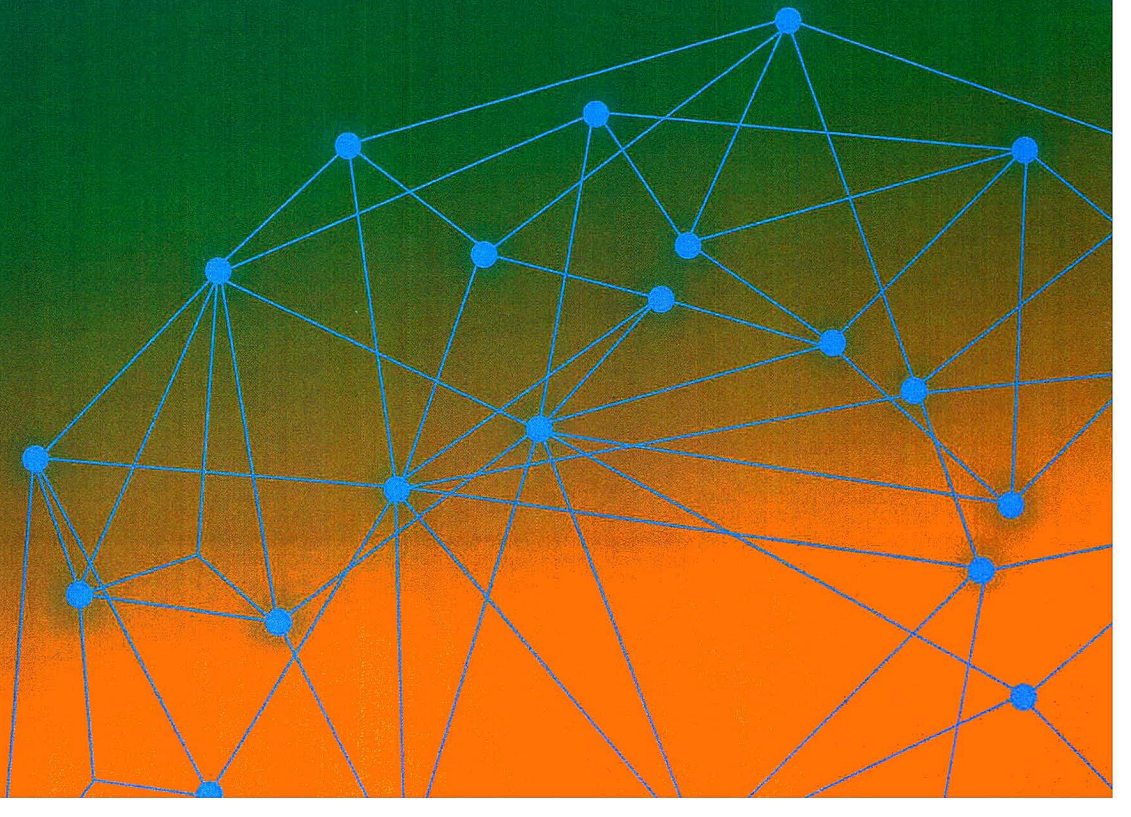
物理星空

高中物理
题型全练一本通
选修第三册

拔高首选 强效提分

学生讲义册



目录

第一讲：分子动理论 4
考点一：分子动理论 4
题型一：物质由大量的分子组成 4
题型二：油膜法测分子直径 5
题型三：阿伏伽德罗常数 11
题型四：阿伏伽德罗常数综合计算 12
题型五：分子热运动 14
题型六：扩散现象与布朗运动 16
题型七：生活中的分子热运动 17
题型八：分子间作用力 19
考点二：温标与温度 21
题型一：平衡态与热平衡 21
题型二：温度计与温标 23
考点三：内能 25
题型一：分子动能 25
题型二：内能 28
第二讲：气体 31
考点一：分子运动特点 31
题型一：分子运动的速率分布图 31
考点二：压强 34
题型一：压强的微观解释 34
题型二：活塞受力分析与压强计算 35
题型三：水银柱压强计算 38
考点三：气体的等温变化 42
题型一：研究等温变化规律 42
题型二：波意耳定律 46
题型三：等温图像 49
题型四：实际问题中的等温变化 50
考点四：气体等压变化 52
题型一：盖-吕萨克定律 52
题型二：等压图像 55
题型三：实际问题中得等压变化 57
考点五：气体等容变化 60
题型一：查理定律 60
题型二：等容图像 63
题型三：实际问题中得等容变化 64
考点六：理想气体 67
题型一：理想气体的特点 67
题型二：理想气体方程 68
题型三：理想气体方程的图像问题 72
题型三：理想气体方程的综合应用 74
第三讲：固体：液体 77
考点一：固体 77
题型一：晶体与非晶体 78
题型二：晶体的微观结构 80

考点二：液体 82
题型一：液体微观结构 82
题型二：分子表面张力 83
题型三：分子表面张力现象分析 84
题型四：浸润与不浸润 86
题型五：液晶 89
考点三：饱和汽与饱和汽压 91
题型一：物态变化 91
题型二：饱和汽压 93
第四讲：热力学定律 97
考点一：热力学第一定律 97
题型一：热力学第一定律 98
题型二：定性判断 100
题型三：定量计算 102
题型四：热力学第一定律的应用——图像问题 106
题型五：热力学第一定律与气体实验定律综合应用 108
考点二：热力学第二定律 113
第五讲：气体实验定律应用——综合应用 120
考点一：气缸问题 120
题型一：单活塞的平衡态的问题与临界问题 120
题型二：单活塞的非平衡态问题 123
题型三：单活塞的连接体问题 125
题型四：双活塞问题 127
题型五：大小活塞类问题——杆连接 129
题型六：活塞类问题——弹簧连接 132
题型七：大小活塞类问题——关联气体问题 134
题型八：双气缸—关联气体问题 135
考点二：水银柱问题 140
题型一：竖直、倾斜水银柱的平衡问题 140
题型二：U 形管水银柱的平衡问题 141
题型三：倒 U 形管水银柱的平衡问题 145
题型四：三通管水银柱的平衡问题 146
题型五：非平衡态水银柱问题定性分析 150
题型六：非平衡态水银柱问题定量计算 152
题型七：水银柱关联气体问题 153
题型八：水银自动溢出问题 156
考点三：变质量问题 158
题型一：充气问题 158
题型二：生活中的充气问题 162
题型三：抽气问题 165
题型四：灌气问题 167
题型五：漏气问题 168
题型六：热气球问题 171
考点四：图像问题 173
题型一：P-V 图像 174
题型二：P-T 图像——热机循环 176
题型三：P-T 图像 178
题型四：V-T 图像 180

第六讲：波粒二象性.....182
考点一：能量量子化.....182
题型一：黑体与黑体辐射.....182
题型二：能量子.....184
考点二：光电效应.....185
题型一：光电效应实验规律.....186
题型二：光电效应方程.....188
题型三：光电效应图像.....191
题型四：光电效应综合.....194
考点三：康普顿效应.....198
题型一：康普顿效应.....199
考点四：光波粒二象性.....200
题型一：光波粒二象性.....201
第七讲：原子结构.....202
考点一：电子的发现.....202
题型一：电子的发现.....202
考点二：原子核式结构.....205
题型一：原子核式结构.....205
考点三：氢原子光谱.....207
题型一：认识光谱.....208
题型二：氢原子光谱.....209
考点四：玻尔原子模型.....213
题型一：玻尔原子模型.....214
题型二：跃迁.....215
题型三：综合.....217
考点五：物质波与概率波.....221
题型一：概率波.....221
题型二：物质波.....223
第八讲：原子核.....224
考点一：天然放射现象与三种射线.....224
题型一：天然放射现象.....224
考点二：原子核的组成.....225
题型一：原子核的组成.....225
考点三：原子核的衰变与半衰期.....226
题型一：原子核的衰变.....227
题型二：半衰期.....229
题型三：原子核的衰变次数计算.....230
题型四：原子核的衰变与动量守恒.....232
考点四：人工核转变.....235
题型一：人工核转变.....235
题型二：放射性同位素应用.....237
考点五：核力与核能.....239
题型一：核力.....240
题型二：质能方程、结合能与比结合能.....241
题型三：质量亏损与能量.....244
考点六：核裂变与核聚变.....246
题型一：核裂变.....246
题型二：核聚变.....248

