（截面为圆形）晶体．现有一根铁晶，直径$D=1.60\mu m$，用$F=0.026N$的力将它拉断，试估算拉断过程中最大的铁原子间作用力f．（已知Fe的密度$\rho=7.92\times10^3kg/m^3$、摩尔质量$M=56g/mol$）

答案 拉断过程中最大的铁原子间作用力f为$8.1\times10^{-10}N$

解析 铁原子的体积$V_0=\dfrac{M}{\rho N_A}=1.17\times10^{-29}m^3$，

原子的直径$d=\sqrt[3]{\dfrac{6V_0}{\pi}}=2.82\times10^{-10}m$．

原子对应的圆面积$S_0=\dfrac{\pi d^2}{4}=6.24\times10^{-20}m^2$，

铁晶断面面积$S=\dfrac{\pi D^2}{4}=2.01\times10^{-12}m^2$，

断面上排列的铁原子数$N=\dfrac{S}{S_0}=3.22\times10^7$个，

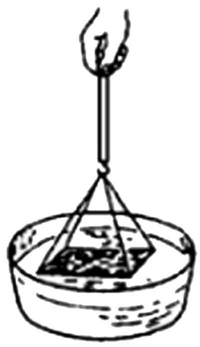
所以拉断过程中最大铁原子力$f=\dfrac{F}{N}=8.1\times10^{-10}N$．

故答案为：拉断过程中最大的铁原子间作用力f为$8.1\times10^{-10}N$．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

热学 > 分子动理论 > 分子的大小

15 把一块洗净的玻璃板吊在弹簧秤的下端，使玻璃板水平地接触水面，如图所示，已知正方形玻璃板的边长为$10cm$，质量为$0.3kg$，当玻璃板被拉出水面时，弹簧秤的读数为$F=10.8N$，试估算此过程中最大的水分子间的分子力是多大.（水的密度为$1.0\times10^3kg/m^3$）



答案 $9.2\times10^{-17}N$．

解析 因分子力的作用范围在$10^{-10}\mathrm{m}$数量级，阻止玻璃板拉出水面的分子力主要来自玻璃板下表面的玻璃分子与水分子间的相互吸引力，也可以近似的认为等于水分子间的吸引力，所以只要将对玻璃板的拉力分摊到每一个水分子上，当拉力超过了总的分子间的引力，玻璃板就被拉出水面．

水的摩尔质量$M_{\mathrm{mol}}=18\times10^{-3}\mathrm{kg/mol}$，所以每个水分子的体积为$V=\dfrac{M_{\mathrm{mol}}}{\rho N_{\mathrm{A}}}=2.99\times10^{-29}\mathrm{m}^3$，水分子直径为$d=\sqrt[3]{\dfrac{6V}{\pi}}=3.85\times10^{-10}\mathrm{m}$．分子对应的圆面积$S_0=\dfrac{\pi d^2}{4}=1.17\times10^{-19}\mathrm{m}^2$．玻璃板的面积$S=0.01\mathrm{m}^2$，所以接触面上的水分子数为$N=\dfrac{S}{S_0}=\dfrac{0.01}{1.17\times10^{-19}}=8.55\times10^{16}$个．

所以每个水分子间的最大吸引力为$F_{分}=\dfrac{F-mg}{N}=\dfrac{10.8-0.3\times9.8}{8.55\times10^{16}}\approx9.2\times10^{-17}\mathrm{N}$．

故答案为：$9.2\times10^{-17}\mathrm{N}$．

标注 热学 > 分子动理论 > 阿伏伽德罗常数的计算

热学 > 分子动理论 > 分子间引力和斥力的大小

二、理想气体状态方程

1.知识点睛

定义

1．气体的状态参量

容器内装有一定质量的气体，我们可以用体积描述气体的状态，但这是不够的，因为容器内气体的体积会随温度和压强的改变而变化。所以，一定质量气体的状态应当用体积、温度、压强等物理量来描述。

在热学中用的较多的是热力学温度T，它是国际单位制中7个基本物理量之一，单位是开尔文（K）。热力学温度和摄氏温度的温度间隔相同，即物体升高或降低的温度用开尔文和摄氏度表示在数值上是相同的。热力学温度与摄氏度之间的数量关系是$T=t+273.15K$。

定律

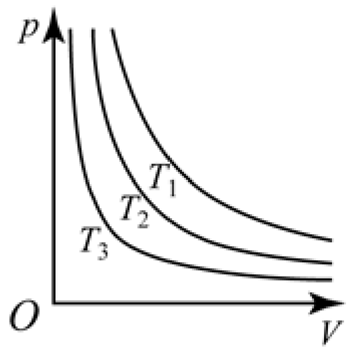
2．气体实验定律

(1) 玻意尔定律（气体的等温变化）

① 一定质量的某种气体，如果在状态变化时其温度保持不变，这种变化称为等温变化。

② 英国科学家玻意耳和法国科学家马略特各自通过实验发现：一定质量的某种气体，在温度不变的情况下，压强p与体积V成反比。这个规律叫做玻意耳定律。其数学表达式是：$pV=$常量。

③ 如图所示为一定质量的某种气体等温变化的$p\sim V$图象，图线形状为双曲线。气体温度越高，等温线离坐标原点越远，即图中$T_1>T_2>T_3$。

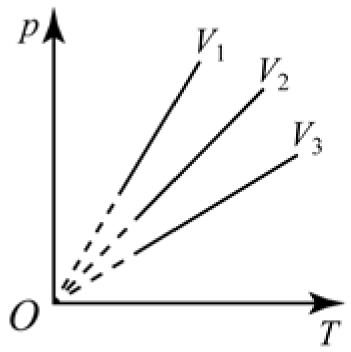


(2) 查理定律（气体的等容变化）

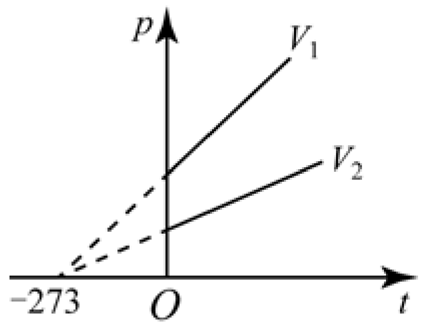
① 一定质量的某种气体，如果在状态变化时其体积保持不变，这种变化称为等容变化。

② 法国科学家查理在分析了实验事实后发现：一定质量的某种气体，在体积不变的情况下，压强p与热力学温度T成正比。这个定律叫做查理定律，其数学表达式是：$\frac{p}{T}=$常量。

③ 如图所示为一定质量的某种气体等容变化的$p\sim T$图象，图线为通过原点的一条直线。气体体积越大，直线斜率越小，即$V_1<V_2<V3$。



④ 在$p\sim t$图中，等容线为过-273℃的直线，与纵轴的交点是0℃时气体的压强。

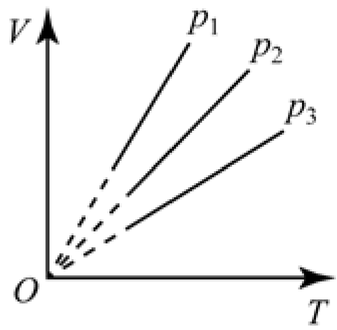


(3) 盖•吕萨克定律（气体的等压变化）

① 一定质量的某种气体，如果在状态变化时其压强保持不变，这种变化称为等压变化。

② 法国科学家盖•吕萨克通过实验事实发现：一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，体积V与热力学温度T成正比。这个定律叫做盖$bullet$吕萨克定律，其数学表达式是：$\frac{V}{T}=$常量。

③ 如图所示为一定质量的某种气体等压变化的$V\sim T$图象，图线为通过原点的一条直线。气体压强越大，直线斜率越小，即$p_1<p_2<p_3$。



定义

3．理想气体

上述的玻意耳定律、查理定律、盖$bullet$吕萨克定律三条气体实验定律都是在压强不太大（相对大气压强）、温度不太低（相对室温）的条件下总结出来的。当压强很大、温度很低时，上述定律的计算结果与实际测量结果有很大的差别。尽管如此，很多实际气体，特别是不容易液化的气体，如氢气、氧气、氮气、氦气等，在通常的温度和压强下，其性质与实验定律符合的很好。

(1) 为了研究方便，可以设想一种气体，在任何温度、任何压强下都遵从气体实验定律，我们把这样的气体称为**理想气体**。

(2) 在温度不太低、压强不太大的条件下，一切实际气体都可以当作理想气体来处理，而不会出现太大的偏差。

(3) 理想气体是一种理想化模型，从微观看，理想气体具有下列特征：

① 分子是具有一定质量，没有大小的质点

② 分子间，分子与器壁间均为弹性碰撞

③ 分子间除弹性碰撞外，没有其它相互作用，即忽略分子间相互作用力。

方程

4．理想气体状态方程

一定质量的某种理想气体，在从状态1变化到状态2时，尽管其p、V、T都可能改变，但是压强跟体积的乘积与热力学温度的比值保持不变，即：$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$

或者：$\frac{pV}{T}=$ 常量

上面两式称为理想气体状态方程。

5．克拉珀龙方程

(1) 将理想气体状态方程中的常量表示出来，即为克拉珀龙方程。

$pV=\mu RT$，其中μ为气体的物质的量，$R=8.32\mathrm{J/(K\cdot mol)}$，称为普适气体常量。

(2) **此方程的优点是能使本来针对过程适用的方程可以应用到某个单一状态。**

6．混合气体的道尔顿分压定律

(1) 英国科学家道尔顿提出：混合气体的压强等于各组气体的分压强之和。用p表示混合气体的压强，p_1、p_2、p_3表示各组气体的分压强，即$p=p_1+p_2+p_3+\ldots$

这个定律称为道尔顿分压定律。

(2) n种不同的理想气体，混合地装在同一容器中，各种气体的物质的量分别为μ_1、$\mu_2\ldots$，则气体的总物质的量$\mu=\mu_1+\mu_2\ldots$。若平衡时，各气体的温度均为T，则有：$p_1V=\mu_1RT$、$p_2V=\mu_2RT$

由道尔顿分压定律可得：$p=p_1+p_2+\ldots=\frac{\mu_1RT}{V}+\frac{\mu_2RT}{V}+\ldots=\frac{\mu RT}{V}$，由此可见理想气体状态方程也适用于混合气体。

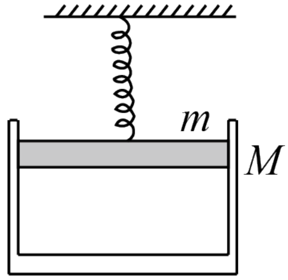
例题使用说明：这部分例题较多，各类题目考点、教学目标如下（对应题目之前也会有提示）。

2. 例题精讲

例题说明：下面这部分题目重点练习对压强的计算，结合等温变化、玻意尔定律的定性分析。

玻意尔定律

16 如图所示，活塞的质量为m，缸套的质量为M，通过弹簧吊在天花板上，汽缸内封有一定质量的气体，缸套和活塞间无摩擦，活塞面积为S，大气压强为p_0，则封闭气体的压强为（　）



A. $p=p_0+\dfrac{mg}{S}$

B. $p=p_0+\dfrac{(M+m)g}{S}$

C. $p=p_0-\dfrac{Mg}{S}$

D. $p=\dfrac{mg}{S}$

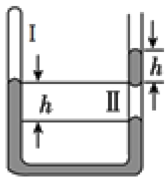
答案　C

解析　以缸套为研究对象，有$p_0S+Mg=p_0S$，所以封闭气体的压强$p=p_0-\dfrac{Mg}{S}$．

故选C．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

17 如图所示，只有一端开口的U形玻璃管竖直放置，用水银封闭两段空气柱I和II，大气压为p_0，那么空气柱I的压强为（　）



A. $p_0+\rho_{水银}gh$

B. $p_0-\rho_{水银}gh$

C. $p_0+2\rho_{水银}gh$

D. p_0

答案　D

解析　因为空气柱$$$$$p_{\mathrm{I}}=p_{\mathrm{II}}-\rho_{水银}gh$，空气柱II的压

$p_{\mathrm{II}}=p_0+\rho_{水银}gh$，所以$p_{\mathrm{I}}=p_0$，故正确选项为D．

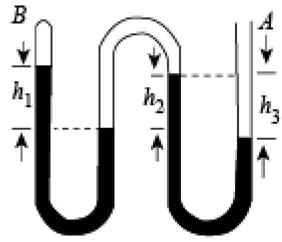
故选D．

标注　热学 > 气体 > 理想气体状态方程

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

科学思维 > 科学推理

18 如图所示，竖直放置的弯曲管A端开口，B端封闭，密度为ρ的液体将两段空气封闭在管内，管内液面高度差分别为h_1、h_2和h_3，则B端气体的压强为（　　）（已知大气压强为p_0）



A. $p_0-\rho g(h_1+h_2-h_3)$

B. $p_0-\rho g(h_1+h_3)$

C. $p_0-\rho g(h_1+h_3-h_2)$

D. $p_0-\rho g(h_1+h_2)$

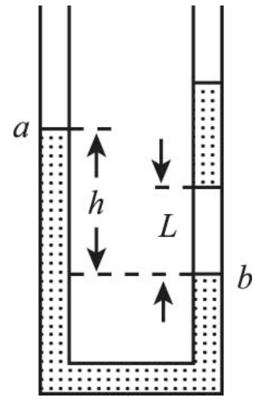
答案　B

解析　求B端气体压强，要从管口开始依次向里进行分析．中间密封气体的压强p等于外界大气压p_0和h_3高的液柱产生的压强差，即$p=p_0-\rho gh_3$，而B端气体的压强p_B等于中间气体的压强和h_1高的液柱产生的压强差，即$p_B=p-\rho gh_1$，由以上两式可得：$p_B=p_0-\rho g(h_1+h_3)$．

故选B．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

19 在两端开口竖直放置的U型管内，两段水银封闭着长为L的空气柱，ab两水银面的高度差为h，现保持温度不变，则（　　）



A. 若再向左侧管注入些水银，稳定后h变大

B. 若再向左侧管注入些水银，稳定后h不变

C. 若再向右侧管注入些水银，稳定后h变大

D. 若两管中同时注入些水银，稳定后h变大

答案 BCD

解析 设右管被封闭气体上方的水银柱的高度为h'，结合连通器原理可知有关系$h'=h$．

AB．若再向左管注入些水银稳定后，研究被封闭的气体，气体上方的水银柱高度不变，封闭气体的压强不变，仍然有$h'=h$，h不变，故A错误，B正确；

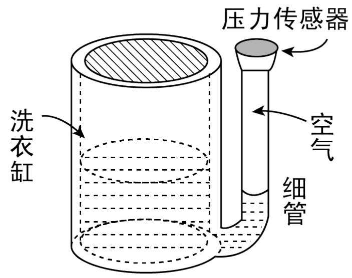
C．若再向右管注入些水银，稳定后，因被封闭气体上方的水银柱变长，被封闭的气体压强增大，a、b两水银面的高度差变大，h会变大，故C正确；

D．同时向两管同时注入些水银，h'增大，稳定后封闭气体的压强增大，则由上分析可知h变大，故D正确．

故选BCD．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压概念

20 如图所示，某种自动洗衣机进水时，与洗衣缸相连的细管中会封闭一定质量的空气，通过压力传感器感知管中的空气压力，从而控制进水量．设温度不变，洗衣缸内水位升高，则细管中被封闭的空气（　　）



A. 体积不变，压强变小

B. 体积变小，压强变大

C. 体积不变，压强变大

D. 体积变小，压强变小

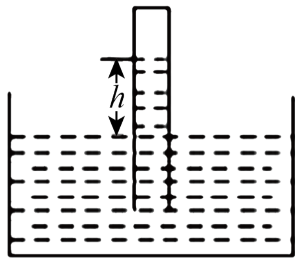
答案 B

解析 当洗衣机的水位升高时，封闭的空气的压强增大，由于气体的温度保持不变，根据玻意耳定律可知，$PV=k$，所以气体的体积要减小．

故选B．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

21 如图所示，一端封闭的玻璃管倒插入水银槽中，管内水银面高度为h，上端空气长度为L，现将玻璃管向下压一小段，则以下正确的是（　　）



A. h增大，L减小

B. h增大，L不变

C. h不变，L减小

D. h减小，L减小

答案 D

解析 假设法：假设上面气柱长度不变，玻璃管下一段距离后，内部气体压强增大，根据温度不变，压强增大，只能体积减小因此，L减小．内部气体压强与液面的汞柱压强之和等于大气压强，内部气体压强增大，故汞柱长度减小． 极限法：直接把玻璃管顶端与水银面齐平，管中水银面必然比外面低，h必然减小，随之压强增大，管内气体长度变小，故D正确．

故选D．

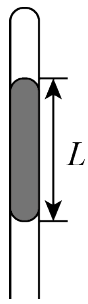
标注 热学 > 气体 > 气体的实验定律

科学思维 > 科学推理

科学思维 > 模型建构

热学 > 气体 > 气体的等温变化

22 在一端封闭的粗细均匀的玻璃管内，用水银柱封闭一部分空气，玻璃管开口向下，如图所示，当玻璃管自由下落时，空气柱的长度将（　　）



A. 变长

B. 变短

C. 不变

D. 无法确定

答案 B

解析 略

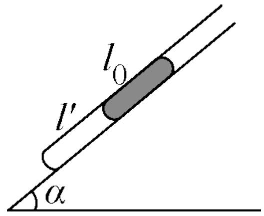
标注 热学 > 气体 > 气体的等压变化

热学 > 气体 > 气体的实验定律

科学思维 > 科学推理

科学思维 > 模型建构

23 玻璃管中用长l_0的水银柱封闭一段空气柱，当玻璃管开口向上竖直放置时，空气柱长l，当玻璃管开口向上、斜放到光滑斜面上后释放下滑时，空气柱长度为l'，如图所示．则（　　）



A. $l' > l$

B. 角α增大，l'增大

C. 角α增大，l'变小

D. l'不随α变化而变化

答案 AD

解析 略

标注 热学 > 气体 > 气体的等温变化

24 一个气泡由湖面下$20\mathrm{m}$深处上升到湖面下$10\mathrm{m}$深处，它的体积约变为原来的体积的（温度不变，水的密度为$1.0\times10^3\mathrm{kg/m^3}$，$g$取$10\mathrm{m/s^2}$）（　　）

A. 3倍

B. 2倍

C. 1.5倍

D. 0.7倍

答案 C

解析 方法一：设大气压强为$P_0=1.0\times10^5\mathrm{Pa}$，气体变化过程为等温变化，又气泡内压强

$P=\rho_{水}gH=P_0$，

则湖下$20\mathrm{m}$深处$P_1=\rho_{水}g(20)=P_0=3.0\times10^5\mathrm{Pa}$，

湖面下$10\mathrm{m}$深处$P_2=\rho_{水}g(10)+P_0=2.0\times10^5\mathrm{Pa}$，

由玻意耳定律$PV=C$可知$P_1V_1=P_2V_2$，

$V_2=\frac{P_1}{P_2}V_1=1.5V_1$.