第一讲：分子动理论

考点一：分子动理论

知识概述：

1.分子动理论的内容：物体由大量分子组成；分子在永不停息做无规则运动；分子间存在引力、斥力。

2.对分自动理论的理解：对单分子而言，运动具有偶然性，无规则，无法研究；对大量分子而言，运动体现出统计学规律。

3.物质的热学性质和规律是分子热运动的宏观体现，由分子的基本结论出发建立的分析宏观热学现象的理论称为分子动理论。

题型一：物质由大量的分子组成

解题要点：

1.分子

(1)构成物质的微粒是多样的（原子、离子、分子等），物理中研究运动规律，不考虑化学变化，统称为分子。

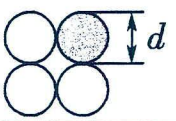
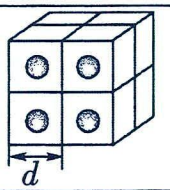
(2)分子的直径(视为球模型)：数量级为 10^{-10}m；

(3)分子的体积：数量级为 $10^{-29}m^3$；

(4)分子的质量：数量级为 10^{-26}kg。

(5)裸眼、光学显微镜无法观看，只有放大几亿倍得扫描隧道显微镜才能看到。

2.两种分子模型

两种分子模型	图例	适用	说明
球体分子模型		固体、液体	一个分子体积 $V_0=\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d}{2}\right)^3=\frac{1}{6}\pi d^3$(d 为分子的直径)
立方体模型分子模型		气体	一个分子占据的平均空间 $V_0=d^3$(d 为分子的间距)

【精选例题】

【例 1】关于分子的下列说法中正确的是（　　）

A．分子看作小球是分子的简化模型，实际上，分子的形状并不真的都是球形

B．所有分子大小的数量级都是 10^{-10}m

C．“物体是由大量分子组成的”，其中“分子”只包含分子，不包括原子和离子

D．分子的质量是很小的，其数量级一般为 10^{-10}kg

【例 2】（多选题）下列说法正确的是（　　）

A．分子是保持物质化学性质的最小微粒　　B．物质是由大量分子组成的

C．本节所说的“分子”，只包含化学中的分子，不包含原子和离子

D．无论是有机物质，还是无机物质，分子大小数量级都是10^{-10} m

【跟踪训练】

1．下列事实不能作为相应观点的证据的是（　　）

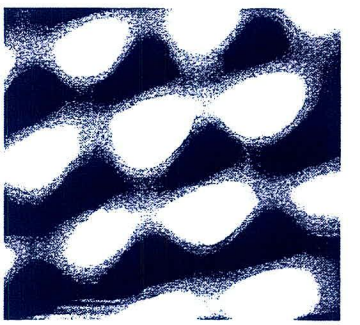
A．尘土飞扬，说明分子是运动的

B．电解水得到氢气和氧气，说明分子是可分的

C．气体被压缩后体积发生了较大变化，说明气体分子间的距离大

D．将两个干净平整的铅柱紧压在一起会结合起来，说明分子间存在引力

2．如图所示是我国科学家用能放大几亿倍的扫描隧道显微镜拍摄的石墨表面的原子图片，图中每个亮斑都是一个碳原子，下列说法正确的是（　　）



A．碳原子排列紧密，分子间没有空隙

B．碳原子规则排列，不能做无规则运动

C．用力压缩石墨时，碳原子间的作用力表现为斥力

D．石墨中碳原子体积的数量级是$10^{-10}\,m^3$

题型二：油膜法测分子直径

解题要点：

一、实验目的

1.估测油酸分子的大小。

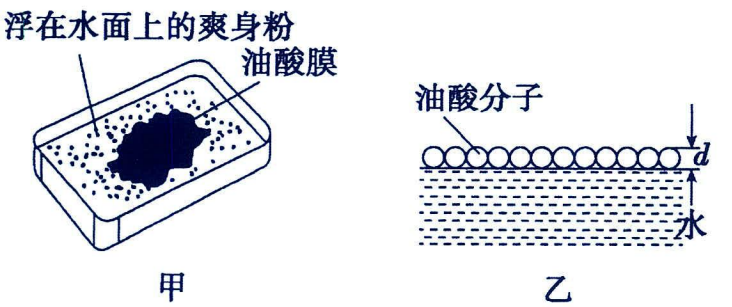
2.学会间接测量微观量的原理和方法。

二、实验原理与器材

1.实验原理：实验采用使油酸在水面上形成一层单分子油膜的方法估测分子的大小。

当把一滴用酒精稀释过的油酸滴在水面上时，油酸就在水面上散开，其中的酒精溶于水，并很快挥发，在水面上形成如图甲所示形状的一层纯油酸薄膜。如果算出一定体积的油酸在水面上形成的单分子油膜的面积，即可算出油酸分子的大小。

用 V 表示一滴油酸酒精溶液中所含纯油酸的体积，用 S 表示单分子油膜的面积，用 d 表示油酸分子的直径，如图乙所示，则 $d=\frac{V}{S}$ 。



2.实验器材：

清水、浅盘、注射器(或胶头滴管)、坐标纸、玻璃板、爽身粉(或石膏粉)、油酸酒精溶液、量筒、彩笔。

三、实验过程

1.用稀酒精溶液及清水清洗浅盘，充分洗去油污、粉尘，以免给实验带来误差。

2.配制油酸酒精溶液，取纯油酸 1mL，注入 500mL 的容量瓶中，然后向容量瓶内注入酒精，直到液面到达 500mL 刻度线为止；

3.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，算出每滴油酸酒精溶液的体积 $V_0=\frac{V_n}{n}$；

4.向浅盘里倒入约 2cm 深的水，并将爽身粉均匀地撒在水面上；

5.用注射器(或滴管)将一滴油酸酒精溶液滴在水面上；

6.待油酸薄膜的形状稳定后，将玻璃板放在浅盘上，并将油酸膜的形状用彩笔画在玻璃板上；

7.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 1cm 的正方形为单位计算轮廓内正方形的个数，不足半个的舍去，多于半个的算一个)；

8.根据油酸酒精溶液的配制比例，算出一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积 V，并代入公式 $d=\frac{V}{S}$，算出油酸薄膜的厚度 d；

9.重复以上实验步骤，多测几次油酸薄膜的厚度，并求平均值，即为油酸分子直径的大小。

四、注意事项

1.在水面上撒爽身粉时，注意不要触动浅盘中的水。

2.油酸酒精溶液配制后不要长时间放置，以免改变浓度，产生误差。

3.注射器针头高出水面的高度应在 1cm 之内。当针头靠水面很近(油酸未滴下之前)时，会发现针头下方的粉层已被排开，是由针头中酒精挥发所致，不影响实验效果。

4.在有机玻璃板上描绘轮廓时动作要轻而迅速，眼睛视线要始终与玻璃垂直。

5.待测油酸薄膜扩散后又会收缩（原因有二：①水面受到油酸液滴冲击凹陷后又恢复；②酒精挥发后液面收缩）因此要在油酸薄膜的形状稳定后在画轮廓。

6.当重做实验时，将水从浅盘的一侧边缘倒出，在这侧边缘会残留油酸，可用少量酒精清洗，并用脱脂棉擦去，再用清水冲洗，这样做可以保持浅盘的清洁。

7.本实验只要求估算油酸分子的大小，实验结果数量级符合要求即可。

五、误差分析

1.纯油酸体积的计算引起的误差

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的偏差；

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。

2.油膜面积的测量引起的误差

①油膜形状的画线引起的误差；面积油酸酒精溶液的实际浓度和理论值间存在偏差；

②采用“填补法”（即：不足半个的舍去，多于半个的算一个）计算获得的油膜面积与实际面积存在偏差。

六、总结与创新

1.稀释油酸的原因：纯油酸浓度高，一滴油酸含有的分子数特别多，会覆盖整个盛水浅盘，甚至使油酸分子发生叠加，无法形成单分子层。

2.用酒精稀释的原因：酒精与油酸互溶，酒精与水互溶，滴在水面上酒精分子进入水中或者蒸发，只剩下油酸分子层。

3.实验器材、装置的改进创新

（1）滴液滴方法的改进创新：使用 5mL 塑料注射器，在 5mL 刻度线处钻一个小孔，用它吸取约 3mL 油酸酒精溶液后，将活塞杆提到小孔的上方，让管内溶液与空气接触，这样在重力的作用下油滴自动下滴；