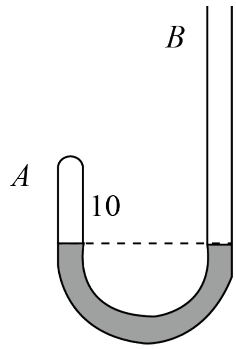
故选C .

方法二：设大气压为p_0，在湖面下20m深处时气泡内气体的压强$p_1=\rho_{水}gh_1+p_0=3p_0$，同理，在湖面下10m深处时气泡内气体的压强$p_2=\rho_{水}gh_2+p_0=2p_0$．以气泡内气体为研究对象，利用玻意耳定律$p_1V_1=p_2V_2$，可得$\frac{V_2}{V_1}=\frac{p_1}{p_2}=1.5$，故C正确．

故选C .

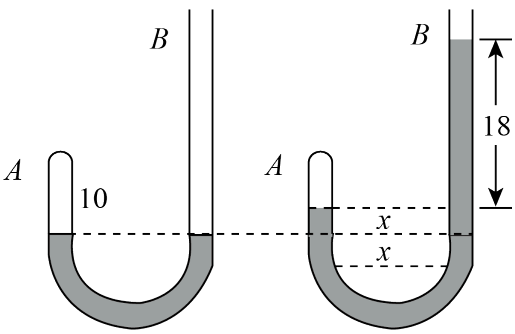
标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

25 如图所示，均匀U形玻璃管竖直放置，用水银将一些空气封在A管内，当A、B两管水银面相平时，大气压强为72cmHg．A管内空气柱长度为10cm，现往B管中注入水银，当两管水银面高度差为18cm时，A管中空气柱长度是多少. 注入水银柱长度是多少.



答案　A管水银面上升高度2cm，注入水银柱长度为22cm

解析　如图所示，由于水银是不可压缩的，所以A管水银面上升高度x时，B管原水银面下降同高度x．那么，当A、B两管水银面高度差为18cm时，在B管中需注入的水银柱长度应为$(18+2x)$ cm．



设玻璃管横截面积为S．

初始时，A中气体压强$p_1=p_0=72$cmHg，体积$V_1=10S$；

加入水银后，A中气体压强$p_2 = p_0 + 18 = 90\text{cmHg}$，体积$V_2 = (10 - x)S$；

由玻意耳定律：$p_1V_1 = p_2V_2$，解得：

A管水银面上升高度$x = 10 - 8 = 2\text{cm}$；

注入水银柱长度为$18 + 2x = 22\text{cm}$．

故答案为：A管水银面上升高度2cm，注入水银柱长度为22cm．

标注　热学 > 气体 > 气体的等温变化

26 有一水银气压计，因水银柱上的玻璃管内有微量的空气，致使读数不准确．当大气压强为76cmHg时，此气压计读数为74cm，此时其上空气柱长为8.0cm．若气压计读数为72.0cm时，则正确的压强为多少？(不考虑温度变化)

答案　73.6cmHg

解析　略

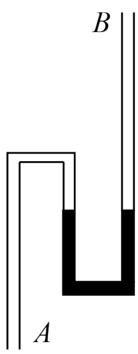
标注　科学思维 > 科学推理

科学思维 > 模型建构

热学 > 气体 > 气体的实验定律

热学 > 气体 > 气体的等温变化

27 如图，粗细均匀的弯曲玻璃管A、B两端开口，管内有一段水银柱，右管内气体柱长为39cm，中管内水银面与管口A之间气体柱长为40cm．先将口B封闭，再将左管竖直插入水银槽内，设整个过程温度不变，稳定后右管内水银面比中管内水银面高2cm，求：



(1) 稳定后右管内的气体压强p．

(2) 左管A端插入水银槽的深度h．（大气压强$p_0=76\text{cmHg}$）

答案 (1) 78cmHg

(2) 7cm

解析 (1) 方法一：插入水银槽后右管内气体：$p_0l_0=p\left(l_0-\frac{\Delta h}{2}\right)$，$p=78\text{cmHg}$．

故答案为：78cmHg．

方法二：设玻璃管截面积为S．

将B口封闭后，右管中气体压强即为p_0，高度为$l_0=39\text{cm}$；插入水银槽后，右管中气体高度为$l_0-\frac{\Delta h}{2}$．

由玻意耳定律得：$p_0l_0S=p\left(l_0-\frac{\Delta h}{2}\right)S$，

解得：$p=78\text{cmHg}$．

故答案为：78cmHg．

(2) 方法一：插入水银槽后左管压强：$p'=p+\rho g\Delta h=80\text{cmHg}$，左管内外水银面高度差$h_1=\frac{p'-p_0}{\rho g}=4\text{cm}$，中、左管内气体$p_0l=p'l'$，$l'=38\text{cm}$，左管插入水银槽深度$h=l+\frac{\Delta h}{2}-l'+h_1=7\text{cm}$．

故答案为：7cm．

方法二：初始时刻，中、左管中气体压强为p_0，气体总长度为$l=40\text{cm}$；

插入水银槽后，中、左管中气体压强：$p'=p+\rho g\Delta h=80\text{cmHg}$，左管内外水银面高度差$h_1=\frac{p'-p_0}{\rho g}=4\text{cm}$．设此时中、左管中气体总长度为$l'$．

对中、左管中气体，由玻意尔定律：$p_0lS=p'l'S$

解得：$l'=38\text{cm}$，

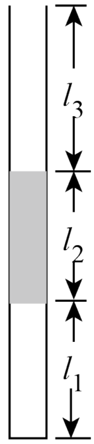
因此，左管插入水银槽深度$h=l+\frac{\Delta h}{2}-l'+h_1=7\text{cm}$．

故答案为：7cm．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

教师版补充：下面补充一道类似的题目，老师可选用

28 如图，一上端开口、下端封闭的细长玻璃管竖直放置．玻璃管的下部封有长$l_1=25.0\mathrm{cm}$的空气柱，中间有一段长$l_2=25.0\mathrm{cm}$的水银柱，上部空气柱的长度$l_3=40.0\mathrm{cm}$．已知大气压强为$p_0=75.0\mathrm{cmHg}$．现将一活塞（图中未画出）从玻璃管开口处缓慢往下推，使管下部空气柱长度变为$l_1'=20.0\mathrm{cm}$．假设活塞下推过程中没有漏气，求活塞下推的距离．

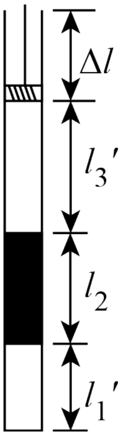


答案 $\Delta l=15.0\mathrm{cm}$

解析 以cmHg为压强单位．在活塞下推时，玻璃管下部空气柱的压强为 $p_1=p_0+l_2$ ①

设活塞下推后，下部空气柱的压强为p'_1，由玻意耳定律得 $p_1l_1=p_2l_2$ ②

如图，设活塞下推距离为Δl，则此时玻璃管上部空气柱的长度为 $l'_3=l_3+l_1-l'_1-\Delta l$ ③



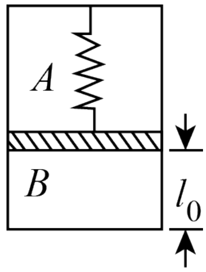
设此时玻璃管上部空气柱的压强为p'_3，则 $p'_3=p'_1-l_2$ ④

由玻意耳定律得 $p_0l_3=p'_3l'_3$ ⑤

由①至⑤式及题给数据解得 $\Delta l=15.0\mathrm{cm}$

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

29 如图所示，密闭圆筒内有一质量为100g的活塞，活塞与圆筒顶端之间有一根劲度系数$k = 20\mathrm{N/m}$的轻弹簧；圆筒放在水平地面上，活塞将圆筒分成两部分，A室为真空，B室充有空气，平衡时，$l_0 = 0.10\mathrm{m}$，弹簧刚好没有形变．现将圆筒倒置，问这时B室的高度是多少.

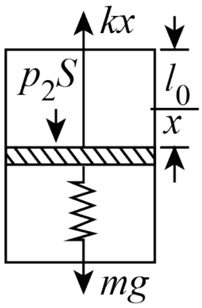


答案 0.178m

解析 设活塞面积为S．

圆筒正立时：B中气体压强$p_1 = \frac{mg}{S}$，体积$V_1 = l_0 S$；

圆筒倒立时，受力分析如图所示．



设B中气体高度为$l_0 + x$，压强为p_2．

对活塞：$p_2 S + mg = kx$，

则$p_2 = \frac{kx - mg}{S}$，$V_2 = (l_0 + x)S$；

由玻意耳定律：$p_1 V_1 = p_2 V_2$，

解得：$x \approx 0.078\mathrm{m}$．

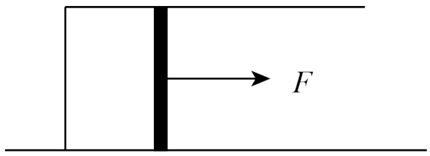
因此，此时B室高度为$l_0 + x = 0.178\mathrm{m}$．

故答案为：0.178m．

标注 热学 > 气体 > 气体的等温变化

30 如图所示，一导热良好、足够长的气缸水平放置在地面上，气缸质量$M = 9.0\mathrm{kg}$，与地面的动摩擦因数$\mu = 0.40$．气缸内一质量$m = 1.0\mathrm{kg}$、面积$S = 20\mathrm{cm}^2$的活塞与缸壁光滑密接．当气缸静止、活

塞上不施加外力时，活塞与气缸底（即图中气缸最左端）的距离$L_0=8.0\text{cm}$．已知大气压强$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，重力加速度$g=10\text{m/s}^2$．现用逐渐增大的水平拉力向右拉活塞，使活塞始终相对气缸缓慢移动．近似认为最大静摩擦力与滑动摩擦力相等，求：



(1) 当拉力达到30N时刻，活塞与气缸底之间的距离．

(2) 当拉力达到50N时刻，活塞与气缸底之间的距离．

答案 (1) 9.4cm

(2) 10.6cm

解析 (1) 气缸与地面间的最大静摩擦力$f_m=\mu N=\mu(M+m)g=40\text{N}$．

当拉力为30N时，气缸静止在地面上，最后活塞达到平衡．设平衡时气缸内的气体压强为p_1，对活塞由平衡条件可得：$F+p_1S=p_0S$，解得：$p_1=8.5\times10^4\text{Pa}$．

设此时活塞与气缸底之间的距离为L_1，则由玻意尔定律可得：$p_0L_0S=p_1L_1S$，解得：$L_1\approx9.4\text{cm}$．

故答案为：9.4cm．

(2) 当拉力为50N时，气缸相对地面滑动，达到稳定状态后，活塞与气缸相对静止，以相同的加速度运动，设两者加速度为a，由牛顿第二定律得：$F-f=(M+m)a$，解得：$a=1\text{m/s}^2$．

设此时气缸内的气体压强为p_2，对活塞由牛顿第二定律得：$F+p_2S-p_0S=ma$，解得：$p_2=7.55\times10^4\text{Pa}$．

设此时活塞与气缸底之间的距离为L_2，则由玻意尔定理可得：$p_0L_0S=p_2L_2S$，解得：$L_2\approx10.6\text{cm}$．

故答案为：10.6cm．

标注 相互作用 > 常见的三种力 > 摩擦力

31 左端封闭的水平放置圆筒中．有两个活塞把圆筒中的气体分成左右两个部分，已知右部分的体积是左部分的1.5倍，若保持温度不变，用力把右面的活塞向左推动5cm后停止，这时左面的活塞将（　）

A. 左移1.5 cm

B. 左移2 cm

C. 左移2.5 cm

D. 不移动

答案 B

解析 设圆筒截面积为S，初始时刻左侧长度为l，则右侧长度为$1.5l$；设推动右侧活塞后，左侧活塞向左移动x，初始时两侧气体压强均为p，移动活塞达到稳定后，两侧气体压强均为p'．由于温度不变，因此两侧气体均做等温变化．由理想气体状态方程，对左侧气体：$plS=p'\left(l-x\right)S$；对右侧气体：$p\left(1.5l\right)S=p'\left(1.5l+x-5\right)S$．两式相除可得：$1.5\left(l-x\right)=1.5l+x-5$，联立可得：$x=2\text{cm}$，B正确．

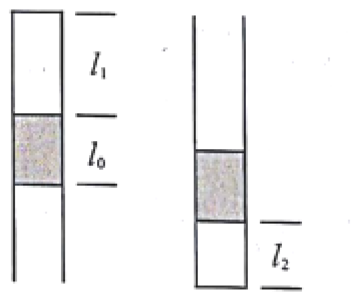
故选B．

标注 科学思维 > 科学推理

热学 > 气体 > 气体的实验定律

32 **2018年河北石家庄高二学而思**

如图所示导热U形管中封有长度为l_0的水银柱，当U形管开口向下时，其中空气柱长度为l_1；当U形管开口向上是，空气柱长度为l_2．试求$\frac{l_1}{l_2}$．



答案

$\dfrac{76+l_0}{76-l_0}$

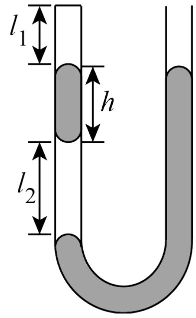
解析 大气压$P_0=76\mathrm{cmHg}$．对于空气柱，有$PV=Const$，

$(76-l_0)\cdot l_1=(76+l_0)\cdot l_2$，

$\dfrac{l_1}{l_2}=\dfrac{76+l_0}{76-l_0}$．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

33 有一左端封闭、右端开口的均匀U形管，左管内有一段水银分割出两端长度相等的气柱，如图所示，现向右管缓慢注入水银，设平衡后上段气体长l_1，下段气体长l_2，则l_1与l_2的关系为（　　）