（2）撒痱子粉方法的改进创新：使用很小的塑料药品瓶，装半瓶痱子粉，用细纱布包裹瓶口，在洒痱子粉时，将瓶身倾斜，轻拍拿瓶的手腕，使得之粉从细纱布中均匀撒出；

（3）用激光打印的废碳粉替代痱子粉：废碳粉不溶于水且漂浮在水面上，把废碳粉撒在水面上，直接用玻璃棒搅拌均匀即可。激光打印的碳粉浮在水面上，稳定性好，且滴上油酸酒精溶液后所形成的图形较圆，使油酸分子面积的计算非常便利。

4.油膜面积测量方法的改进创新

用透明的有机玻璃制作一个边长为 30cm 的正方形浅水盘，再设计一张与浅水盘面积相等的坐标纸，坐标纸上均匀地画出小方格。实验时，将坐标纸放在浅盘下面.在油酸油膜形状稳定后，竖直俯视浅水盘下面的坐标纸，直接读出油酸膜所占格数，计算出油酸膜的面积。

【精选例题】

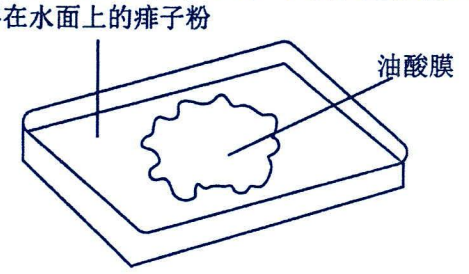
【例 1】（多选题）在“用油膜法估测分子的大小”实验中，所用油酸酒精溶液的浓度为 c。用注射器往量筒中滴入油酸酒精溶液，每滴入 n 滴，油酸酒精溶液体积增加 1mL，现取 1 滴油酸酒精溶液滴入撒有痱子粉的浅水盘里，待水面稳定后，将玻璃板放在浅盘上描绘出油膜的轮廓形状，再把玻璃板放在边长为 1cm 的坐标纸上，算出油膜的面积 S。关于本实验，下列说法正确的是（　　）

A．用以上物理量的符号表示分子直径大小为 $d=\frac{c}{nS}$

B．“用油膜法估测分子的大小”实验的依据是将油膜看成单分子油膜

C．水面上形成的油膜的体积 $V=\frac{1}{n}$

D．计算油膜的面积 S 时，只需在坐标纸上将油膜轮廓中完整的格子数进行统计，不足一格的都舍去



【例 2】某实验小组完成“用油膜法测油酸分子的大小”的实验。

(1)实验中要让油酸在水面尽可能散开，形成单分子油膜，并将油膜分子看成球形且紧密排列。本实验体现的物理思想方法为_____（填选项前的字母）。

A．控制变量法　　B．等效替代法　　C．理想化模型法　　D．归纳法

(2)“用油膜法估测油酸分子的大小”实验的科学依据是（　　）

A．将油酸形成的膜看成单分子油膜　　B．不考虑各油酸分子间的间隙

C．将油酸分子看成球形　　D．油酸分子直径的数量级为10^{-15}m

.(3)实验中使用到油酸酒精溶液，其中酒精的作用是_____。

A．可使油酸和痱子粉之间形成清晰的边界轮廓　　B．对油酸溶液起到稀释作用

C．有助于测量一滴油酸的体积　　D．有助于油酸的颜色更透明便于识别

(4)下列实验操作正确的是_____。

A．用油膜法可以精确测量分子的大小

B．油酸分子直径等于纯油酸体积除以相应油膜的面积

C．计算油膜面积时，应舍去所有不足一格的方格

D．实验时应先将一滴油酸酒精溶液滴入水面，再把爽身粉撒在水面上

(5)某同学实验中先取一定量的无水酒精和油酸，制成一定浓度的油酸酒精溶液，测量并计算一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积后，接着又进行了下列操作：

A．将一滴油酸酒精溶液滴到水面上，在水面上自由地扩展为形状稳定的油酸薄膜

B．将画有油酸薄膜轮廓的玻璃板放在坐标纸上计算油酸薄膜的面积

C．将玻璃板盖到浅水盘上，用彩笔将油酸薄膜的轮廓画在玻璃板上

D．向浅盘中倒入约 2cm 深的水，将痱子粉均匀地撒在水面上

以上操作的合理顺序是_____（填字母代号）。

(6)某同学在用油膜法估测分子直径的实验中，计算结果明显偏小，可能是由于_____。

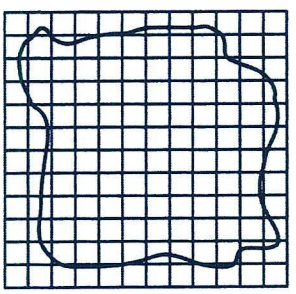
A．油酸未完全散开

B．计算油膜面积时舍去了所有不足一格的方格

C．求每滴体积时，1mL 的溶液的滴数少记了 5 滴

D．油酸酒精溶液久置，酒精挥发使溶液的浓度发生了变化

(7)实验中，在玻璃板上描出一滴油酸酒精溶液形成的油膜轮廓，随后把玻璃板放在坐标纸上，其形状如图所示。坐标纸上正方形小方格的边长为1.0cm，该油膜的面积是_____cm^2。若一滴油酸酒精溶液中含有纯油酸体积为8×10^{-6}mL，则油酸分子的直径是_____m。（保留 2 位有效数字）



【跟踪训练】

1．小明同学在“油膜法估测油酸分子大小”的实验中，具体操作如下：

a.用注射器将事先配好的油酸酒精溶液滴一滴在水面上，待薄膜形状稳定

b.往边长约为 40cm 的浅盘里倒入约 2cm 深的水，待水面稳定后将适量的痱子粉均匀地撒在水面上

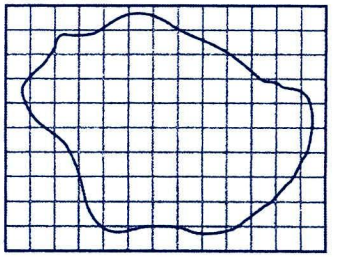
c.将玻璃板放在浅盘上，然后将油酸膜的形状用彩笔描绘在玻璃板上

d.用注射器将事先配好的油酸酒精溶液一滴一滴地滴入量筒中，记下量筒内每增加一定体积时的滴数，由此计算出一滴油酸酒精溶液的体积，根据油酸酒精溶液的浓度再计算出一滴纯油酸的体积

e.将画有油酸膜形状的玻璃板平放在坐标纸上，计算出油酸膜的面积，根据一滴纯油酸的体积和油酸膜的面积计算出油酸分子直径的大小

(1)上述实验步骤的正确顺序是_____（填写实验步骤前的序号）。

(2)实验中，小明所用油酸酒精溶液每V_1体积溶液中有纯油酸体积V_2，用注射器和量筒测得V_0体积的上述溶液有 n 滴，则一滴油酸酒精溶液中纯油酸的体积为_____；把一滴该溶液滴入盛水的撒有痱子粉的浅盘中，待水面稳定后，测得油酸薄膜的面积为 S，则可求得油酸分子的直径为_____（用V_1、V_2、V_0、n、S 表示）；若根据实验得到油酸薄膜的轮廓形状和尺寸如图所示，图中每个小正方形格的边长为 a，则油酸薄膜的面积S=_____。



(3)小明同学通过实验得到的油酸分子的直径和查阅资料所得数据相比，测量结果偏大可能是因为_____。

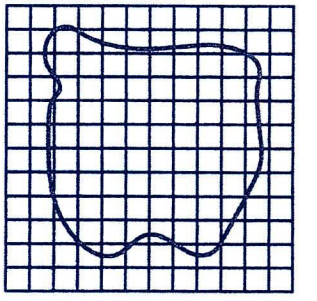
A．油膜中仍然含有大量未溶解的酒精

B．计算油膜面积时，舍去了所有不足一格的方格

C．水面上痱子粉撒得太多，油膜没有充分展开

D．用注射器和量筒测V_0体积溶液滴数时少记录了几滴

2．(1)在用油膜法估测分子大小的实验中，用移液管量取 0.25mL 油酸，倒入标注 250mL 的容量瓶中，再加入酒精后得到 250mL 的溶液。然后用滴管吸取这种溶液，向小量筒中滴入 100 滴溶液，溶液的液面达到量筒中 1mL 的刻度，再用滴管取配好的油酸溶液，向撒有痱子粉的盛水浅盘中滴下 2 滴溶液，在液面上形成油酸薄膜，待油膜稳定后，放在带有正方形坐标格的玻璃板下观察油膜，如图甲所示。坐标格的每个小正方形大小为2cm×2cm。由图甲可以估算出油膜的面积是_____cm^2，由此估算出油酸分子的直径是_____m（保留 1 位有效数字）。



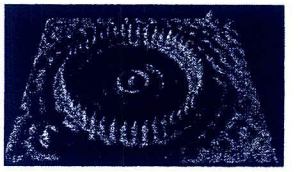
甲

(2)为了尽可能准确地估测出油膜分子的大小，下列措施可行的是_____。

A．油酸浓度适当大一些　　B．油酸浓度适当小一些

C．油酸扩散后立即绘出轮廓图　　D．油酸扩散并待其形状稳定后再绘出轮廓图

(3)图乙是用扫描隧道显微镜拍下的一个“原子围栏”的照片。这个原子围栏是由 48 个铁原子在铜的表面排列成直径为1.4×10^{-8}m 的圆周而组成的，由此可以估算出铁原子的直径约为_____m（π取 3.14，结果保留 1 位有效数字）。



乙

(4)做“用油膜法估测分子的大小”实验时，四个同学都有一个操作错误，其中导致最后所测分子直径偏大的是_____。

A．甲同学在配制油酸酒精溶液时，不小心把酒精倒多了一点，导致油酸酒精溶液的实际浓度比计算值小了

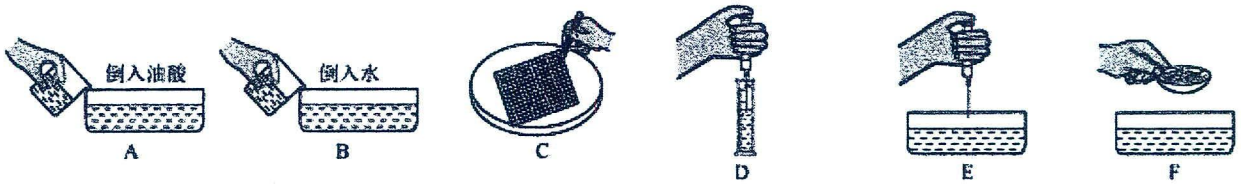
B．乙同学用注射器和量筒测得 58 滴油酸酒精溶液为 1mL，不小心错记录为 59 滴

C．丙同学在计算完注射器滴出的每一滴油酸酒精溶液体积后，不小心拿错了一个注射器取溶液滴在水面上，这个拿错的注射器的针头比原来的粗

D．丁同学计算油膜面积时，把所有不足半格的油膜都算成了一格

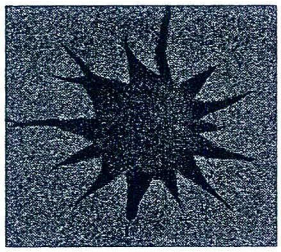
3．某实验小组完成“用油膜法估测油酸分子的大小”的实验。

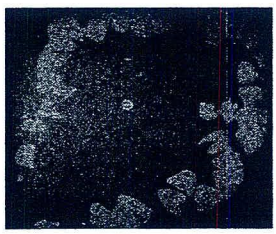
(1)该小组进行下列实验操作，请选出需要的实验操作，并将它们按操作先后顺序排列：D_____C（用字母符号表示）。

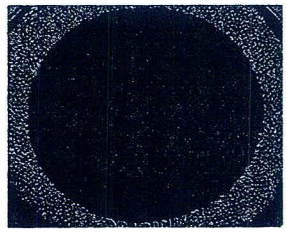


(2)若实验时油酸酒精溶液中纯油酸占总体积的 0.3%，用注射器测得 200 滴这样的油酸溶液为 1mL，取 1 滴这样的溶液滴入浅盘中，即滴入浅盘中的油酸体积为_____cm^3。

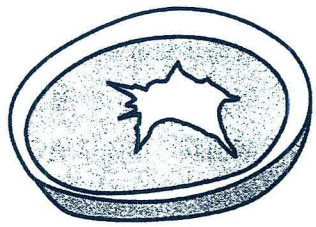
(3)不同实验小组向水面滴入一滴油酸酒精溶液时得到以下油膜形状，做该实验最理想的是（　　）

A. 

B. 

C. 

(4)某次实验时，滴下油酸酒精溶液后，痱子粉迅速散开形成如图所示的“锯齿”边沿图案，出现该图样的可能原因是（　　）



A．盆中装的水量太多

B．痱子粉撒得太多，且厚度不均匀

C．盆太小，导致油酸无法形成单分子层

(5)甲、乙、丙三位同学分别在三个实验小组做“用油膜法估测油酸分子的大小”实验，但都发生了操作错误。其中会导致所测的分子直径 d 偏小的是（　　）

A．甲同学在配制油酸酒精溶液时，不小心把酒精倒少了一点，导致油酸酒精溶液的实际浓度比计算值大一些

B．乙在计算注射器滴出的每一滴油酸酒精溶液体积后，不小心拿错了一个注射器把溶液滴在水面上，这个拿错的注射器的针管比原来的细，滴出的每滴油酸酒精溶液的体积比原来的小

C．丙在计算油膜面积时，把凡是不足一格的油膜都不计，导致计算的面积比实际面积小一些

题型三：阿伏伽德罗常数

解题要点：

1.阿伏加德罗常数

(1)1mol 的任何物质都含有相同的微粒数，这个数叫阿伏加德罗常数 N_A，$N_A=6.02\times10^{23}mol^{-1}$；

(2)阿伏加德罗常数是联系宏观物理量和微观物理量的桥梁。

$$\frac{M_{mol}}{m_0}\xleftarrow{\rho}N_A\xrightarrow{\rho}\frac{V_{mol}}{V_0}$$

2.微观量与宏观量

(1)微观量：分子质量 m_0、分子体积 V_0、分子直径 d 等；

(2)宏观量：物体的质量 m、摩尔质量 M_{mol}、物体的密度ρ、物体的体积 V、摩尔体积 V_{mol} 等。

3.几个重要关系

已知量	可求量	
摩尔体积 V_{mol}	分子体积 $V_0=\frac{V_{mol}}{N_A}$(适用于固体和液体) 分子占据体积 $V_{占}=\frac{V_{mol}}{N_A}$(适用于气体)	$\rho=\frac{M}{V}=\frac{M_{mol}}{V_{mol}}$
摩尔质量 M_{mol}	分子质量 $m_0=\frac{M_{mol}}{N_A}$	
体积 V 和摩尔体积 V_{mol}	分子数目 $n=\frac{V}{V_{mol}}N_A=\frac{m}{\rho V_{mol}}N_A$	
质量 m 和摩尔质量 M_{mol}	分子数目 $n=\frac{m}{M_{mol}}N_A=\frac{\rho V}{M_{mol}}N_A$	