A. $l_1>l_2$

B. $l_1=l_2$

C. $l_1<l_2$

D. 无法确定，视注入水银的量

答案 C

解析 设左管内水银柱长为h，玻璃管的横截面积为S，两段气体的初始长度为l，上段气体的初始压强为p，平衡后的压强为p_1，根据玻意耳定律，有：

$p(Sl)=p_1(Sl_1)$，

$(p+\rho gh)(Sl_1)=(p_1+\rho gh)(Sl_2)$．

解得$l_1=\dfrac{p}{p_1}l$，$l_2=\dfrac{p+\rho gh}{p_1+\rho gh}l$．

由“糖水不等式”$\dfrac{a}{b}<\dfrac{a+m}{b+m}$，得$l_1<l_2$，C正确．

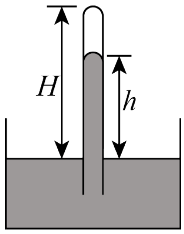
故选C．

标注　科学思维 > 科学推理

热学 > 气体 > 理想气体状态方程

34 **2018年河北石家庄高二学而思**

如图所示，在内截面面积为S的长直均匀玻璃管里用水银柱封闭一定质量的空气，然后竖直倒插入水银槽内，稳定时露出槽内水银面的水银柱高为h．



(1) 试求玻璃管顶离槽内水银面的高度H与管内的空气压强p的关系．

(2) 保持温度T不变，慢慢向上稍微提升玻璃管（管口仍在水槽内水银面下），管内的空气的体积V和压强p以及水银柱高度h各自如何变化？

(3) 若开始时管内没有封入空气，倒插后提升玻璃管，水银柱高度如何变化？

答案　(1) $p(H-h)S=C$

(2) 高度h增大，压强p减小，体积V增大

(3) 先增大后不变

解析　(1) 根据理想气体状态方程，有$p(H-h)S=C$（常量）．

(2) 高度h增大，压强p减小，体积V增大．

(3) 在玻璃管足够长的条件下，水银柱的高度先增大后不变．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

例题说明：下面这部分题目考察等容变化（查理定律）。

查理定律

35 民间常用“拔火罐”来治疗某些疾病，方法是将点燃的纸片放入一个小罐内，当纸片燃烧完时，迅速将火罐开口端紧压在皮肤上，火罐就会紧紧地被“吸”在皮肤上．其原因是，当火罐内的气体（

)

A. 温度不变时，体积减小，压强增大

B. 体积不变时，温度降低，压强减小

C. 压强不变时，温度降低，体积减小

D. 质量不变时，压强增大，体积减小

答案 B

解析 把罐扣在皮肤上，罐内空气的体积等于火罐的容积，体积不变，气体经过热传递，温度不断降低，气体发生等容变化，由查理定律可知，气体压强减小，火罐内气体压强小于外界大气压，大气压就将罐紧紧地压在皮肤上．

故选B．

标注 热学 > 热力学定律 > 内能的改变

36 汽车行驶时轮胎的胎压太高容易造成爆胎事故，太低又会造成耗油上升．已知某型号轮胎能在$-40^{\circ}\mathrm{C}$~$90^{\circ}\mathrm{C}$正常工作，为使轮胎在此温度范围内工作时的最高胎压不超过$3.5\mathrm{atm}$，最低胎压不低于$1.6\mathrm{atm}$，那么在$t=20^{\circ}\mathrm{C}$时给该轮胎充气，充气后的胎压在什么范围内比较合适？（设轮胎容积不变）．

答案 $2.01-2.83\mathrm{atm}$

解析 由于轮胎容积不变，轮胎内气体做等容变化．

设在$T_0=293\mathrm{K}$充气后的最小胎压为$P_{\min}$，最大胎压为$P_{\max}$，依题意，当$T_1=233\mathrm{K}$时胎压为$P_1=1.6\mathrm{atm}$．根据查理定律，

$\frac{P_1}{T_1}=\frac{P_{\min}}{T_0}$，即$\frac{1.6}{233}=\frac{P_{\min}}{293}$，

解得：$P_{\min}=2.01\mathrm{atm}$，

当$T_2=363\mathrm{K}$是胎压为$P_2=3.5\mathrm{atm}$．根据查理定律，

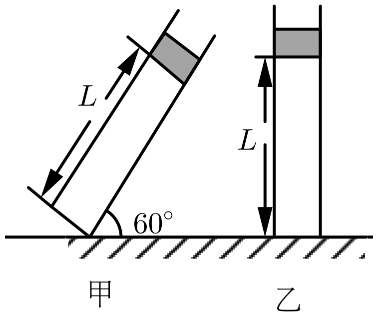
$\frac{P_2}{T_2}=\frac{P_{\max}}{T_0}$，即$\frac{3.5}{363}=\frac{P_{\min}}{293}$，

解得：$P_{\max}=2.83\mathrm{atm}$．

故答案为：$2.01-2.83\text{atm}$.

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

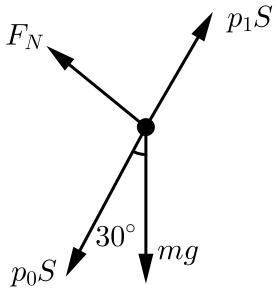
37 如图甲所示，汽缸内底部面积为0.002m^2，被活塞封闭的汽缸内的空气温度为-5°C，活塞质量为8kg当汽缸缸筒与水平面成60°角时，活塞距缸底为L，现将汽缸直立放置如图乙所示，欲使活塞距缸底仍为L，应使缸内气体摄氏温度升高到多少.（大气压强$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，$g$取$10\text{m/s}^2$，$\sqrt{3}\approx1.7$）



答案 7°C

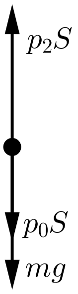
解析 汽缸直立前，对活塞受力分析如图所示，则有$mg\cos30^\circ+p_0S=p_1S$，所以气体的压强为

$$p_1=p_0+\frac{mg\cos30^\circ}{S}=1.0\times10^5\text{Pa}+\frac{8\times10\times\frac{\sqrt{3}}{2}}{0.002}\text{Pa}=1.34\times10^5\text{Pa}$$



此时气体的温度为$T_1=(t_1+273)\text{K}=268\text{K}$

汽缸直立后，对活塞受力分析如图所示，则有$mg+p_0S=p_2S$



所以气体压强为$p_2=p_0+\dfrac{mg}{S}=1.0\times10^5\mathrm{Pa}+\dfrac{8\times10}{0.002}\mathrm{Pa}=1.4\times10^5\mathrm{Pa}$．

汽缸直立前后，要求气体体积不变，则由查理定律$\dfrac{p_1}{T_1}=\dfrac{p_2}{T_2}$，解得$T_2=\dfrac{p_2}{p_1}T_1=280\mathrm{K}$．

所以汽缸直立后，气体的温度为$t_2=(T_2-273)^\circ\mathrm{C}=7^\circ\mathrm{C}$．

故答案为：$7^\circ\mathrm{C}$．

标注　热学 > 气体 > 气体的等容变化

38 水平放置、粗细均匀、两侧者封闭的细长玻璃管中，有一段水银柱将管中气体分为两部分，如图所示，左边气体体积小于右边气体体积，将玻璃管温度均匀升高的过程中，水银柱将（　　）

A. 向右移动

B. 向左移动

C. 始终不动

D. 以上三种情况都有可能

答案　C

解析　假设水银柱不动，对左边气体，应用查理定律$\dfrac{p'_1}{T'_1}=\dfrac{p_1}{T_1}$，得$p'_1=\dfrac{T'_1}{T_1}p_1$，

所以，$\Delta p_1=p'_1-p_1=\left(\dfrac{T'_1}{T_1}-1\right)p_1=\dfrac{\Delta T_1}{T_2}p_1$，同理得右边的气体：$\Delta p_2=\dfrac{\Delta T_2}{T_2}p_2$．

初始时的温度相同，即$T_1=T_2$，又升高相同的温度，即$\Delta T_1=\Delta T_2$，并且$p_1=p_2$，

故$\Delta p_1=\Delta p_2$，水银柱不动．

故选C．

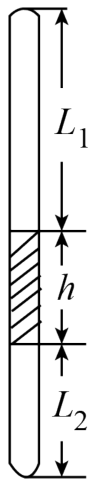
标注　热学 > 气体 > 气体的等容变化

热学 > 气体 > 气体的实验定律

科学思维 > 模型建构

科学思维 > 科学推理

39 如图所示，两端封闭、粗细均匀的竖直放置的细玻璃管，中间用长为h的水银柱将空气柱分为两部分，两段空气柱长度分别为L_1，L_2，已知$L_1 > L_2$，如同时对它们均匀加热，使之升高相同的温度，这时出现的情况是（　　）



A. 水银柱上升

B. 水银柱下降

C. 水银柱不动

D. 无法确定

答案　A

解析　方法一：假设法．

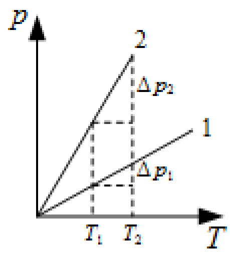
假设水银柱不动，两空气柱均发生等容变化．则由$\Delta p = \frac{p}{T}$，ΔT可知，由于ΔT相等，$p_1 < p_2$，故$\Delta p_1 < \Delta p_2$，水银柱向上移动；

方法二：极限法．

由于管上段气柱压强较小，可设想$p_1 \to 0$，即接近真空，可立即得到下方气柱发生等压变化，温度升高，体积增大，水银柱向上移动；

方法三：图象法．

首先在同一$p-T$图象中画出等容线，由图象可知，升高相同温度时，压强增量$\Delta p_1 < \Delta p_2$，水银柱向上移动．



故选A．

标注 热学 > 气体 > 气体的实验定律

例题说明：下面这部分题目考察等压变化（盖•吕萨克定律）。

盖•吕萨克定律

40 一定质量的理想气体在等压变化中体积增大了$\frac{1}{2}$，若气体原来温度为$27^\circ\mathrm{C}$，则温度的变化是（　）

A. 升高了$450\mathrm{K}$　　B. 升高了$150^\circ\mathrm{C}$　　C. 升高了$40.5^\circ\mathrm{C}$　　D. 升高了$450^\circ\mathrm{C}$

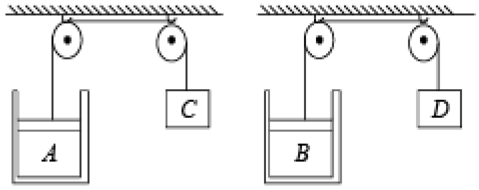
答案 B

解析 根据盖-吕萨克定律，可得$\frac{\Delta V}{\Delta T}=\frac{V_1}{T_1}$，$\Delta T=\frac{T_1}{V_1}\Delta V=150\mathrm{K}$．升高了$150\mathrm{K}$和升高了$150$是一样的．

故选B．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

41 如图所示，A、B为两个相同的汽缸，内部装有同种气体，而且温度相同，C、D为两个重物，它们的质量$m_C > m_D$，如图示方式连接并保持平衡，A中气体体积大于B中气体体积．现在使A、B内气体温度都升高$10^\circ\mathrm{C}$，不计活塞及滑轮系统的摩擦，则重新平衡后（　）



A. C下降的比D下降的多

B. C下降的比D下降的少

C. C、D下降的一样多

D. A、B汽缸的最终压强与分别与各自的初始压强相同

答案 AD

解析 略

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态计算

例题说明：下面这部分题目考察理想气体状态方程。

理想气体状态方程

42 已知湖水深度为$20\mathrm{m}$，湖底水温为$4^{\circ}\mathrm{C}$，水面温度为$17^{\circ}\mathrm{C}$，大气压强为$1.0\times10^{5}\mathrm{Pa}$．当一气泡从湖底缓慢升到水面时，其体积约为原来的(取$g=10\mathrm{m/s^2}$，$\rho=1.0\times10^{3}\mathrm{kg/m^3}$)（　　）

A. 12.8倍

B. 8.5倍

C. 3.1倍

D. 2.1倍

答案 C

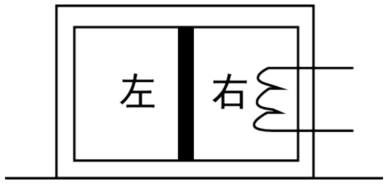
解析 湖底压强大约为3个大气压，由气体状态方程，当一气泡从湖底缓慢升到水面时，其体积约为原来的3.1倍．

故选C．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

43 如图所示，一个密闭的气缸，被活塞分成体积相等的左、右两室，气缸壁与活塞是不导热的，它们之间没有摩擦，两室中气体的温度相等．现利用右室中的电热丝对右室加热一段时间，达到平衡后，左室的体积变为原来的$\frac{3}{4}$，气体的温度$T_1=300\mathrm{K}$，求右室气体的温度．



答案 500K

解析 由题意可知，左、右两室内气体初始状态相同，设为P_0，V_0，T_0，

由理想气体状态方程可得：

以左室气体为研究对象：$\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_1\frac{3}{4}V_0}{T_1}$，

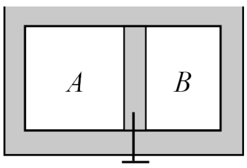
以右室气体为研究对象：$\frac{P_0V_0}{T_0}=\frac{P_1\frac{5}{4}V_0}{T_2}$，

代入数据解得：$T_2=500\mathrm{K}$．

故答案为：500K．

标注 热学 > 分子动理论

44 用销钉固定的活塞把水平放置的容器分隔成A、B两部分，其体积之比$V_A:V_B=2:1$，如图所示．起初A中有温度为$127^\circ\mathrm{C}$、压强为1.8×10^5帕的空气，B中有温度$27^\circ\mathrm{C}$、压强为1.2×10^5帕的空气．拔出销钉，使活塞可以无摩擦地移动（不漏气）．由于容器壁缓慢导热，最后气体都变到室温$27^\circ\mathrm{C}$，活塞也停住，求最后A中气体的压强．



答案 $1.3\times10^5\mathrm{Pa}$

解析 对A中气体，初态：$P_A=1.8\times10^5\mathrm{Pa}V_A$，$T_A=273\mathrm{K}+127\mathrm{K}=400\mathrm{K}$．

末态：P_A'，V_A'，$T_A'=273\mathrm{K}+27\mathrm{K}=300\mathrm{K}$，

由理想气体状态方程得：

对B中气体，初态：

$P_B=1.2\times10^5\mathrm{Pa}$，$V_B$，$T_B=300\mathrm{K}$

末态：P_B'，V_B'，$T_B'=300\mathrm{K}$，

由气体状态方程，由于温度相同，得：

$P_BV_B=P_B'\cdot V_B'$，

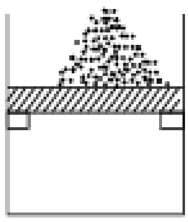
又$V_A+V_B=V_A'+V_B'$，$V_A:V_B=2:1$，$P_A'=P_B'$，

由以上各式得：$P_A'=P_B'=1.3\times10^5\mathrm{Pa}$．

故答案为：$1.3\times10^5\mathrm{Pa}$．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

45 如图所示，一个质量不计的活塞将一定质量的理想气体封闭在上端开口的直立筒形气缸内，活塞上堆放着铁沙，最初活塞搁置在缸内壁的卡环上，气柱的高度为$$$$H_0$，压强等于大气压强$P_0$．现对气体缓慢加热，当气体温度升高了$\triangle T=60\mathrm{K}$时，活塞（及铁沙）开始离开卡环而上升．继续加热，直到气柱高度$H_1=1.5H_0$．此后在维持温度不变的条件下逐渐取走铁沙，直到铁沙被全部取走时，气柱高度变为$H_2=1.8H_0$．求此时气体的温度（不计气缸和活塞间的摩擦）．



答案 $540\mathrm{K}$．

解析 以封闭在气缸内的一定质量的理想气体为研究对象．

状态Ⅰ：压强为p_0，气柱高度为H_0，温度T_0 (未知)，

状态Ⅱ：压强为 $p_0+\dfrac{mg}{S}$，气柱高度为H_0，温度$T_1=T_2+60\mathrm{K}$（m为铁砂质量）

状态Ⅲ：压强为$p_0+\dfrac{mg}{S}$，气柱高度为$1.5H_0$，温度T_2 (未知)，

状态IV：压强为p_0，气柱高度为$1.8H_0$，温度T_2，

根据理想气体状态方程，由状态Ⅰ和状态IV，得：$\frac{H_0}{T_0}=\frac{1.8H_0}{T_2}$，

由状态Ⅱ和状态Ⅲ，得：$\frac{H_0}{T_0+60}=\frac{1.5H_0}{T_2}$，

联立解得：$T_1=300\mathrm{K}$，$T_2=540\mathrm{K}$．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

46 **2018年河北石家庄高二学而思**

绝热容器用活塞分为两个区域，装有同样种类的理想气体，初始时两区域的体积分别为V_0和$2V_0$，压强相同，温度分别为$2T_0$和$3T_0$．通过活塞传热且活塞移动之后，达到热平衡，此时容器两部分的体积分别为 ______ 、 ______ ．

答案　1．$\frac{9}{7}V_0$

2．$\frac{12}{7}V_0$

解析　以p_1表示初始时两区域的压强，以p_2表示达到热平衡时两区域的压强，以T表示达到热平衡时两区域的温度，根据理想气体状态方程，有：

$\frac{p_1V_0}{2T_0}=\frac{p_2V_1}{T}$，　　①

$\frac{p_12V_0}{3T_0}=\frac{p_2V_2}{T}$．　　②

其中$V_1+V_2=V_0+2V_0$．　　③

联立式①~③，得$V_1=\frac{9}{7}V_0$，$V_2=\frac{12}{7}V_0$．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