【精选例题】

【例 1】通过下列数据可以算出阿伏伽德罗常量的是（　　）

A．水的密度和水的摩尔质量　　B．水的摩尔质量和水分子的体积

C．水分子的体积和水分子的质量　　D．水分子的质量和水的摩尔质量

【例 2】（多选题）已知阿伏伽德罗常量为 N_A，氧气的摩尔质量为 M，室温下氧气的密度为 ρ（均为国际单位），则（　　）

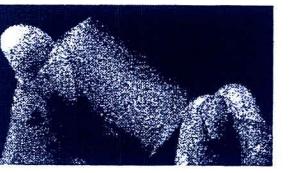
A．1kg 氧气含分子的数目为 $\frac{N_A}{M}$　　B．1 个氧气分子的质量是 $\frac{N_A}{M}$

C．1 个氧气分子的体积是 $\frac{M}{N_A\rho}$　　D．室温下相邻氧气分子之间的平均距离为 $\sqrt[3]{\frac{M}{N_A\rho}}$

【例 3】浙江大学高分子系某课题组制备出了一种超轻的固体气凝胶，它刷新了目前世界上最轻的固体材料的记录。设气凝胶的密度为 ρ（单位为 kg/m^3），摩尔质量为 M（单位为 kg/mol），阿伏加德罗常数为 N_A，则（　）

A．a 千克气凝胶所含分子数为 $n=a\cdot N_A$　　B．气凝胶的摩尔体积为 $V_{mol}=\frac{M}{6\rho}$

C．每个气凝胶分子的体积为 $V_0=\frac{MN_A}{\rho}$　　D．每个气凝胶分子的直径为 $D=\sqrt[3]{\frac{6M}{\pi N_A\rho}}$



【跟踪训练】

1．已知铜的摩尔质量为M（kg/mol），铜的密度为$\rho\left(\mathrm{kg/m^3}\right)$，阿伏加德罗常数为$N_{\mathrm{A}}\left(\mathrm{mol^{-1}}\right)$。下列判断正确的是（　　）

A．1个铜原子的体积为$\frac{M\rho}{N_{\mathrm{A}}}\left(\mathrm{m^3}\right)$　　B．$1\mathrm{m^3}$铜中所含的原子数为$\frac{MN_{\mathrm{A}}}{\rho}$

C．1kg铜中所含的原子数为N_{A}　　D．1个铜原子的直径为$\sqrt[3]{\frac{6M}{\pi\rho N_{\mathrm{A}}}}\left(\mathrm{m}\right)$

2．（多选题）若以V_1表示在标准状态下水蒸气的摩尔体积，V_2表示水的摩尔体积，M表示水的摩尔质量，N_{A}表示阿伏加德罗常数，则下列关系式中正确的是（　　）

A．在标准状态下一个水蒸气分子的体积为$\frac{V_1}{N_{\mathrm{A}}}$　　B．一个水分子的体积为$\frac{V_2}{N_{\mathrm{A}}}$

C．在标准状态下一个水蒸气分子的质量为$\frac{M}{N_{\mathrm{A}}}$　　D．一个水分子的质量为$\frac{M}{N_{\mathrm{A}}}$

3．二氧化碳海洋封存技术能将二氧化碳封存在海底。研究发现，当水深超过2500m时，二氧化碳会变成近似固体的硬胶体。标准状况下二氧化碳气体的密度为ρ，二氧化碳的摩尔质量为M，N_{A}表示阿伏伽德罗常数，二氧化碳分子可近似看作直径为D的球体。则标准状况下体积为V的二氧化碳气体变成硬胶体后的体积为（　　）

A．$\frac{4\pi\rho VD^3}{3M}N_{\mathrm{A}}$　　B．$\frac{4\pi MVD^3}{3\rho}N_{\mathrm{A}}$　　C．$\frac{\pi MVD^3}{6\rho}N_{\mathrm{A}}$　　D．$\frac{\pi\rho VD^3}{6M}N_{\mathrm{A}}$

题型四：阿伏伽德罗常数综合计算

【精选例题】

【例1】（多选题）糖是人类赖以生存的重要物质之一，在对人类的生活产生了深远的影响，在工业中也发挥着巨大的作用。某种食用冰糖块的密度为ρ，摩尔质量为M，阿伏加德罗常数为N_{A}，则下列说法正确的是（　）

A．该种冰糖块的摩尔体积$V_{\mathrm{mol}}=\frac{M}{\rho}$　　B．该种冰糖块分子的体积$V_0=\frac{M}{N_A\rho}$

C．该种冰糖块的分子直径$d=\sqrt[3]{\frac{6M}{N_A\rho}}$　　D．a千克该种冰糖块所含的分子数$N=\frac{M}{aN_A}$

【例2】已知空气的摩尔质量是$M=2.9\times10^{-2}\mathrm{kg\cdot mol^{-1}}$，则空气中的气体分子的平均质量是多大？成年人做一次深呼吸，约吸入$450\mathrm{cm^3}$的空气，则做一次深呼吸所吸入的空气质量是多少？所吸入的气体分子数是多少？按标准状态估算，标准状态下空气的摩尔体积为$V_{\mathrm{m}}=22.4\mathrm{L/mol}$，阿伏加德罗常数$N_{\mathrm{A}}=6.02\times10^{23}\mathrm{mol^{-1}}$。

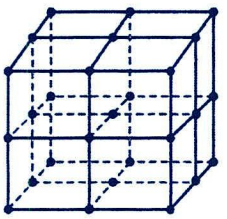
【例 3】钻石中的碳原子（每个碳原子占据一个正方体）以网状结构紧密地堆在一起，钻石是自然界中最硬的物质，图为 2 克拉（1 克拉=0.2g）的钻石。已知碳原子的直径 $d=1.8\times10^{-10}$m，碳元素的相对原子质量为 12，阿伏加德罗常数 $N_A=6.02\times10^{23}$。求：（1）该钻石含有的碳原子个数 N；

（2）钻石的密度 ρ。（两问结果均保留两位有效数字）



【例 4】如图为食盐晶体结构示意图，食盐的晶体是由钠离子和氯离子组成的，这两种离子在空间中三个互相垂直的方向上，都是等距离地交错排列的。已知食盐的摩尔质量是 M，食盐的密度是ρ，阿伏加德罗常数为 N_A 求：

（1）食盐的摩尔体积多大；（2）试估算食盐晶体中两个最近的钠离子中心间的距离。



【跟踪训练】

1．绿氢是指利用可再生能源分解水得到的氢气，其燃烧时只产生水，从源头上实现了二氧化碳零排放，是纯正的绿色新能源，在全球能源转型中扮演着重要角色。已知该气体的摩尔体积为 22.4L/mol，摩尔质量为 2g/mol，阿伏伽德罗常量为 $6.02\times10^{23}\,mol^{-1}$，由以上数据不能估算出（　）

A．每个气体分子的质量　　B．每个气体分子的体积

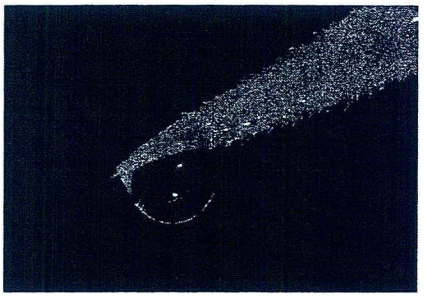
C．每个气体分子占据的空间体积　　D．气体分子之间的平均距离

2．公共场所禁止吸烟，我们知道被动吸烟比主动吸烟害处更大。一个高约 2.8m、面积约 $10m^2$ 的两人办公室，若一人已经吸完了一根烟，另一人不吸烟，将吸烟者吸烟过程中呼出的空气视为被污染的空气，求不吸烟者一次呼吸大约吸入多少个被污染的空气分子。（人正常呼吸一次吸入气体 $300cm^3$，一根烟大约吸 10 次，1mol 气体的体积是 22.4L）



3．一滴露珠的体积是 $1.8\times10^{-3}cm^3$，已知水的密度是 $1.0\times10^3kg/m^3$，摩尔质量是 18g/mol，阿伏加德罗常数 $N_A=6.0\times10^{23}mol^{-1}$。求：(1)水的摩尔体积是多少？

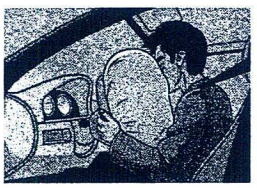
(2)若露珠在树叶上每分钟蒸发 4.0×10^{18} 个水分子，则这一滴露珠需要多少分钟蒸发完？



4. 轿车中的防撞安全气囊能有效保障驾乘人员的安全。轿车在发生一定强度的碰撞时，储存的三氮化钠（NaN_3）爆炸产生的气体（假设都是氮气）充入安全气囊。若安全气囊充入氮气后的容积为 $V=60L$，密度为 $\rho=2.5kg/m^2$，已知氮气的摩尔质量 $M=0.028kg/mol$，阿伏加德罗常数 $N_A=6\times10^{23}mol^{-1}$。请估算：

（1）气囊中氮气分子的总个数 N；

（2）气囊中氮气分子间的平均距离 r。（结果均保留 2 位有效数字，已知 $2.7^3=19.683$）



题型五：分子热运动

解题要点：

1.扩散现象

(1)扩散现象是相互接触的不同物质彼此进入对方的现象；

(2)扩散现象就是分子的运动，发生在固体、液体、气体任何两种物质之间，且肉眼可见；

(3)实质：扩散现象并不是外界作用引起的，也不是化学反应的结果，而是由物质分子的无规则运动产生的；

(4)影响因素：温度越高，扩散越快。

2.布朗运动

(1)研究对象：悬浮在液体或气体中的小颗粒的无规则运动；

(2)产生原因：小颗粒受到来自各个方向分子撞击作用不平衡；

(3)运动特点：无规则、永不停息，光学显微镜可见。

(4)影响因素：

①颗粒大小：颗粒越小，布朗运动越明显；

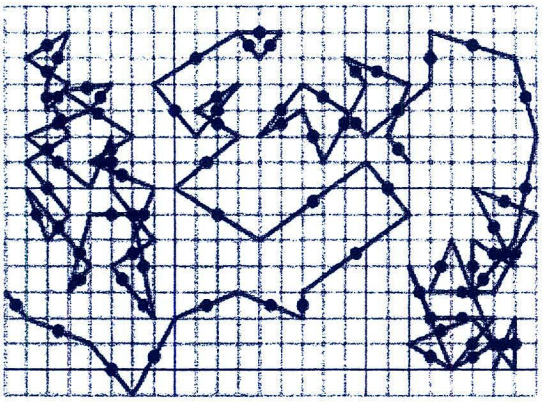
②温度：温度越高，布朗运动越明显。

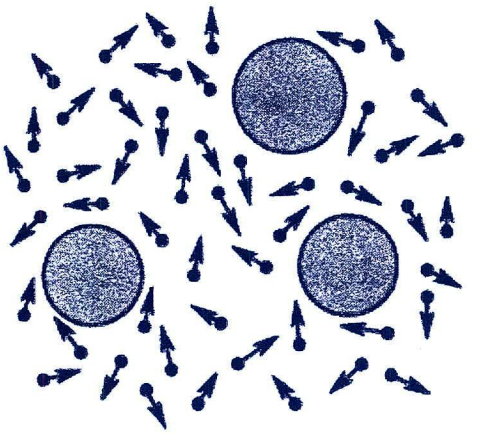
(5)物理意义：间接反映了液体或气体分子做永不停息的无规则的热运动。

(6)注意：①非分子运动，但反应分子无规则运动；

②光学显微镜下，小颗粒位置连线不是运动轨迹；

③小颗粒虽肉眼不可见，但依然为客观物体，遵循牛顿定律。





3.分子热运动

(1)分子做永不停息的无规则运动叫作热运动；

(2)特点：分子的无规则运动和温度有关，温度越高，分子运动越剧烈；

(3)温度是分子热运动剧烈程度的标志。

(4)分子热运动间接说明分子间存在间隙；分子热运动，只能通过扫描隧道显微镜观察。

4.扩散现象、布朗运动与热运动的比较

	扩散现象	布朗运动	热运动
运动主体	分子（约 10^{-10}m）	固体微小颗粒（10^{-7}m-10^{-6}m）	分子（约 10^{-10}m）
区别	是分子的运动，发生在固体、液体、气体任何两种物质之间	是比分子大得多的颗粒的运动，只能在液体、气体中发生	是分子的运动，不能通过光学显微镜直接观察到
共同点	(1)都是无规则运动；(2)都随温度的升高而更加激烈		
联系	扩散现象直接反映了分子做无规则的热运动； 布朗运动间接反映了液体或气体分子做无规则的热运动		

【精选例题】

【例 1】下列现象中不能直接说明分子做无规则运动的是（　　）

A．香水瓶打开盖，香味充满房间

B．悬浮在水中的花粉微粒的运动

C．糖放入水中，一会儿整杯水变甜了

D．衣箱里卫生球不断变小，衣服充满卫生球味

【例 2】（多选题）利用分子动理论对下列相关物理现象的解释正确的是（　　）

A．高压下油会透过钢壁渗出，说明分子是不停运动着的

B．水和酒精混合后总体积减小，说明分子间有空隙

C．存放过煤的混凝土地面下一定深度内有黑色颗粒，说明煤分子在做无规则的热运动

D．在一杯热水中放几粒盐，整杯水很快会变咸，这是盐分子在高温下无规则运动加剧的结果

【跟踪训练】

1．对分子的热运动的理解，下列叙述正确的是（　　）

A．气体分子的热运动不一定比液体分子剧烈

B．分子的热运动就是布朗运动

C．分子的热运动是分子的无规则运动，同种物质分子的热运动剧烈程度一定相同

D．物体运动的宏观速度越大，其内部分子的热运动就越剧烈

2．茶道文化起源于中国，是一种以茶修身的生活方式。东坡有诗云“一勺励清心，酌水谁含出世想。”下列关于泡茶中的物理现象的说法正确的是（　）



A．泡茶时，开水比冷水能快速泡出茶香，是因为温度越高分子热运动越剧烈

B．放入茶叶后，水的颜色由浅变深，是布朗运动现象

C．泡茶过程中洒漏在茶托上的茶水可被茶托快速吸收，说明茶水与茶托间是不浸润的

D．打碎的茶杯不能拼接复原，说明分子间不存在作用力

题型六：扩散现象与布朗运动

【精选例题】

【例 1】关于布朗运动和扩散现象，下列说法中正确的是（　　）

A．布朗运动和扩散现象都能在气体、液体、固体中发生

B．布朗运动和扩散现象都是分子运动

C．布朗运动和扩散现象都是温度越高越明显

D．布朗运动和扩散现象都可以用肉眼直接观察

【例 2】关于分子热运动和布朗运动，下列说法正确的是（　　）

A．布朗运动是指在显微镜中看到的液体分子的无规则运动

B．布朗运动反映了悬浮在水中的花粉分子的无规则运动

C．温度相同时，悬浮在水中的微粒越小，其布朗运动越明显

D．当物体温度达到 0℃时，物体分子会停止热运动

【例 3】如图描绘了一颗悬浮微粒受到周围液体分子撞击的情景，以下关于布朗运动的说法正确的是（　　）

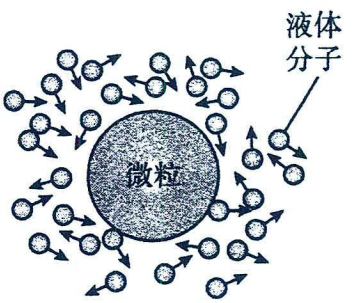
A．悬浮微粒越大，液体分子撞击作用的不平衡性表现得越明显

B．布朗运动就是液体分子的无规则运动

C．悬浮微粒的无规则运动，是悬浮微粒分子的无规则运动的结果

D．液体温度越高，悬浮微粒运动越剧烈

E．物体温度改变时布朗运动的剧烈程度不一定改变



【跟踪训练】

1．（多选题）关于扩散现象和布朗运动，下列说法正确的是（　　）

A．扩散现象表明分子在做永不停息的热运动　　B．液体中的扩散现象是由液体的对流形成的

C．时间足够长，布朗运动将会逐渐变慢而停止　　D．布朗运动是永不停息的

E．扩散现象是由物质分子无规则运动产生的　　F．布朗运动是指悬浮在液体中的固体颗粒分子的无规则运动

2．“冷”“热”二词常闻于生活，与之相关的“热现象”无所不在、无时不有，远涉宇宙变迁，近涉高新科技，涵盖所有实际发生的过程。这一宏观现象与系统中大量微观粒子的无规则运动密切联系。下列关于布朗运动和扩散现象说法正确的是（　　）