例题说明：下面这部分题目考察克拉珀龙方程、变质量问题。

克拉珀龙方程、变质量问题

47 容积恒定的车胎内部气压维持恒定，则车胎内空气质量最多的季节是（　　）

A. 春季

B. 夏季

C. 秋季

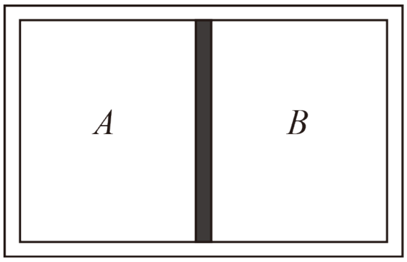
D. 冬季

答案 D

解析 由理想气体状态方程$pV=nRT$易知，为保证p、V恒定，T较小时，需要n较大．故D正确．

标注 热学 > 气体 > 气体的实验定律

48 如图，容器被绝热活塞分成两部分，分别装有理想气体A、B．开始时，A的温度为T_A，B的温度为T_B，且$T_A>T_B$．气体A、B均处于平衡状态，活塞静止．加热容器，使两边气体缓慢升高相同的温度，若不计活塞的摩擦，则活塞将（　）



A. 向右移动

B. 向左移动

C. 保持不动

D. 因体积未知而无法确定

答案 B

解析 略

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

49 一容器有一小孔与外界相通，温度为$27^\circ C$时容器中气体的质量为m，若使温度升高到$127^\circ C$，容器中气体的质量为多少．

答案 $\frac{3}{4}m$．

解析　略

标注　热学 > 气体 > 理想气体状态计算

50 某自行车轮胎中已有压强为p_0，质量为m的空气，现在要使轮胎内的气压增大到p，设充气过程为等温过程，空气可看作理想气体，轮胎容积保持不变，则还要向轮胎充入温度相同，压强也是p_0，质量为（　　）的空气．（填选项前的字母）

A. $\frac{p_0}{p}m$

B. $\frac{p}{p_0}m$

C. $\left(\frac{p}{p_0}-1\right)m$

D. $\left(\frac{p}{p_0}+1\right)m$

答案　C

解析　略

标注　热学 > 气体 > 理想气体状态计算

教师版补充：下面补充一道题目，涉及绝热过程，老师可以选用。

51 自行车胎打足气后骑着很轻快．由于慢撒气——缓慢漏气，车胎内气压下降了四分之一．求漏掉气体占原来气体的比例η．假设漏气过程是绝热的，一定质量的气体，在绝热过程中其压强p和体积V满足关系pV^{γ} =常量，式中参数γ是与胎内气体有关的常数．

答案　$\eta=1-\left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{\gamma}}$

解析　解法一：

设原来气体压强为p、体积为V，绝热膨胀漏气后气体压强变为p'，体积为V'，根据题意有

$$p'=\left(1-\frac{1}{4}\right)p=\frac{3p}{4} \qquad ①$$

漏气过程绝热，则有

$$pV^{\gamma}=p'V'^{\gamma} \qquad ②$$

或$V' = \left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{1}{\gamma}} V$

因此，漏出气体占原来气体的比例为

$$\eta = \frac{V'-V}{V'} = 1 - \frac{V}{V'} = 1 - \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 1 - \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \qquad ③$$

解法二：设胎内原来气体质量为m，压强为p，体积为V；漏气后变为质量m'，压强$p' = \frac{3p}{4}$，体积仍为V．

漏气过程绝热，可以设想，漏气前质量为m'的气体占有体积$V_1 = \frac{m'}{m}V$，经绝热过程而膨胀到整个轮胎体积V．于是有

$$p\left(\frac{m'}{m}V\right)^{\gamma} = p'V^{\gamma} \qquad ①$$

由此得

$$\frac{m'}{m} = \left(\frac{p'}{p}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \qquad ②$$

漏出气体占原有气体的比例为

$$\eta = \frac{m-m'}{m} = 1 - \frac{m'}{m} = 1 - \left(\frac{3}{4}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \qquad ③．$$

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

52 设大气温度为280K，压强为标准大气压．以温度320K的热气球提起一个体重70kg的人，其最小体积约为（　　）m^3．

A. 45

B. 90

C. 450

D. 900

答案　C

解析　设280K时空气密度为ρ_0，320K时空气密度为ρ_1．由理想气体状态方程$p = \frac{\rho}{M}RT$可得：$\frac{\rho_1}{\rho_0} = \frac{280}{320} = \frac{7}{8}$．当热气球刚好可以提起人时，对整体$\rho_0 gV = \rho_1 gV + mg$，联立解得：$V = \frac{8m}{\rho_0}$，带入数据可得$V \approx 440m^3$，C最接近．

故选C．

标注　科学思维 > 科学推理

热学 > 气体 > 理想气体状态方程

例题说明：下面这部分题目考察分压定律

分压定律

53 用压强为$p=40\mathrm{atm}$的氢气钢瓶给容积为$V_1=1\mathrm{m}^3$的气球充气，设气球原来是真空，充气后气球内的氢气压强为$p_1=1\mathrm{atm}$，钢瓶内氢气压强为$p_2=20\mathrm{atm}$，设充气过程中温度不变，求钢瓶的容积V．

答案　$0.05\mathrm{m}^3$

解析　钢瓶容积为$0.05\mathrm{m}^3$．

标注　热学 > 气体 > 气体的等温变化

54 某医院使用的氧气瓶容积为$32\mathrm{L}$，在温度为$27^{\circ}\mathrm{C}$时瓶内压强为$15\mathrm{atm}$，按规定当使用到$17^{\circ}\mathrm{C}$时压强降到$1\mathrm{atm}$，便应重新充气．该医院在$22^{\circ}\mathrm{C}$时，平均每天用$0.1\mathrm{atm}$的氧气$429\mathrm{L}$，问一瓶氧气能用多少天.

答案　10天

解析　设一瓶氧气能用n天，据题意，气体初态时$p_0=15\mathrm{atm}$，$V_0=32\mathrm{L}$，$T_0=300\mathrm{K}$，n天用掉的氧气$p_1=0.1\mathrm{atm}$，$V_1=429n\mathrm{L}$，$T_1=295\mathrm{K}$，

瓶内剩余的氧气

$p_2=1\mathrm{atm}$，$V_2=32\mathrm{L}$，$T_2=290\mathrm{K}$．

由分态式气态方程得

$\dfrac{p_0V_0}{T_0}=\dfrac{p_1V_1}{T_1}+\dfrac{p_2V_2}{T_2}$，代入数据得$n\approx10.2$．

所以一瓶氧气能用10天．

故答案为：10天．

标注 热学 > 气体 > 理想气体的认识

55 A、B两容器的容积分别为$400\mathrm{cm}^3$和$200\mathrm{cm}^3$，内装1atm、$27^\circ\mathrm{C}$的空气，用不导热的细管相通．现把A容器加热到$127^\circ\mathrm{C}$，B容器温度保持不变，求此时容器内空气的压强为多大．

答案 1.2atm．

解析 由于A、B两容器相通，所以A、B容器内的压强总是相同的，但是当对A容器加热的过程中，A、B容器中气体质量发生变化，但A、B两容器中的总质量不变，选A、B两容器中的气体作为研究对象，即$\frac{p(V_A+V_B)}{T}=\frac{p'V_A}{T_A}+\frac{p'V_B}{T_B}$，代入数据$\frac{1\times(400+200)}{300}=\frac{p'\times400}{400}+\frac{p'\times200}{300}$

解得$p'=1.2\mathrm{atm}$

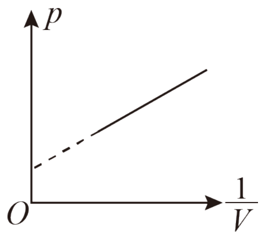
即最终A、B两容器内气体压强为1.2atm．

故答案为：1.2atm．

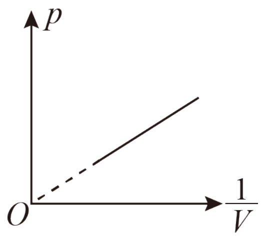
标注 热学 > 气体 > 理想气体状态计算

56 为了将空气装入气瓶内，现将一定质量的空气等温压缩，空气可视为理想气体．下图中的图象能正确表示该过程中空气的压强p和体积V关系的是（　　）

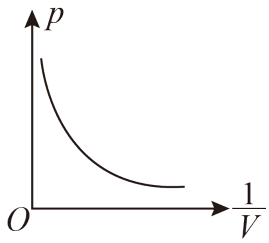
A.

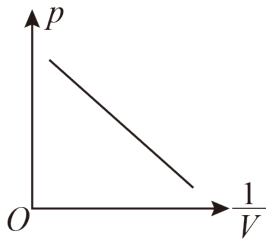


B.



C.



D. 

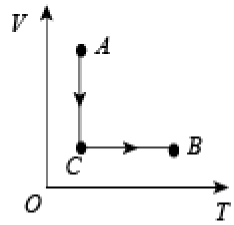
答案 B

解析 由玻意尔定律，$pV = C$，即$p \propto \frac{1}{V}$，故B正确．

故选B．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

57 一定质量的某种气体自然态A经状态C变化到状态B，这一过程如$V-T$图所示，则（　　）



A. 在过程AC中，气体的压强不断变大

B. 在过程CB中，气体的压强不断变小

C. 在状态A时，气体的压强最大

D. 在状态B时，气体的压强最大

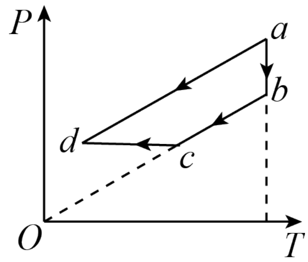
答案 AD

解析 气体的AC变化过程是等温变化，由$pV = C$可知，体积减小，压强增大，故A正确．在CB变化过程中，气体的体积不发生变化，即为等容变化，由$p/T = C$可知，温度升高，压强增大，故B错误．综上所述，在ACB过程中气体的压强始终增大，所以气体在状态B时的压强最大，故C错误，D正确．

故选AD．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态变化图像

58 一定质量理想气体的状态经历了如图所示的ab、bc、cd、da四个过程，其中bc的延长线通过原点，cd垂直于ab且与水平轴平行，da与bc平行，则气体体积（　　）



A. ab过程中不断增大

B. bc过程中保持不变

C. cd过程中不断增大

D. da过程中保持不变

答案 AB

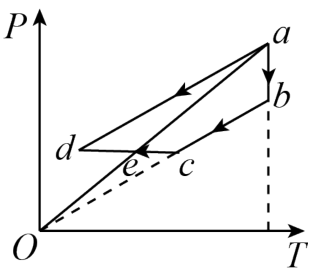
解析 B．因为bc的延长线通过原点，所以bc是等容线，即气体体积在bc过程中保持不变，B正确；

A．ab是等温线，压强减小则体积增大，A正确；

C．cd是等压线，温度降低则体积减小，C错误；

D．连接aO交cd于e，如图所示，则ae是等容线，即$V_a = V_e$，因为$V_d < V_e$，所以$V_d < V_a$，所以da过程中体积不是保持不变，D错误．

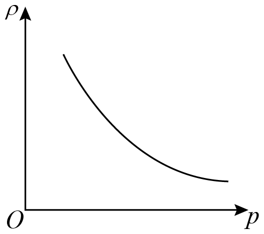
故选AB．

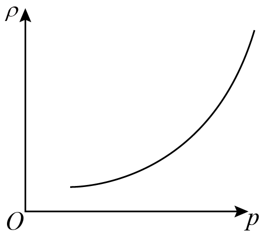


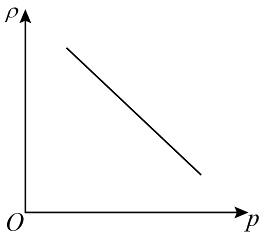
标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

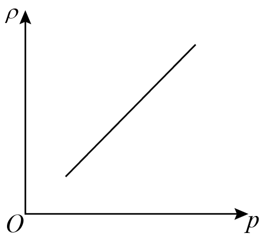
科学思维 > 科学推理

59 能正确描述在等温条件下，一定质量某理想气体的密度ρ随压强p变化规律的是图（　　）

A. 

B. 

C. 

D. 

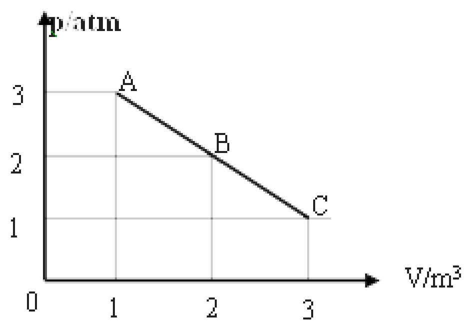
答案　D

解析　由理想气体状态方程$pV=\frac{m}{M}RT$（其中M为该物质的摩尔质量）可得：$\rho=\frac{m}{V}=\frac{M}{RT}p$，故D正确．

标注　热学 > 气体 > 理想气体状态计算

热学 > 气体 > 理想气体状态方程

60 一定质量的理想气体，其状态沿图中的直线$A\rightarrow B\rightarrow C$进行变化，则下列说法中正确的是（　　）



A. $t_A = t_B = t_C$

B. $t_A = t_C > t_B$

C. 若$t_A = 3°\mathrm{C}$，则$t_B = -4°\mathrm{C}$

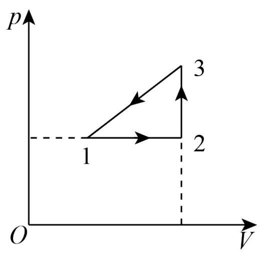
D. 若$t_A = -3°\mathrm{C}$，则$t_B = 87°\mathrm{C}$

答案 D

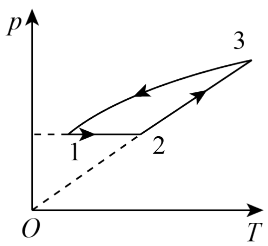
解析 由理想气体状态方程$PV = nRT$，可得：$T = \frac{PV}{nR}$．根据图中数据可得：$T_B > T_A = T_C$．$\frac{T_A}{T_B} = \frac{P_A V_A}{P_B V_B} = \frac{3}{4}$，$t = (T - 273)\,°\mathrm{C}$．因此，$t_A = -3°\mathrm{C}$时，$t_B = 87°\mathrm{C}$，D正确．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

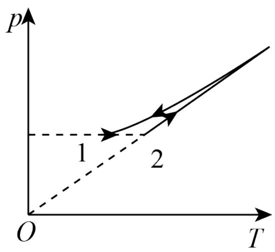
61 一定质量的理想气体，经如图所示的过程从状态1经状态2和3回到状态1，与上述循环过程对应的$p-T$及$V-T$图是（　）



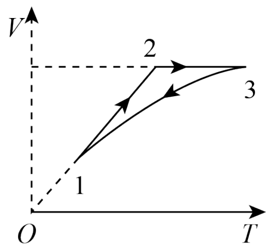
A.

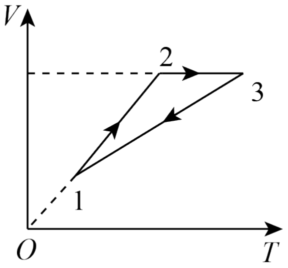


B.



C.



D. 

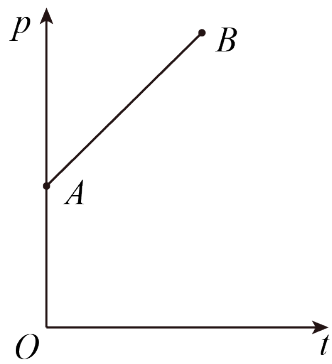
答案 AC

解析 $1\rightarrow 2$过程为等压过程、$2\rightarrow 3$过程为等容过程，四个选项中这两个过程都没有问题，主要区别在于$3\rightarrow 1$过程．由p-V图可知，$3\rightarrow 1$过程中p与V成线性关系，不妨设$p=kV+b$，其中k、b为常数，且$k>0$、$b>0$），由理想气体状态方程$pV=CT$（其中C是常数），联立可知$p^2-pb=kCT$，此部分图象类似于A中所示（实际在T-p图中是抛物线，通过函数图象变换即可知）．同理可知，V-T图如图C所示．

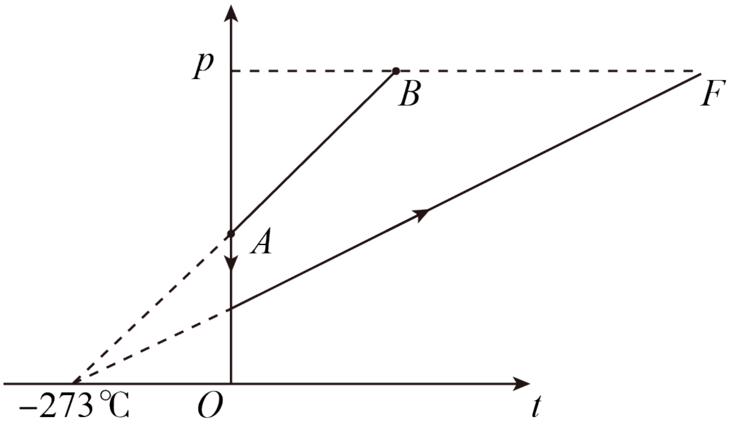
故选AC．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态变化图像

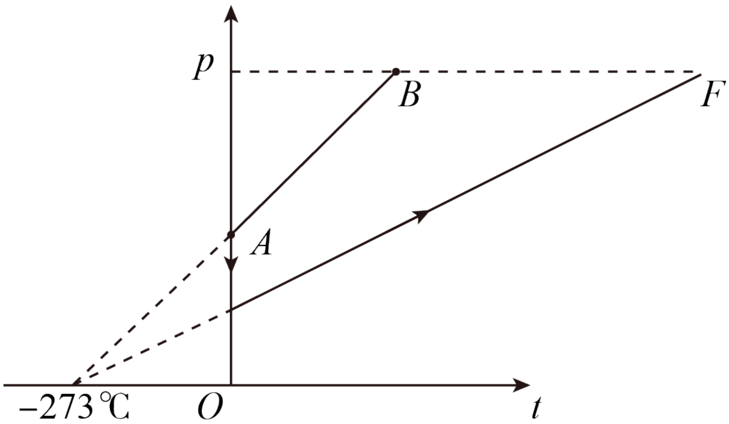
62 如图所示，直线AB为一定质量的理想气体等容变化过程的$p\sim t$图线，A处的压强$p=p_A$，温度$t=0^{\circ}\mathrm{C}$．现先使该气体从状态A出发，经过一等温膨胀过程，体积变为原来体积的2倍，然后保持体积不变，缓慢加热气体，使之到达某一状态F．此时其压强等于状态B的压强，试用做图方法，在所给的$p\sim t$图上，画出F的位置．



答案

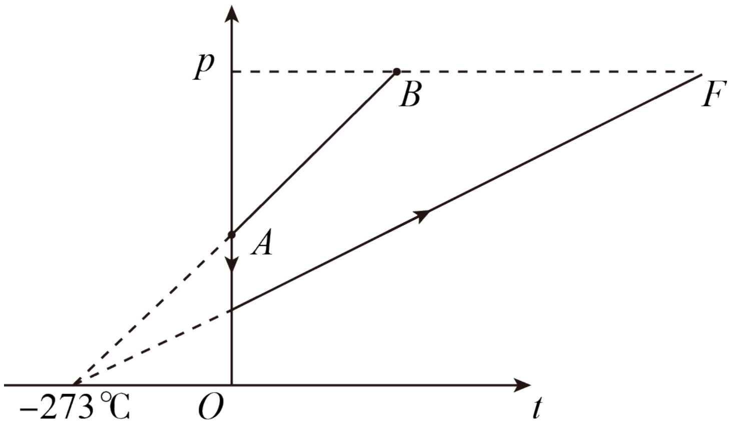


解析 如图所示：



由题意可知AB为等容变化图线，所以AB反向延长线与t轴交于$-273^{\circ}\mathrm{C}$．又因为气体由A开始先等温膨胀，体积变为原来的2倍，所以，在p轴上找到OA中点C，再连接C与$-273^{\circ}\mathrm{C}$，得到一等容线，过B做平行于t轴的直线，与过C的等容线交于一点，此交点即为F．

故答案为：

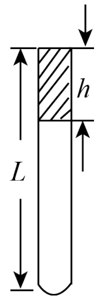


．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态变化图像

例题说明：下面几道题目较难，可能会有极值，或者要分情况讨论

63 如图所示，长为Lcm的均匀直玻璃管开口向上，竖直放置，用高$h$cm的水银柱封闭一些空气，水银上表面恰好与管口相平．已知大气压强为H_0cmHg，温度不变，则从开口端再注入一些水银而不溢出的条件是什么.



答案 $h<\dfrac{L-H_0}{2}$

解析 设注入水银柱长为$x$cm，以cmHg为压强单位．

$p_1=H_0+h$，$V_1+(L-h)S$，

$p_2=H_0+h+x$，$V_2\leqslant(L-h-x)S$，

由玻意耳定律：$p_1V_1=p_2V_2$，

带入得：$(H_0+h)(L-h)S\leqslant(H_0+h+x)(L-h-x)S$，

化简得：$x^2-[(L-h)-(H_0+h)]x\leqslant0$，

解得：$0\leqslant x\leqslant L-H_0-2h$

要使x有解，则$h<\dfrac{L-H_0}{2}$，

则$h<\dfrac{L-H_0}{2}$为可以注入一些水银而不溢出的条件．

故答案为：$h<\dfrac{L-H_0}{2}$．

标注 热学 > 气体 > 气体的等温变化

64 如图，长$L=100$cm，粗细均匀的玻璃管一端封闭．水平放置时，长$L_0=50$cm的空气柱被水银柱封住，水银柱长$h=30$cm．将玻璃管缓慢地转到开口向下的竖直位置，然后竖直插入水银槽，插入后有$\Delta h=15$cm的水银柱进入玻璃管．设整个过程中温度始终保持不变，大气压强$p_0=75$cmHg．求插入水银槽后管内气体的压强p．

答案　插入水银槽后管内气体的压强62.5cmHg．

解析　方法一：将玻璃管缓慢地转到开口向下和竖直位置的过程中，设会有$x$cm水银流出，气体的

初状态：$p_1=p_0=75\text{cmHg}$，$V_1=L_0\text{s}$；

末状态：$p_2=75-(30-x)\text{cmHg}$，$V_2=100\text{s}-(30-x)\text{s}$，

由玻意耳定律：$p_1V_1=p_2V_2$，

代入数据，解得：$x_1=-120\text{cm}$（舍去），$x_2=5\text{cm}$，

插入后有$\Delta h=15\text{cm}$的水银柱进入玻璃管，此时管内的水银柱长度：

$L'=(30-5+15)\text{cm}=40\text{cm}$，$V_3=(L-L')\text{s}$，

由玻意耳定律：$p_1V_1=p_3V_3$，

代入数据，解得：$p_3=62.5\text{cmHg}$．

故答案为：插入水银槽后管内气体的压强62.5cmHg．

方法二：设当管转至竖直位置时，水银恰好位于管口而未从管中流出，管截面积为S．此时气柱长度$l=70\text{cm}$．由玻意耳定律得：

$$p=\frac{p_0L_0}{l}=\frac{75\times50}{70}=53.6\text{cmHg}$$

由于$p+\rho gh=83.6\text{cmHg}$大于$p_0$，因此必有水银从管中漏出．

设当管转至竖直位置时，管内水银柱长度为x，由玻意耳定律得

$$p_0SL_0=(p_0-\rho gx)S(L-x)$$

整理并代入数值后得$75\times50=(75-x)(100-x)$

解得$x=25\text{cm}$．

设插入水银槽后管内气柱长度为L'，由题设条件得

$$L'=L-(x+\Delta h)=100-(25+15)=60\text{cm}$$

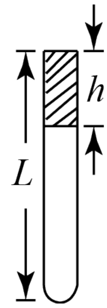
由玻意耳定律，插入后管内压强

$$p=\frac{p_0L_0}{L'}=\frac{50\times75}{60}=62.5\text{cmHg}．$$

故答案为：62.5cmHg．

标注　热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

65 粗细均匀的玻璃管的长度$L=100\text{cm}$下端封闭，上端开口，竖直放置如图所示，在开口端有一段长度为$h=25\text{cm}$的水银柱把管内一段空气封住，水银柱的上表面与玻璃管管口相平．此时外界大气压强为$p_0=75\text{cmHg}$，环境温度为$t=27^\circ\text{C}$，现使玻璃管内空气的温度逐渐升高，为使水银柱刚好全部溢出，求温度最低要达到多少.（假设空气为理想气体）



答案 306.25K

解析 设玻璃管横截面积为S，如果把水银柱刚好全部溢出作为末态，则据气体状态方程，有：

$\dfrac{p_0V_0}{T_0}=\dfrac{pV}{T}$，即$\dfrac{100S\times75}{300}=\dfrac{75\times100S}{T}$，解得：$T=300\text{K}$．

显然，此解不合理．

设升温后，管内剩下水银柱长度为x，

由理想气体状态方程：$\dfrac{p_0V_0}{T_0}=\dfrac{p_1V_1}{T_1}$．

得：$\dfrac{100S\times75}{300}=\dfrac{(75+x)\times(100-x)S}{T}$．

解得：$T=0.04\times(-x^2+25x+7500)$．

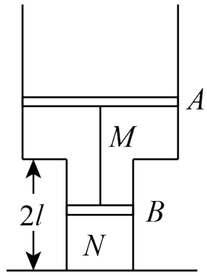
当$x=12.5$时，有温度T有最大值$T_{\text{m}}=306.25\text{K}$．

表明先升温至$T_{\text{m}}=306.25\text{K}$后，不需要再加热升温，水银能随气体自动膨胀全部溢出．

故答案为：306.25K．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态计算

66 如图所示，气缸上部足够长，质量不计的轻活塞A、B的横截面积分别为$2S$和S，气缸下部长$2l$．A、B活塞间以长为$\frac{7}{4}l$的无弹性轻质细绳相连，A活塞上部有压强为p_0的大气．开始时封闭气室M、N中充有同样密度的同种气体．且M的体积是N的2倍，N中气体恰好为1mol，且小活塞B位于距底部l处，气体温度为T_0．现同时缓慢升高两部分封闭气体的温度至$2T_0$，求平衡后活塞A与底部的距离．



答案 $4l$

解析 设初始时刻A活塞距两容器分界处距离为x，此时$V_M=2V_N$， $V_N=lS$，$V_M=lS+x\cdot 2S$，联立解得$x=0.5l$．

这表明开始时两活塞间距为$1.5l$，小于$\frac{7}{4}l$，即开始时细绳处于松弛状态，故$p_M=p_N=p_0$．

对M、N中气体分别由理想气体状态方程有：$p_0(Sl)=1RT_0$，$p_0(2Sl)=n_MRT_0$，解得

$n_M=2\text{mol}$．

气体升温后有三种可能情况：

① 活塞B没有上升到容器分界处（即气体没混合），且绳上无张力（绳子松弛）．

在这种情况下M、N中气体压强仍为p_0．设活塞B距底部h_N，活塞A距分界处h_M，

对M、N中气体分别由理想气体状态方程有：

$p_0(Sh_N)=1\cdot R(2T_0)$，

$p_0[S(2l-h_N)+2Sh_M]=2\cdot R(2T_0)$，

解得: $h_N=2l$，

$h_M=2l$，

这样两活塞间距为$h_M+(2l-h_N)=2l>\frac{7}{4}l$．与绳子不张紧的假设矛盾，故这种情况不可能．

② 活塞B没有上升到容器分界处（即气体没混合），且绳上有张力

设这种情况下M、N中气压分别为p_M、p_N．

设活塞B距底部h_N，活塞A距分界处h_M，

对M、N中气体分别由理想气体状态方程有：$p_N(Sh_N)=1\cdot R(2T_0)$，

$p_M[S(2l-h_N)+2Sh_M]=2\cdot R(2T_0)$，

对A、B分别由平衡条件有：$p_02S+T=p_M2S$、$p_MS=p_NS+T$；且$h_M+2l-h_N=\frac{7}{4}l$，

联立解得：$h_N=2.186l$（或$h_N=-0.686l$，舍去）．

由于$h_N>2l$，与气体不混合矛盾，故这种情况不可能．

③ 活塞B上升到容器分界处（即气体已经混合）

在这种情况下M、N中共有$3\mathrm{mol}$，气压仍为p_0，设活塞A距分界处h，

由理想气体状态方程有：$p_0\left(2Sh+2Sl\right)=3R\left(2T_0\right)$，解得$h=2l$，即活塞$A$距底部$4l$．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

3. 阅读材料

你也许听到过，最好的、有时也是唯一的跟森林或草原上的火灾作斗争的方法，是迎着大火的来向放火。新的火焰朝着猖獗的火海前进，消灭掉容易燃烧的物质，使大火失去燃料。两堵火墙遇在一起，就会立刻熄灭，好象彼此吞食掉了一样。美洲草原里发生大火的时候，人们就曾经使用过这种方法来扑灭大火。

关于这件事的叙述，许多人一定在库帕所写的长篇小说《草原》里读到过。下面就是从小说《草原》里摘录下来的几段。

老人突然采取了断然的措施。

“是行动的时刻了，”他说。

“你想行动已经太迟了，可怜的老头子！”米德里顿叫道，“大火离我们只有四分之一英里了，风又是用这样可怕的速度向我们这里吹！”

“是吗！火，我也不怎么怕它。好，孩子们，别尽站着！现在马上动手割掉这一片干草，清出一块地面来。”在很短的时间里就清出了一块直径大约20 英尺的地面。老猎人吩咐妇女们，说她们可以用被褥把自己那些容易着火的衣服盖起来，然后就领她们走到这块不大的空地的一边去。做了这些预防措施以后，老人就走到这块空地的另一边，那里大火已经象个高而危险的环墙，把旅客们包围了。他拿了一束非常干的草放在枪架上点起来。容易燃烧的干草立刻烧着了。老人把烧着的干草扔到高树丛里，然后走到圈子中央，耐心地等待着自己行动的结果。

他放的这一把火贪婪地扑向新的燃料，一会儿功夫草也烧着了。

“现在你们可以看火怎样跟火作战了，”老人说。

“这不是更危险了吗？”吃惊的米德里顿大声叫道，“你不但没有把敌人赶走，反而把它引到身边来了。”

老人放的这把火越烧越大，同时向三方面蔓延开来。但是在第四方面却因为缺少燃料，熄灭了。随着火势的越来越大，在火前面出现的空地也越来越大了。这片刚出现的黑色发烟的空地，要比用镰刀割的草地光得多。他们刚才清除出来的这块地方就随着从其他几面包围着它的火焰而扩大开去，要不是这样的话，那避难者的处境是会变得很危险的。几分钟以后，各方面的火焰都后退了，只有烟还包围着人们，但是这对于人已经没有危险了，大火已经疯狂地向前面奔去了。

但是这种跟草原和森林大火作斗争的方法，并不象初看的时候那样简单。只有极有经验的人才能利用迎火燃烧的方法来扑灭火，否则只会引起更大的灾祸。

如果你想一想下面这个问题，你就会明白做这件事为什么需要有丰富的经验：为什么这个老猎人所放的火会迎着火烧去，而不朝相反的方向烧呢？要知道风是从大火那方面吹来，把火带到旅客身旁来的。似乎这位老人所放的火应当不迎着火海烧去，而要顺着草原后退。假如当时真是那样，旅客们就不可避免地会被包围在火圈里烧死了。那么这个老猎人到底有没有什么秘诀呢？

秘诀就在普通的物理原理的知识里。风虽然是从燃烧着的草原那一方面向旅客们吹来的，可是在火前面离火很近的地方，应该有相反的气流朝着火焰吹。原因是火海上面的空气热了以后会变轻，并且被没有遭到火灾的草原上来的各方面的新鲜空气排向上面。由此可知，在火的边界附近一定会有迎着火焰流去的气流。必须在火焰接近得能觉察出已经有空气在向大火流去的时候才动手迎着火放火。这也就是为什么这位老猎人不急于动手，而沉着地等待着适宜的时机的缘故。如果他在这种气流还没有出现的时候过早地把草燃着，那么火就会朝相反的方向蔓延开来，使人们的处境格外危险。可是也不能动手太迟，这也会把人烧死的，因为火逼得太近了。

三、气体压强的微观解释

1. 知识点睛

从微观上看，气体对容器的压强是大量气体分子对容器的碰撞引起的，这就好像密集的雨点打在伞上一样，雨点虽然是一滴一滴地打在伞上，但是大量密集雨点的撞击，使伞受到持续的作用力。

由于密闭容器内的气体分子的数密度一般很小（相对于液体、固体），气体自身重力产生的影响极小，可忽略不计，故气体压强由气体分子碰撞器壁产生，气体对上下左右器壁的压强大小都是相等的。

1．决定气体压强的因素

(1) 从微观角度看，气体压强的大小与两个因素有关：一个是气体分子热运动的平均动能，一个是气体分子的密集程度。

气体分子数密度增大，单位时间内与器壁碰撞的分子数就增多，压强增大；气体分子的平均动能增大，一方面使得每个分子与器壁碰撞的作用力增大，另一方面使得单位时间内撞击到器壁上的分子数增多，因此压强增大。