A．布朗运动就是分子的无规则运动，可用显微镜观察到

B．扩散现象与温度有关，温度越高，扩散现象越明显

C．液体中悬浮颗粒将做直线运动，直到和其他颗粒发生碰撞

D．布朗运动是悬浮在液体中的小颗粒的无规则运动

E．在阳光照射下的教室里，眼睛看到空气中尘埃的运动就是布朗运动

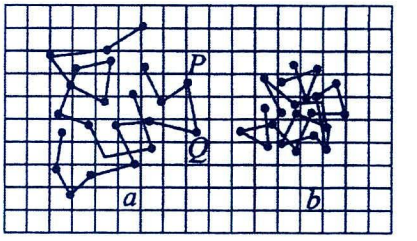
3．某同学用显微镜观察用水稀释的墨汁中两小碳粒 a、b 的运动情况，每隔 30s 把碳粒的位置记录下来，然后用线段把这些位置按时间顺序依次连接起来，得到如图所示的位置连线图。则下列说法中正确的是（　　）

A．若水温相同，则碳粒 b 较大

B．若两碳粒大小相同，则碳粒 a 所处的水中水温更低

C．两颗碳粒运动的位置连线图反映了碳分子的运动是无规则运动

D．碳粒 a 在 P、Q 两点间一定沿直线运动



题型七：生活中的分子热运动

【精选例题】

【例 1】（多选题）对以下物质运动现象的分析正确的是（　　）

①刮风时空气分子的运动；②上升的水蒸气的运动；③用显微镜观察悬浮在水中的小炭粒，小炭粒不停地做无规则运动；④向一杯清水中滴入几滴红墨水，红墨水向周围运动。

A．①②③属于布朗运动　　B．④属于扩散现象

C．只有③属于布朗运动　　D．①②④属于扩散现象

【例 2】（多选题）近期我国多个城市的 PM2.5 数值突破警戒线，受影响最严重的是京津冀地区，雾霾笼罩，大气污染严重。PM2.5 是指空气中直径等于或小于 2.5 微米的悬浮颗粒物，其飘浮在空中做无规则运动，很难自然沉降到地面，吸入后对人体形成危害。矿物燃料燃烧是产生 PM2.5 的主要原因。下列关于 PM2.5 的说法正确的是（　　）

A．PM2.5 的尺寸与空气中氧分子尺寸的数量级相当　　B．PM2.5 在空气中的运动属于布朗运动

C．温度越低，PM2.5 运动越剧烈　　D．PM2.5 中小一些的颗粒一般比其他颗粒运动更为剧烈

【例 3】（多选题）为了减少某病毒传播，人们使用乙醇喷雾消毒液和免洗洗手液，如图所示，两者的主要成分都是酒精，则下列说法正确的是（　　）



免洗洗手液

A．使用免洗洗手液洗手后，手部很快就干爽了，是由于液体分子扩散到了空气中

B．在房间内喷洒乙醇消毒液后，会闻到淡淡的酒味，与分子运动无关

C．在房间内喷洒乙醇消毒液后，会闻到淡淡的酒味，这是酒精分子做布朗运动的结果

D．使用免洗洗手液洗手后，洗手液中的酒精由液体变为同温度的气体的过程中，分子间距与内能均增大

【跟踪训练】

1．（多选题）将一滴碳素墨汁滴在水中，发现经过一段时间碳素墨汁均匀地散开。下列说法正确的是（　）

A．温度越高，碳素墨汁散开所用时间越短

B．在高倍显微镜下看到的炭粒无规则运动是分子热运动

C．温度越高，炭粒的运动越明显

D．炭粒越大，单位时间撞击炭粒的分子数越多，炭粒的运动越明显

E．温度低于冰点时，水分子的无规则运动不会停止

2．图 1 为已剥皮的茶叶蛋，图 2 为显微镜及镜头下悬浮在水中的小碳粒每隔 30s 的位置连线，下列说法正确的是（　）

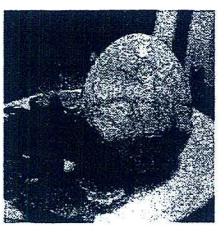


图1

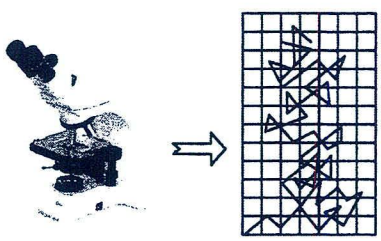


图2

A．剥皮的茶叶蛋外层的棕色纹理，是佐料中的色素分子扩散到蛋清中形成的

B．在 0℃时，色素分子将不再做无规则运动

C．在 30s 的时间间隔内，小碳粒做直线运动

D．布朗运动就是小碳粒内部碳分子的无规则运动

3．半导体掺杂对于半导体工业有着举足轻重的作用，其中一种技术是将掺杂源物质与硅晶体在高温（800 到 1250 摄氏度）状态下接触，掺杂源物质的分子由于热运动渗透进硅晶体，温度越高掺杂效果越显著，下列说法正确的是（　　）

A．硅晶体在熔化时平均分子动能增加

B．这种渗透过程是自发可逆的

C．这种渗透过程是分子的扩散现象

D．温度越高掺杂效果越好是因为温度升高时，所有分子的热运动速率都增加

题型八：分子间作用力

解题要点：

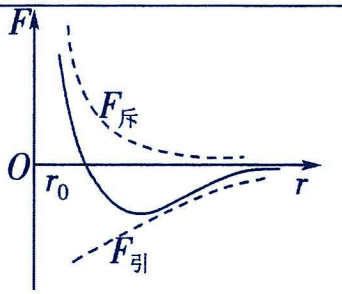
1.分子间存在着相互作用力：分子间同时存在引力和斥力，实际表现的分子力是它们的合力；

2.分子力分析：

(1)宏观角度：物体被压缩时需要一定的外力，表明分子间存在排斥力；物体被拉伸时也需要外力，表明分子间存在相互吸引的力。

(2)微观角度：分子间有间隙，没有仅仅吸在一起，说明分子间存在斥力；分子间存在间隙但大量分子能够聚集形成固体或液体，说明分子间存在引力。

3.分子间的作用力随分子间距离 r 的关系

<table>
<tr><td colspan="2">项目</td><td>分子力 F</td></tr>
<tr><td colspan="2">随分子间距变化图像(r_0：10^{-10}m)</td><td>
</td></tr>
<tr><td rowspan="4">随分子间距的变化情况</td><td>$r<r_0$</td><td>$F_{引}$和 $F_{斥}$都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大，
$F_{引}<F_{斥}$，F 表现为斥力</td></tr>
<tr><td>$r>r_0$</td><td>$F_{引}$和 $F_{斥}$都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大，
$F_{引}>F_{斥}$，F 表现为引力</td></tr>
<tr><td>$r=r_0$</td><td>$F_{引}=F_{斥}$，F=0</td></tr>
<tr><td>$r>10r_0$</td><td>$F_{引}$和 $F_{斥}$都已十分微弱，可以认为 F=0</td></tr>
</table>