(2) 从宏观上看，气体的压强取决于气体的温度和体积

① 气体温度不变的情况下，体积增大，分子数密度减小，压强减小，这实际上就是玻意尔定律的微观解释。

② 体积不变的情况下，温度越高，分子热运动越剧烈，分子热运动平均动能越大，压强越大，这实际上就是查理定律的微观解释。

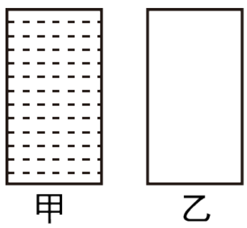
③ 同理，我们可以从微观角度解释盖·吕萨克定律：一定质量的理想气体，当温度升高时，热运动平均动能增大，只有同时增大体积，减小数密度，才有可能使压强保持不变。

2．气体压强的微观表达式

假设气体分子的数密度（单位体积内的分子数）为n，分子热运动的平均动能为$\bar{\varepsilon}$，则气体压强可表示为$p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}$。这个公式请大家结合下面的例题自己推导。

2. 例题精讲

67 如图所示，两个完全相同的圆柱形密闭容器，甲中装有与容器容积等体积的水，乙中充满空气，试问：



(1) 两容器各侧壁压强的大小关系及压强的大小取决于哪些因素？

（容器容积恒定）

(2) 若让两容器同时做自由落体运动，容器侧壁上所受压强将怎样变化？

答案 (1) 乙容器中空气的数密度和温度

(2) 不发生变化

解析 (1) 对甲容器，上壁的压强为零，底面的压强最大，其数值为$p=\rho gh$（h为上下底面间的距离）．侧壁的压强自上而下，由小变大，其数值大小与侧壁上各点距水面的竖直距离x的关系是$p=\rho gx$，对乙容器，各处器壁上的压强大小都相等，其大小取决于乙容器中空气的数密度和温度．

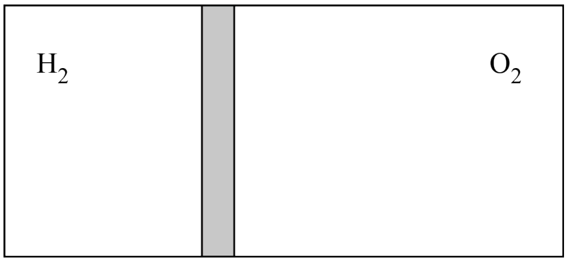
故答案为：乙容器中空气的数密度和温度．

(2) 甲容器做自由落体运动时器壁各处的压强均为零，乙容器做自由落体运动时，器壁各处的压强不发生变化．

故答案为：不发生变化．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

68 如图所示，分子筛（打了很多小孔，刚好能使气体分子通过的活塞）将密闭容器分成两部分，左边充有H_2，右边充有O_2，不计一切摩擦．初始时，两边气体压强、单位体积内的分子数相同，经过一段时间后，活塞将向哪边移动.



答案 向左侧移动

解析 初始时，两边气体压强p、单位体积的分子数n相同，由压强的微观表达式$p=\frac{2}{3}n\bar{\varepsilon}$可知，分子平均动能相同，由于$H_2$分子质量较小，因此$H_2$分子平均速率较大，通过分子筛扩散较快，因此，经过一段时间后，右侧分子数密度将大于左侧分子数密度，即右侧气体压强增大，分子筛将向左侧移动．

故答案为：向左侧移动．

标注 热学 > 气体 > 气体的等温变化

69 对于同一物理问题，常常可以从宏观与微观两个不同角度进行研究，找出其内的联系，从而更加深刻地理解其物理本质．正方体密闭容器中有大量运动粒子，每个粒子质量为m，单位体积内粒子数量n为恒量．为简化问题，我们假定：粒子大小可以忽略，其速率均为v，且与器壁各面碰撞的机会均等，与器壁碰撞前后瞬间，粒子速度方向都与器壁垂直，且速率不变，利用所学力学知识，算出器壁单位面积所受粒子压力f与m，n和v关系．

答案 $\frac{1}{3}nmv^2$

解析 考虑单位面积，t时间内能达到容器壁的粒子所占据的体积为$V=Svt=1\times vt$，其中粒子有均等的概率与容器各面相碰，即可能达到目标区域的粒子数为$\frac{1}{6}nV=\frac{1}{6}nvt$，由动量定理可得：

$$f=\frac{\triangle p}{t}$$
$$=\frac{\frac{1}{6}nvt\left(2\times mv\right)}{t}$$
$$=\frac{1}{3}nmv^2 .$$

标注 物理观念 > 物质观念

科学思维 > 模型建构

动量与动量守恒定律 > 动量定理

动量与动量守恒定律 > 动量定理 > 流体问题

四、物体的内能

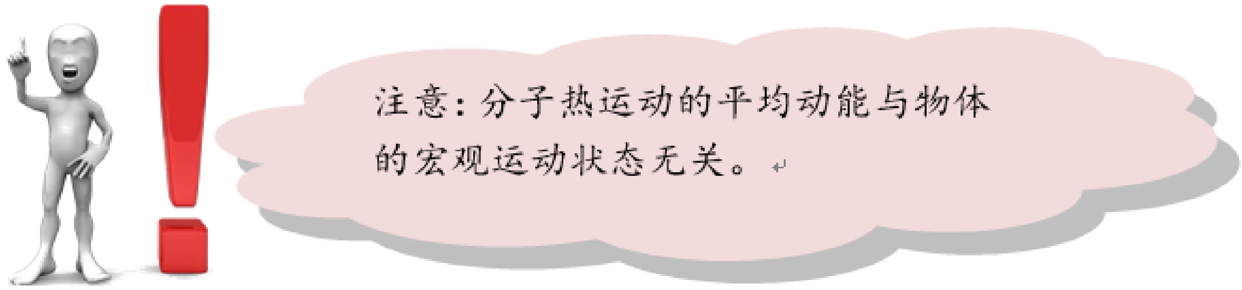
1.知识点睛

定义

1．分子动能

像一切运动着的物体一样，做无规则热运动的分子也具有动能，这就是分子动能。

物体中分子热运动的速率大小不一，所以各个分子的热运动动能也有大有小，而且在不断改变。在热现象的研究中，我们关心的是组成系统的大量分子整体表现出来的热学性质，因而重要的不是系统中某个分子的动能大小，而是所有分子的动能的平均值。这个平均值叫做分子热运动的平均动能。



温度升高时分子的热运动加剧，平均动能增加。前面的课程中我们说：温度是分子热运动剧烈程度的标志，现在可以进一步说，物质的温度是它的分子热运动的平均动能的标志。

下面我们结合理想气体状态方程及压强的微观解释，来说明气体分子的平均动能与温度的关系。

由理想气体状态方程$pV=\mu RT$，

可变形得：$p=\dfrac{\mu R}{V}T=\dfrac{NR}{N_AV}T=n\dfrac{R}{N_A}T=nkT$　①

其中，N为气体分子个数，N_A为阿伏伽德罗常数，$k=\dfrac{R}{N_A}$称为玻尔兹曼常量。

由气体压强微观解释：$p=\dfrac{2}{3}n\bar{\varepsilon}$　②

联立①②解得：$\bar{\varepsilon}=\dfrac{3}{2}kT$

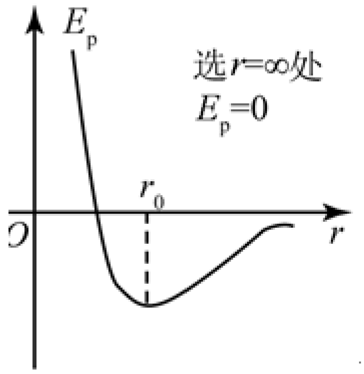
与前面所述"温度是气体热运动平均动能的标志"完全符合。

2．分子势能

分子之间存在着分子力，因此分子组成的系统也具有分子势能，分子势能的大小由分子间的相互位置决定，即与物体的体积有关。

分子力做正功时分子势能减少；分子力做负功时分子势能增加。

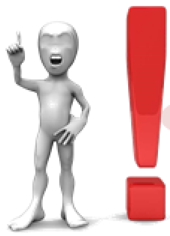
分子势能与分子间距离的关系比较复杂。由分子间作用力与分子间距离的关系可知，分子间距离为r_0时分子间合力为零；$r>r_0$时表现为引力，这时增大分子间距离必须克服引力做功，因此分子势能随分子间距离的增大而增大；$r<r_0$时表现为斥力，这时要减小分子间的距离，必须克服斥力做功，因此随着分子间距离的减小分子势能也要增大。分子势能与分子间距离的关系如图所示（选择分子间距无穷远的位置为分子势能零点）。



3．内能

物体中所有分子做热运动的动能和分子势能的总和叫做物体的内能。

物体的内能跟物体的温度和体积都有关系。



① 物体的内能还与物体所含的分子数有关，因为内能是物体所有分子的动能和分子势能的总和。

② 在热现象的研究中，一般不考虑物体的机械能。

4．理想气体的内能

(1) 由于理想气体不考虑分子间作用力，因此，理想气体没有分子势能。理想气体的内能由所有分子无规则热运动动能组成。

(2) 一定质量的某种理想气体的内能与体积无关，只与温度有关。

研究表明，理想气体的内能$U=N\cdot\frac{i}{2}kT=\mu\cdot\frac{i}{2}RT$。其中，$N$表示气体分子个数，$\mu$为气体的物质的量。对于单原子分子气体，$i=3$，对于双原子分子气体，$i=5$，对多原子分子气体，$i=6$。

一定质量的理想气体的内能改变量：$\Delta U=\frac{i}{2}\mu R\Delta T$。

说明：前面推导分子热运动平均动能$\varepsilon=\frac{3}{2}kT$时，只考虑了分子的平动动能；实际上，对于双原子或多原子分子，还要考虑转动和振动动能，情况比较复杂，因此这里的内能公式与前面略有区别。

2. 例题精讲

70 下列说法中正确的是（　　）

A. 温度是分子平均动能的标志，物体温度高，则分子的平均动能大

B. 温度是分子平均动能的标志，温度越高，则物体的每一个分子的动能都增大

C. 某物体当其内能增大时，则物体的温度一定升高

D. 甲物体的温度比乙物体高，则甲物体分子平均速率比乙物体分子平均速率大

E. 在$10^{\circ}\mathrm{C}$时，一个氧气分子的分子动能为E_{k}，当温度升高到$20^{\circ}\mathrm{C}$时，这个分子的分子动能为E_{k}'，则$E_{\mathrm{k}}' > E_{\mathrm{k}}$

答案 A

解析 略

标注 热学 > 分子动理论 > 温度和内能

71 氢气和氧气的质量、温度都相同，在不计分子势能的情况下，下列说法正确的是（　　）

A. 氧气的内能较大

B. 氢气的内能较大

C. 两者内能相等

D. 氢气分子的平均速率较大

答案 BD

解析 方法一：温度相同分子的平均动能相同，由于质量相同，而氧气分子的质量大于氢气分子的质量，所以氢气的物质的量多，分子个数多，所以氢气的内能较大，氢气分子的平均速率较大，故B、D选项正确．

方法二：氢气与氧气的温度相同，分子的平均动能相同，由于氧分子的质量比氢分子的质量大，所以氢分子的平均速率更大．又因为两种气体的总质量相等，氢分子质量比氧分子质量小，所以氢分子数大于氧分子数，氢气的分子动能总和大于氧气的分子动能总和，由于不计分子势能，所以氢气的内能更大．

故选BD．

标注 热学 > 分子动理论 > 物体内能的大小

72 分子间有相互作用的势能，规定两分子相距无穷远时分子势能为零，并已知两分子相距r_0时分子间的引力与斥力大小相等．设分子a和分子b从相距无穷远处分别以一定的初速度在同一直线上相向运动，直到它们之间的距离达到最小．在此过程中下列说法正确的是（　　）

A. a和b之间的势能先增大，后减小

B. a和b的总动能先增大，后减小

C. 两分子相距r_0时， a和b的加速度均不为零

D. 两分子相距r_0时，a和b之间的势能大于零

答案　B

解析　AB．分子间距大于r，分子力为引力，因此引力做正功使分子势能逐渐减小；分子间距小于r，分子力为斥力，因此斥力做负功使分子势能逐渐增大，故分子势能先减小后增大，根据能量守恒，动能先增大后减小，故A错误，B正确；

C．两分子相距r时，分子间的引力与斥力大小相等，分子力的合力为零，加速度为零，故C错误；

D．题设中规定两分子相距无穷远时分子势能为零，故两分子相距为r时，a和b之间的分子势能是负值，且势能最小，故D错误．

故选B．

标注　热学 > 分子动理论 > 分子势能

73 $1\mathrm{g}\ 100^{\circ}\mathrm{C}$的水与$1\mathrm{g}\ 100^{\circ}\mathrm{C}$的水蒸气相比较，下述说法中正确的是（　　）

A. 分子的平均动能与分子的总动能都相同

B. 分子的平均动能相同，分子的总动能不同

C. 内能相同

D. $1\mathrm{g}\ 100^{\circ}\mathrm{C}$的水的内能小于$1\mathrm{g}\ 100^{\circ}\mathrm{C}$的水蒸气的内能

答案　AD

解析

A、B．分子动能与温度有关，温度越高，分子运动越剧烈，分子动能越大，$100^\circ C$的水与$1g\ 100^\circ C$的水蒸气温度相同，故分子的平均动能相同和总动能都相同，故A正确，B错误；

C、D．$1g\ 100^\circ C$的水要变为$1g\ 100^\circ C$的水蒸气，吸收热量，温度不变，但内能增大，故C错误，D正确．

故选AD．

标注 热学 > 热力学定律 > 功、热和内能

五、热力学第一定律

1.知识点睛

1．改变内能的两种方式

从19世纪30年代起，人们逐渐认识到，为了使系统的热学状态发生变化，既可以向它传热，也可以对它做功。

(1) 功和内能变化的关系

① 绝热过程：系统变化过程中，只由于做功而与外界交换能量，它不从外界吸热，也不向外界放热，这样的过程叫做绝热过程。

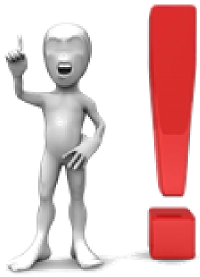
② 焦耳的实验表明，要使系统状态通过绝热过程发生变化，做功的数量只由始末两个状态决定，而与功的方式无关。

③ 当系统从某一状态经过绝热过程达到另一状态时，内能的增加量ΔU就等于外界对系统所做的功W，用式子表示为$\Delta U=U_2-U_1=W$。

(2) 热量和内能变化的关系

不仅对系统做功可以改变系统的热力学状态，单纯的对系统传热也能改变系统的热力学状态。所以，热量是在单纯的传热过程中系统内能变化的量度。

当系统从状态1经过单纯的传热到达状态2，内能的增加量$\Delta U=U_2-U_1$就等于外界向系统传递的热量Q，即$\Delta U=Q$。



热量的概念只有在涉及能量传递时才有意义，所以不能说物体具有多少热量，只能说物体吸收或放出了多少热量。

(3) 改变物体内能的两种方式的比较

	做功	热传递
内能变化	外界对物体做功，物体的内能增加；物体对外界做功，物体的内能减少	物体吸收热量，内能增加；物体放出热量，内能减少
本质	其它形式的能与内能之间的转化	不同物体间或同一物体不同部分之间内能的转移
相互联系	做一定量的功或传递一定量的热在改变内能的效果上是相同的	

2．热力学第一定律

(1) 内容：一个热力学系统的内能增量等于外界向它传递的热量与外界对它做功之和

(2) 表达式：$\Delta U=W+Q$

(3) 符号规定：

① 外界对系统做功，$W>0$；系统对外界做功$W<0$

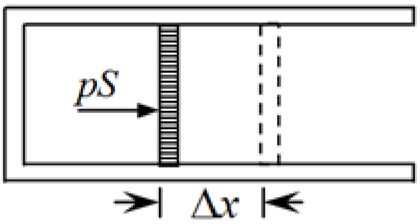
② 系统从外界吸收热量，$Q>0$；系统向外界放出热量$Q<0$

③ 系统内能增加，$\Delta U>0$，系统内能减少，$\Delta U<0$

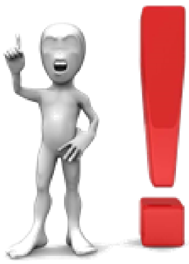
3．气体体积功的计算

如图所示，设有一气缸内部封闭一定质量的气体，气体的压强为p，活塞的面积S。当活塞缓慢移动一微小距离Δx时，认为气体压强p处处均匀而且不变。气体对外界所作的元功$W'=pS\Delta x=p\Delta V$，外界（活塞）对气体做功$W=-W'=-p\Delta V$。

当气体膨胀时，$\Delta V>0$，外界对气体做负功；当气体被压缩时，$\Delta V<0$，外界对气体做正功。



如果气体状态变化过程可以用$p \sim V$图上一条曲线来表示，则此过程中气体对外界做功W'为$p \sim V$图中过程曲线下的面积。当气体膨胀时，$W = -W' < 0$ ；当气体被压缩时，$W = -W' > 0$。



气体向真空区域扩散的过程叫自由扩散，此过程由于没有受力者，所以虽然气体体积膨胀但没有对外做功，如果没有吸放热，则内能不变。

4．能量守恒定律

能量既不能凭空产生，也不能凭空消失，它只能从一种形式转化为另一种形式，或者从一个物体转移到另一个物体，在转化和转移的过程中，其总量保持不变。

2. 例题精讲

例题说明：下面题目主要考察热力学第一定律及能量守恒

74 下列说法正确的是（　　）

A. 做功和热传递是改变物体内能的两种不同的物理过程

B. 做功和热传递在改变物体内能上是等效的，因此对物体做功就是对物体传热

C. 热量是在热传递过程中，从一个物体向另一个物体或物体一部分向另一部分转移的内能的多少

D. 高温的物体具有热量多，低温的物体具有热量少

答案 AC

解析 做功和热传递是改变物体内能的两种不同的物理过程，A对；

对物体做功和对物体传热的本质是不一样的，B错；

热量是在热传递过程中，从一个物体向另一个物体或物体一部分向另一部分转移的内能的多少；热量是内能转化的量度，并不是内能的量度，所以C对，D错．

故选AC．

标注 热学 > 热力学定律

75 一定质量的气体，从状态A变化到另一个状态B的过程中，内能增加了$160\mathrm{J}$，则下列关于内能变化的可能原因的说法中不可能的是（　　）

A. 从A到B的绝热过程中，外界对气体做功$160\mathrm{J}$

B. 从A到B的单纯热传递过程中，外界对气体传递了$160\mathrm{J}$的热量

C. 从A到B程中吸热$280\mathrm{J}$，并对外做功$120\mathrm{J}$

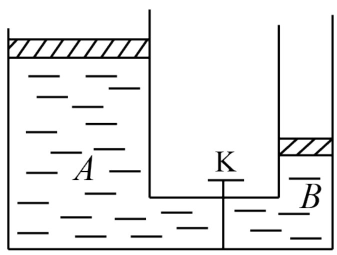
D. 从A到B过程中放热$280\mathrm{J}$，外界对气体做功$120\mathrm{J}$

答案 D

解析 略

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

76 如图所示，容器A、B各有一个可自由移动的轻活塞，活塞下面是水，上面是大气，大气压恒定，整个装置与外界绝热（即无热交换）．原先，A中水面比B中的高，打开阀门K，使A中的水逐渐向B中流，最后达到平衡．那么在这个过程中（　　）



A. 大气压力对水做功的代数和不为零，水的内能增加

B. 水克服大气压力做功的代数和不为零，水的内能减少

C. 大气压力对水的代数和为零，水的内能不变

D. 水克服大气压力做功的代数和为零，水的内能增加

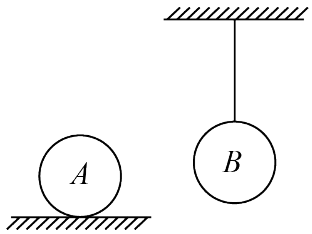
答案 D

解析 A中的水逐渐向B中流动，连通器中心的重心降低，重力势能减小了，转化为水的动能和水的内能，最后全部转化为水的内能，所以，水的内能增加，AB液面大气压强相等．

故选D．

标注 热学 > 热力学定律 > 内能的改变

77 如图，两个完全相同的金属球A、B（吸收热量后体积极容易膨胀），一个放在水平地面上的绝热垫上，一个用绝热细线挂起来．当给它们传递相同的热量后（不计与空气的热量交换），对两小球温度的比较有（　　）



A. $T_A=T_B$

B. $T_A<T_B$

C. $T_A>T_B$

D. 条件不足，无法确定

答案 B

解析 两球受热后，体积都要膨胀，A球放在绝热垫上，受热膨胀后，球的重心升高，要克服重力做功，耗费一部分能量，所以用来提高球体温度的能量就减少了些（严格地讲，是A球内能的增量就减少了些）；B球情况刚好与A球相反，B球重心的下降引起B球重力势能的减小，重力对B球做了功，所以B球内能的增量要大于“供给的热量”，两球因膨胀而引起的对大气的做功情况是几乎相同的，故B正确．

故选B．

标注 热学 > 热力学定律 > 内能的改变

热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

78 暖瓶中盛有0.5kg、25° C的水，一个学生想用上下摇晃的方法使冷水变为开水．设每摇晃一次水的落差为15cm，每分钟摇晃30次．不计所有热散失，他约需多少天可以把水“摇开”？

($c_{水}=4.2\times10^{3}\mathrm{J/(kg\cdot{}^\circ C)}$)

答案 约为5天.

解析 此问题中能量转化方向是：上摇时学生消耗自身的化学能通过对水做功转化为水的重力势能，下降时水的重力势能转化为动能再转化为水的内能．由于不计一切热散失，水的重力势能的减少量等于水的内能的增加量．

设“摇开”水需时间t，水升温ΔT，由$W=\Delta U$得：

$$30\mathrm{mg}\cdot\Delta h\cdot t=\mathrm{cm}\Delta T$$

$$t=\frac{c\Delta T}{30\mathrm{g}\Delta h}=\frac{4.2\times10^{3}\times(100-25)}{30\times10\times0.15}\mathrm{min}=7\times10^{3}\mathrm{min}$$

即“摇开”水约需$7\times10^{3}\mathrm{min}$ ，约为5天．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

科学思维 > 科学推理

科学思维 > 模型建构

热学 > 热力学定律 > 能量的守恒与转化

例题说明：下面题目涉及热力学第一定律、气体的内能、气体体积功、理想气体状态方程等内容的综合应用。

79 一个气泡从恒温水槽的底部缓慢向上浮起，（若不计气泡内空气分子势能的变化）则（　）

A. 气泡对外做功，内能不变，同时放热

B. 气泡对外做功，内能不变，同时吸热

C. 气泡内能减少，同时放热

D. 气泡内能不变，不吸热也不放热

答案 B

解析 方法一：气泡缓慢上升的过程中，外部的压强逐渐减小，气泡膨胀对外做功，由于外部恒温，可以认为上升过程中气泡内空气的温度始终等于外界温度，则内能不变，由公式$\Delta U = W + Q$知须从外界吸收热量，且吸收的热量等于对外界所做的功，故B正确．

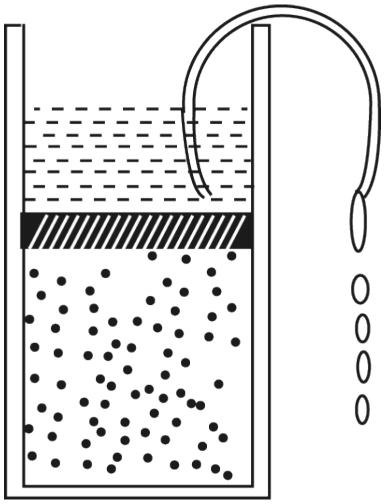
故选B．

方法二：在气泡缓慢上升的过程中，气泡外部的压强逐渐减小，气泡膨胀，对外做功．但由于外部恒温，且气泡缓慢上升，故可以认为上升过程中气泡内空气的温度始终等于外界温度，内能不变．由热力学第一定律知，气泡需从外界吸收热量，且吸收的热量等于对外界所做的功．

故选B．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

80 如图所示，由导热材料制成的气缸和活塞将一定质量的理想气体封闭在气缸内，活塞与气缸壁之间无摩擦，活塞上方存有少量液体．将一细管插入液体，由于虹吸现象，活塞上方液体逐渐流出．在此过程中，大气压强与外界温度不变．关于这一过程，下列说法正确的是（　　）



A. 气体分子的平均动能逐渐增大

B. 单位时间气体分子对活塞撞击的次数增多

C. 单位时间气体分子对活塞的平均作用力不变

D. 气体对外界做功等于气体从外界吸收的热量

答案 D

解析 A．由于气缸导热，环境温度不变，因此被封闭气体温度不变，分子平均动能不变，故A错误；

B．温度不变，压强减小，根据$\frac{pV}{T}=C$可知，气体体积增大，温度不变，因此单位时间气体分子对活塞撞击的次数减小，故B错误；

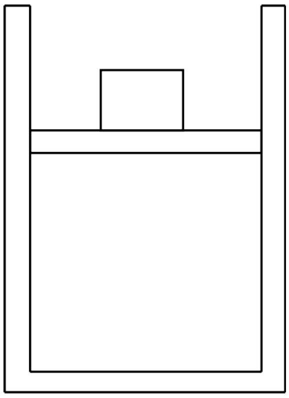
C．气体体积增大，分子平均动能不变，因此单位时间气体分子对活塞的冲量减小，单位时间气体分子对活塞的平均作用力减小，故C错误;

D．温度不变，内能不变，体积增大，对外做功，根据$\Delta U=W+Q$，可知气体对外界做功等于外界吸收的热量，故D正确．

故选D．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

81 在一个绝热的竖直气缸里面放有一定质量的理想气体，绝热的活塞原来是固定的，现拆去销钉（图中未画出），气体因膨胀把活塞及重物举高后如图所示，则在此过程中气体的（　　）



A. 压强不变，温度升高

B. 压强不变，温度降低

C. 压强减小，温度升高

D. 压强减小，温度降低

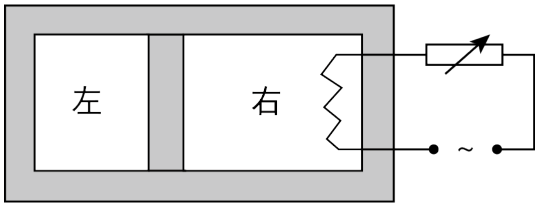
答案 D

解析 略

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

82 如图，水平放置的密封气缸内被一竖直隔板分隔为左右两部分，隔板可在气缸内无摩擦滑动，右侧气体内有一电热丝．气缸壁和隔板均绝热．初始时隔板静止，左右两边气体温度相等．现给电热丝提供一微弱电流，通电一段时间后切断电源．当缸内气体再次达到平衡时，与初始状态相比（　）



A. 右边气体温度升高，左边气体温度不变

B. 左右两边气体温度都升高

C. 左边气体压强增大

D. 右边气体内能的增加量等于电热丝放出的热量

答案 BC

解析 当电热丝通电后，右边的气体温度升高，体积膨胀，将隔板向左推，对左边的气体做功，根据热力学第一定律，左边气体内能增加，温度升高．根据理想气体状态方程左边的气体压强增大．BC正确，右边气体内能的增加值为电热丝发出的热量减去对左边的气体所做的功，D错．

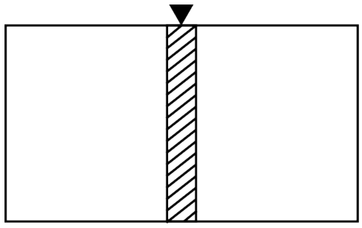
故选BC．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

83 **2016年北京清华大学自主招生领军计划第12题**

如图所示，一用钉鞘锁定的导热活塞将导热气缸分成体积相等的左右两室，开始时气体压强之比为$p_{左}:p_{右}=5:3$，拔出钉梢后活塞移动并最终保持稳定状态，外界温度恒定，则（　）



A. 稳定后左右两室体积比为$5:3$

B. 左室气体对右室气体做功

C. 左室气体吸热

D. 右室气体吸热

答案 ABC

解析 根据玻意耳定律，有：

$p_{左}V=pV_{左}$，①

$p_{右}V=pV_{右}$．②

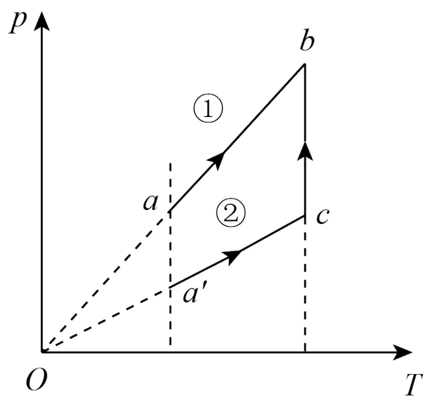
联立式①和式②，得$V_{左}:V_{右}=5:3$．

A选项正确，左室气体膨胀，对右室气体做功，B选项正确，两室气体内能不变，根据热力学第一定律$\Delta U=Q+W$知，左室气体吸热，右室气体放热，C选项正确，D选项错误．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

热学 > 气体 > 气体的实验定律

84 一定量的理想气体分别由初态a经①过程ab和由初态a'经②过程$a'cb$到达相同的终态b，如$p\sim T$图所示，则两个过程中气体从外界吸收的热量Q_1、Q_2的关系为（　　）



A. $Q_1<0$，$Q_1>Q_2$

B. $Q_1 > 0$，$Q_1 > Q_2$

C. $Q_1 < 0$，$Q_1 < Q_2$

D. $Q_1 > 0$，$Q_1 < Q_2$

答案 B

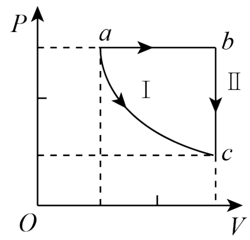
解析 略．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态变化图像

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

教师版补充：下面补充两道类似的题，老师可选用

85 如图所示，一定质量的理想气体由状态a经I、II两过程到达状态c，其中I为等温过程，II为先经过等压过程至状态b，再经过等容过程至状态c．则该气体（ ）



A. 在过程I吸收的热量大于过程II吸收的热量

B. 在过程I吸收的热量小于过程II吸收的热量

C. 在过程I对外做功大于过程II对外做功

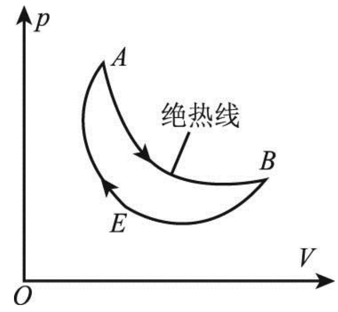
D. 在过程I对外做功小于过程II对外做功

答案 BD

解析 略

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

86 如图所示，AB为一定量理想气体的绝热线，当它以图示$A \to B \to E \to A$过程变化时，下列关于气体吸、放热的表述正确的是（ ）



A. 始终吸热

B. 始终放热

C. 有时吸热，有时放热，但吸热等于放热

D. 有时吸热，有时放热，但吸热大于放热

E. 有时吸热，有时放热，但吸热小于放热

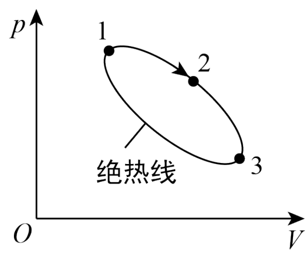
答案 D

解析 $B\to E\to A$过程中，存在压强减小、体积减小的阶段，此阶段温度降低、内能减小，且外界对气体做功，因此，气体放热．又由于$A\to B\to E\to A$过程中内能变化$\Delta E=0$，气体对外做功，故一定存在吸热过程，且吸热大于放热.

故选D.

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

87 如图所示，下面曲线$1\to 3$为绝热线，理想气体经历过程$1\to 2\to 3$，则其内能变化ΔE，温度变化ΔT，体系对外做功W和吸收的热量Q是（　　）



A. $\Delta T<0,\Delta E<0,W>0,Q>0$

B. $\Delta T<0,\Delta E<0,W>0,Q<0$

C. $\Delta T>0,\Delta E>0,W>0,Q>0$

D. $\Delta T>0,\Delta E>0,W<0,Q<0$

答案 A

解析 内能是状态量与过程无关，经$1\to3$绝热过程：气体对外做功，无热量交换，由热力学第一定律可知：内能减小，因此温度降低．故状态1→状态3，$\Delta E<0$，$\Delta T<0$，且$\Delta E=-W_{13}$；在$1\to2\to3$过程中，气体对外做功$W>0$，且$W_{123}>W_{13}$，而内能变化与$1\to3$过程相同，由热力学第一定律可知该过程吸热，即$Q>0$．

故选A．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态方程

88 有一定量的单原子分子理想气体，从初态（p_1，V_1，T_1）经等容变化达到末态（p_2，V_1，T_2）（不防设$T_2>T_1$），求此过程中气体的内能变化ΔU及吸收的热量Q．

答案 $\Delta U=\frac{3}{2}V_1(p_2-p_1)$，$Q=\frac{3}{2}V_1(p_2-p_1)$

解析 设该气体的物质的量为μ，由单原子分子理想气体的内能$U=\frac{3}{2}\mu RT$可知：

上述变化过程中，内能变化$\Delta U=\frac{3}{2}\mu R(T_2-T_1)$；

由理想气体状态方程$p_1V_1=\mu RT_1$，$p_2V_1=\mu RT_2$；

联立解得：$\Delta U=\frac{3}{2}(p_2V_1-p_1V_1)=\frac{3}{2}V_1(p_2-p_1)$；

等容变化过程中，气体体积不变，故外界对气体做功$W=0$；

由热力学第一定律得，气体吸收等量$Q=\Delta U-W=\frac{3}{2}V_1(p_2-p_1)$．

标注 热学 > 热力学定律 > 内能的改变

热学 > 气体 > 理想气体状态计算

热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

89 有一定量的单原子分子理想气体，从初态（p_1，V_1，T_1）经等压变化达到末态（p_1，V_2，T_2）（不妨设$T_2>T_1$），求此过程中气体的内能变化ΔU、外界对气体做功W、吸收的热量Q．

答案 $\Delta U=\frac{3}{2}p_1(V_2-V_1)$，$W=-p_1(V_2-V_1)$，$Q=\frac{5}{2}p_1(V_2-V_1)$

解析 设该气体的物质的量为μ，由单原子分子理想气体的内能$U=\frac{3}{2}\mu RT$可知：

上述变化过程中，内能变化$\Delta U=\frac{3}{2}\mu R(T_2-T_1)$；

由理想气体状态方程$p_1V_1=\mu RT_1$，$p_1V_2=\mu RT_2$；

联立解得：$\Delta U=\frac{3}{2}(p_1V_2-p_1V_1)=\frac{3}{2}p_1(V_2-V_1)$；

等压变化过程中，气体压强不变，故外界对气体做功$W=-\sum p\Delta V=-p_1(V_2-V_1)$，

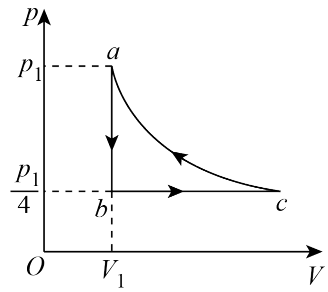
由热力学第一定律得，气体吸收热量$Q=\Delta U-W=\frac{5}{2}p_1(V_2-V_1)$．

故答案为：$\Delta U=\frac{3}{2}p_1(V_2-V_1)$，$W=-p_1(V_2-V_1)$，$Q=\frac{5}{2}p_1(V_2-V_1)$．

标注 热学 > 气体 > 理想气体状态计算

热学 > 热力学定律 > 内能的改变

90 如图所示，有一定量的单原子理想气体，从初态$a(p_1, V_1)$开始经过一个等容过程达到状态b，再经过一个等夺冠过程来到状态c，最后经等温过程而完成一个循环，已知1mol该气体温度改变1K内能变化为$c_v=\frac{3}{2}R$．



(1) 由c到a气体是吸热还是放热，具体吸放热多少？

(2) 由a到b气体是吸热还是放热，具体吸放热多少？

(3) 由b到c气体是吸热还是放热，具体吸放热多少？

(4) 整体循环过程净功多少，净吸放热多少？

答案 (1) 放热；放热$\ln 4p_1V_1$

(2) 放热；放热$\frac{9}{8}p_1V_1$

(3) 吸热；吸热$\frac{15}{8}p_1V_1$

(4) 净功：$\left(\ln 4-\frac{3}{4}\right)p_1V_1$

解析 (1) 略

(2) 略

(3) 略

(4) 略

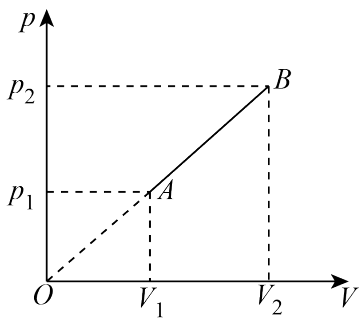
标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

科学思维 > 模型建构

科学思维 > 科学推理

物理观念 > 物质观念

91 一定质量的氧气（可视为理想气体）由初态A（体积V_1）沿如图所示的直线路径变到末态B（体积V_2），如图设该过程中压强$p = kV$（k为已知常数）．试求上述过程中，气体内能的变化量ΔU，外界对气体所作的功W和气体从外界吸收的热量Q．（已知1mol氧气温度改变1K内能变化为$C_V = \frac{5}{2}R$）



答案 $3k(V_2^2 - V_1^2)$

解析 设气体的物质的量为μ，A状态温度为T_1、B状态温度为T_2．

在此过程中，内能的变化量$\Delta U = \frac{5}{2}R\mu(T_2 - T_1) = \frac{5}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{5}{2}k(V_2^2 - V_1^2)$；

气体对外做功为曲线下面积，故外界对系统做功$W = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = -\frac{k}{2}(V_2^2 - V_1^2)$；

由热力学第一定律可知，从外界吸热$Q = \Delta U - W = 3k(V_2^2 - V_1^2)$．

故答案为：$3k(V_2^2 - V_1^2)$．

标注 热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

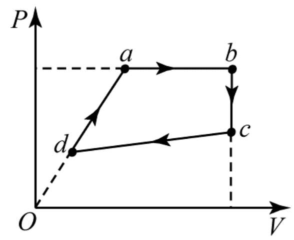
热学 > 气体 > 理想气体状态计算

热学 > 热力学定律 > 内能的改变

92 **2008年北京大学自主招生第2题**

气体分子间距较大，相互作用力较小，分子势能假设可以略去．在解答本题时，气体内能的变化只需考虑温度的变化即可．

如图所示的$p-V$图象中，a，b，c，d表示一定质量的气体状态变化过程中的四个状态．图中ab过程线平行于V轴，bc过程线平行于P轴，da过程线的反向延长线通过坐标原点O．试问ab过程、bc过程、cd过程和da过程中：



(1) 哪几个过程气体吸热？为什么？

(2) 哪几个过程气体放热？为什么？

答案 (1) ab、da

(2) bc、cd

解析 (1) ab过程：气体内能增加，且气体对外做功，由热力学第一定律可知，此过程吸热；

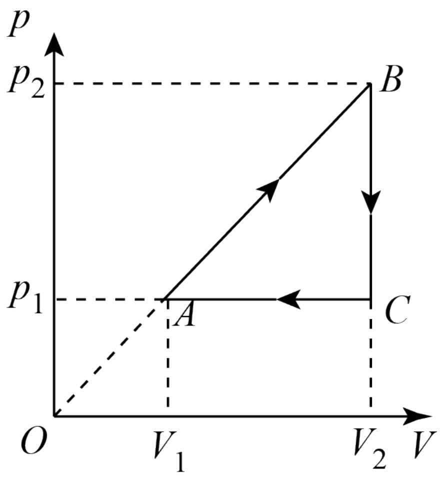
da过程：气体内能增加，且气体对外做功，由热力学第一定律可知，此过程吸热．

(2) bc过程：气体内能减少，且不做功，由热力学第一定律可知，此过程放热；

cd过程：气体内能减少，且外界对气体做功，由热力学第一定律可知，此过程放热．

标注 热学 > 固体、液体和物态变化 > 饱和汽与饱和汽压

93 如图所示，一定质量的双原子分子气体(可视为理想气体)，由初态A(体积为V_1)沿图中直线过程变化到状态B(体积V_2)，设该过程中压强$p=kV$(k为已知常数)；再经图中的等容变化变化到C(压强与A状态相同，体积与B状态相同)，最后经等压变化回到状态A．若气体在循环过程中对外做功为W'，从外界吸收的总热量为Q，则循环效率定义为$\eta=\dfrac{W'}{Q}$．求$A\to B\to C\to A$循环过程的效率．



答案 $\dfrac{V_2-V_1}{6(V_2+V_1)}$

解析 气体对外做功为曲线下面积，故循环过程中气体对外做总功为△ABC的面积，即

$W'=\dfrac{1}{2}(p_2-p_1)(V_2-V_1)=\dfrac{1}{2}k(V_2-V_1)^2$.

BC过程气体不做功，温度降低，气体内能减少，故气体放热；CA过程外界对气体做功，气体内能减少，故气体放热．因此整个循环过程中，只有AB过程吸热．利用上题结果，可知气体吸热$Q=3k\left(V_2^2-V_1^2\right)$.

可得：$\eta=\dfrac{W'}{Q}=\dfrac{\frac{1}{2}k(V_2-V_1)^2}{3k\left(V_2^2-V_1^2\right)}=\dfrac{V_2-V_1}{6(V_2+V_1)}$.

故答案为：$\dfrac{V_2-V_1}{6(V_2+V_1)}$.

标注 热学 > 热力学定律 > 内能的改变

热学 > 热力学定律 > 热力学第一定律

六、热学建模专题

1. 例题精讲

94 自然界中的物体由于具有一定的温度，会不断地向外辐射电磁波，这种辐射因与温度有关，称为热辐射，热辐射具有如下特点：（1）辐射的能量中包含各种波长的电磁波；（2）物体温度越高，单位时间内从物体表面单位面积上辐射的能量越大；（3）在辐射的总能时中，各种波长所

占的百分比不同，处在一定温度的物体在向外辐射电磁能量的同时，也要吸收由其他物体辐射的电磁能量，如果它处在平衡状态，则能量保持不变，若不考虑物体表面性质对辐射与吸收的影响，我们定义一种理想的物体，它能100%地吸收入射到其表面电磁辐射，这样的物体称为黑体，单位时间内从黑体表面单位面积辐射的电磁波的总能量与黑体绝对温度的四次方成正比，即 $P_0=\sigma T^4$，其中常量 $\sigma=5.67\times10^{-5}\mathrm{W/(m\cdot K^4)}$．

在下面的问题中，把研究对象都简单地看作黑体，有关数据及数学公式：太阳半径 $Rs=696000\mathrm{km}$，太阳表面温度 $T=5770\mathrm{K}$，火星半径 $r=3395\mathrm{km}$．已知球面积 $S=4\pi R^2$，其中 R 为球半径．

(1) 太阳热辐射能量的绝大多数集中在波长为 2×10^{-7}~$1\times10^{-5}\mathrm{m}$ 范围内，求相应的频率范围；

(2) 每小时从太阳表面辐射的总能量为多少？

(3) 火星受到来自太阳的辐射可以为垂直到面积为 πr^2（r 为火星半径）的圆盘上，已知太阳到火星的距离约为太阳半径的400倍，忽略其他天体及宇宙空间的辐射，试估算火星的平均温度．

答案

(1) $3\times10^{13}\mathrm{Hz}-1.5\times10^{15}\mathrm{Hz}$

(2) $1.38\times10^{30}\mathrm{J}$

(3) $204\mathrm{K}$

解析

(1) $v=\dfrac{c}{\lambda}$ 得：$v_1=\dfrac{(3.00\times10^8)}{(2\times10^{-7})}\mathrm{Hz}=1.5\times10^{15}\mathrm{Hz}$，$v_2=\dfrac{(3.00\times10^8)}{(2\times10^{-5})}\mathrm{Hz}=3\times10^{13}\mathrm{Hz}$．所以辐射频率范围是 $3\times10^{13}-1.5\times10^{15}\mathrm{Hz}$．

(2) 每小时从太阳表面辐射的总能量为：$E=\sigma T^4 4\pi R_s^2\times3600$，代入数据得 $E=1.38\times10^{30}\mathrm{J}$．

(3) 设火星表面温度为 T'，太阳到火星的距离为 d，火星单位时间内吸收来的太阳辐射能量为 $P_{入}=4\pi\sigma Rs^2T^4\dfrac{\pi r^2}{4\pi d^2}$，$d=400Rs$，所以 $P_{入}=\dfrac{\pi\sigma T^4r^2}{(400)^2}=4\pi\sigma r^2T'^4$ 得 $T'=\dfrac{T}{\sqrt{800}}=204\mathrm{K}$．

标注 光及其应用 > 波粒二象性 > 能量量子化

95 在地面上方垂直于太阳光的入射方向，放置一半径$R=0.10\mathrm{m}$、焦距$f=0.50\mathrm{m}$的薄凸透镜，在薄透镜下方的焦平面上放置一黑色薄圆盘（圆盘中心与透镜焦点重合），于是可以在黑色圆盘上形成太阳的像．已知黑色圆盘的半径是太阳像的半径的两倍．圆盘的导热性极好，圆盘与地面之间的距离较大．设太阳向外辐射的能量遵从斯特藩~玻尔兹曼定律：在单位时间内在其单位表面积上向外辐射的能量为$W=\sigma T^4$，式中σ为斯特藩~玻尔兹曼常量，T为辐射体表面的绝对温度．对太阳而言，取其温度$T_s=5.50\times10^3{}^\circ\mathrm{C}$．大气对太阳能的吸收率为$\alpha=0.40$．又设黑色圆盘对射到其上的太阳能全部吸收，同时圆盘也按斯特藩~玻尔兹曼定律向外辐射能量．如果不考虑空气的对流，也不考虑杂散光的影响，试问薄圆盘到达稳定状态时可能达到的最高温度为多少摄氏度.

答案 $1.08\times10^3{}^\circ\mathrm{C}$

解析 按照斯特藩~玻尔兹曼定律，在单位时间内太阳表面单位面积向外发射的能量为$W_s=\sigma T_s^4$（1），

其中σ为斯特藩~玻尔兹螺常量，T_s为太阳表面的绝对温度．若太阳的半径为R_s，则单位时间内整个太阳表面向外辐射的能量为$P_s=4\pi R_s^2W_s$（2），

单位时间内通过以太阳为球心的任意一个球面的能量都是P_s．设太阳到地球的距离为r_{se}，考虑到地球周围大气的吸收，地面附近半径为R的透镜接收到的太阳辐射的能量为

$P=\pi R^2(1-\alpha)\frac{P_s}{4\pi r_{se}^2}$（3），

薄凸透镜将把这些能量会聚到置于其后焦面上的薄圆盘上，并被薄圆盘全部吸收．

另一方面，薄圆盘也向外辐射能量．设圆盘的半径为R_D，温度为T_D，注意到薄圆盘有两个表面，故圆盘在单位时间内辐射的能量为$P_D=2\cdot\pi R_D^2\cdot\sigma T_D^4$（4），

显然，当$P_D=P$（5），

即圆盘单位时间内接收到的能量与单位时间内辐射的能量相等时，圆盘达到稳定状态，其温度达到最高．由（1）、（2）、（3）、（4）、（5）各式得

$T_D=\left[(1-\alpha)\frac{R^2R_s^2}{2r_{se}^2R_D^2}\right]^{\frac{1}{4}}T_s$（6），

依题意，薄圆盘半径R_D为太阳的像的半径R_s'的2倍，即$R_D=2R_s'$．由透镜成像公式知

$\frac{R_s'}{f}\frac{R_s}{r_{se}}$（7），

于是有$R_D=2\frac{R_s}{r_{se}}f$（8），

把（8）式代入（6）式得$T_D=\left[(1-\alpha)\frac{R^2}{8f^2}\right]^{\frac{1}{4}}T_s$（9），

代入已知数据得：$T_D=1.35\times10^3\mathrm{K}$（10），

即有$t_D=T_D-273\approx1.08\times10^3{}^\circ\mathrm{C}$（11）．

故答案为：$1.08\times10^3{}^\circ\mathrm{C}$．

标注 热学 > 热力学定律 > 能量的守恒与转化

96 冬天，我国一些城市实行水暖供热．户外温度为$-5^\circ\mathrm{C}$时，某房屋的室内温度为$+22^\circ\mathrm{C}$；户外温度为$-15^\circ\mathrm{C}$时，某房屋的室内温度为$+16.5^\circ\mathrm{C}$．假定暖气管与室内空气、室内与户外间的热量传递均与温度差成正比．

(1) 估算该房屋内暖气管的温度．

(2) 为节省能源，对该房屋进行了适当的保温改造，将室内传递至户外的热量减少了20%．在室内暖气管温度保持不变、户外温度为$-15^\circ\mathrm{C}$的情况下，求室内温度．

答案 (1) $55^\circ\mathrm{C}$

(2) $20.4^\circ\mathrm{C}$

解析 (1) 设暖气管与室内空气之间传热的比例系数为k_1，室内与户外传热的比例系数为k_2，暖气管温度为T，房间温度为T_1，户外环境温度为T_2．

由于房间温度恒定，因此单位时间内暖气管向室内传递的热量等于室内向户外散失的能量，即$k_1(T-T_1)=k_2(T_1-T_2)$

带入两组数据得：$k_1(T-22)=k_2(22-(-5))$ ① $k_1(T-16.5)=k_2(16.5-(-15))$ ②

联立解得：$T=55^\circ\mathrm{C}$ ③．

(2) 房屋改造后，房间温度仍保持恒定，因此，$k_1(T-T_1)=0.8k_2(T_1-T_2)$

当$T_2=-15^\circ\mathrm{C}$时，带入数据得：$k_1(55-T_1)=0.8k_2(T_1-(-15))$ ④

联立②③④解得：$T_1\approx20.4^\circ\mathrm{C}$．

标注 热学 > 分子动理论 > 温度和内能