【精选例题】

【例 1】（多选题）关于分子力的表述，下列说法正确的是（　）

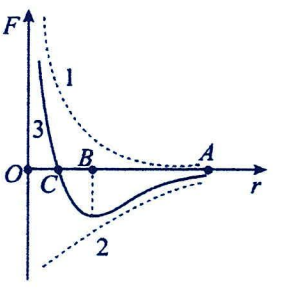
A．固体很难被压缩，说明分子间存在斥力

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，说明分子间引力和斥力不同时存在

【例 2】（多选题）将一个分子 P 固定在 O 点，另一个分子 Q 从图中的 A 点由静止释放，两分子之间的作用力与间距关系的图像如图所示，下列说法正确的是（　　）



A．分子 Q 由 A 运动到 C 的过程中先加速再减速

B．分子 Q 在 C 点时加速度大小为零

C．分子 Q 由 A 点释放后运动到 C 点左侧的过程中，加速度先增大后减小再增大

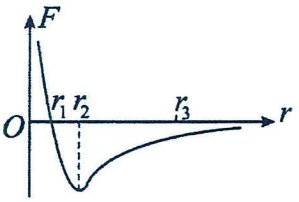
D．该图能表示固、液、气三种状态下分子力随分子间距变化的规律

【例 3】“破镜重圆”真的有可能发生吗？最近，物理学家在实验室观察到了某种金属材料发生的神奇现象：当该金属出现极细小裂纹时，裂纹会在分子力作用下快速自我修复，从而实现了真正的“破镜重圆”。已知分子间平衡距离为r_0。下列说法正确的是（　）

A．裂纹修复过程中裂纹处的分子力做正功　　B．裂纹修复过程中裂纹处的分子势能变大

C．裂纹自我修复现象与热力学第二定律相矛盾

D．当裂纹两边的分子间距大于$10r_0$时，分子间仍有较明显的分子力



【跟踪训练】

1．甲分子固定在坐标原点 O，乙分子位于 r 轴上，甲、乙两分子间作用力与分子间距离关系图像如图所示。现把乙分子从 r_3 处由静止释放，则（　　）

A．乙分子从 r_3 到 r_1 先减速后加速

B．乙分子从 r_3 到 r_2 过程中，两分子间的作用力表现为引力，从 r_2 到 r_1 过程中两分子间的作用力表现为斥力

C．乙分子从 r_3 到 r_1 过程中，分子间的作用力先增大后减小

D．乙分子从 r_3 到距离甲最近的位置过程中，两分子间的作用力先减小后增大

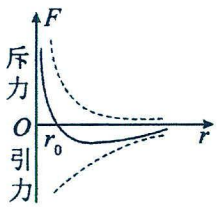
2．（多选题）关于分子间相互作用力，下列说法正确的是（　　）

A．当分子间的距离 $r=r_0$ 时，分子间的作用力可以忽略不计

B．当分子间的距离 $r=r_0$ 时，分子力为零，说明此时分子间既不存在引力，也不存在斥力

C．当分子间的距离 $r<r_0$ 时，随着距离的减小，分子间的引力和斥力都增大，但斥力比引力增大得快，故分子力表现为斥力

D．当分子间的距离 $r>r_0$ 时，随着距离的增大，分子间的引力和斥力都增大，但引力比斥力增大得快，故分子力表现为引力



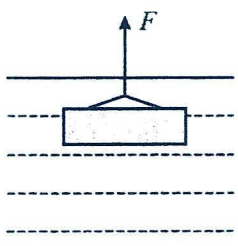
3．（多选题）建设大桥的过程中需要将重达千余吨的钢梁用钢索从水中吊起，为了探究在吊起钢梁过程中钢索的拉力变化，某研究小组做了模拟实验：在始终保持钢板水平的情况下，将钢板用轻绳从水下缓慢吊起，如图甲所示。在该过程中细绳拉力 F 随时间 t 的变化情况如图乙所示，下列说法正确的是（　　）

A．钢板在水面以下时的浮力约为 2.0N

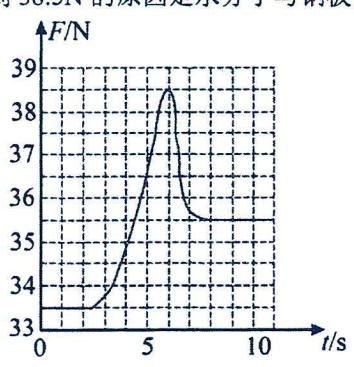
B．在吊起钢板的过程中，钢板所受的拉力始终大于钢板的重力

C．图乙中拉力 F 最大能到 38.5N 的原因是浮力消失

D．图乙中拉力 F 最大能到 38.5N 的原因是水分子与钢板分子之间存在引力



甲



乙

考点二：温标与温度

知识概述：

1.系统：大量分子组成的热力学对象，称为系统。

2.外界：系统以外的其他物体称为外界或者环境；系统与外界之间往往存在相互的作用。

3.状态参量：描述系统状态的物理量叫作系统的状态参量。

物理学中，需要眼界系统的各种性质，包括几何性质、力学性质、热学性质、电磁学性质。

4.三个状态参量：

(1)体积 V：描述系统的几何性质，确定系统的空间范围；、

(2)压强 p：描述系统的力学性质，确定外界与系统之间或系统内各部分之间的作用力；

(3)温度 T：描述系统的热学性质，确定系统的冷热程度。

题型一：平衡态与热平衡

解题要点：

1.平衡态：热力学中的平衡态是一种动态平衡，组成系统的分子让在不停地做无规则运动，只是分子运动的平均效果不随时间变化，表现为系统的宏观性质不随时间变化。

2.平衡态是一种理想情况，因为任何系统完全不受外界影响是不可能的。

3.平衡态的特点：系统压强、温度、体积不发生变化。

4.热平衡：系统达到热平衡的宏观标志为温度相同，若温度不同，即系统处于非平衡态，则系统一定存在热交换。

5.系统达到热平衡，必有一个共同的热学性质——温度。

6.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间也比处于热平衡。

7.平衡态与热平衡：平衡态是对某一个系统而言；热平衡是对两个接触的系统而言。

8.分别处于平衡态的两个系统在相互接触时，它们的状态可能发生变化，直至温度相同达到热平衡，此时两个系统均处于平衡态。

【精选例题】

【例 1】（多选题）热力学系统的平衡态是一种（　　）

A．定态平衡　　B．动态平衡　　C．分子已经不动　　D．分子仍做无规则运动

【例 2】下列关于系统是否处于平衡态的说法正确的是（　　）

A．开空调 1min 内教室内的气体处于平衡态

B．两个温度不同的物体相互接触时，这两个物体组成的系统处于非平衡态

C．0℃的冰水混合物放入 1℃的环境中，冰水混合物处于平衡态

D．压缩密闭容器中的空气，空气处于平衡态

【例 3】下列对热平衡的理解，正确的是（　　）

A．标准状况下冰水混合物与 0℃的水未达到热平衡

B．A、B 两系统分别与 *C* 系统达到热平衡，则 A、B 两系统也达到了热平衡

C．一个系统处于平衡态时，它与其他系统也就达到了热平衡

D．热平衡时，两系统的温度相同，压强、体积也一定相同

【例 4】（多选题）下列各系统处于平衡态的是（　　）

A．放在 0℃的房间里的密闭导热容器中的冰水混合物

B．静止在沸水中足够长时间的铜块

C．刚刚放在教室中的一杯热水和一杯加较多冰块的可乐

D．放在恒温房间中很久的密闭导热容器中的 84 消毒液

【例 5】（多选题）下列有关热平衡的说法，不正确的是（　　）

A．如果两个系统在某时刻处于热平衡状态，则这两个系统永远处于热平衡状态

B．热平衡定律只能研究三个系统的问题

C．如果两个系统彼此接触而不发生状态参量的变化，这两个系统又不受外界影响，那么这两个系统一定处于热平衡状态

D．两个处于热平衡状态的系统，温度可以有微小的差别

【跟踪训练】

1．关于热平衡，下列说法错误的是（　　）

A．用温度计测量温度是根据热平衡的原理

B．温度相同的棉花和石头相接触，需要经过一段时间才能达到热平衡

C．若 a 与 b、c 分别达到热平衡，则 b、c 之间也达到了热平衡

D．两物体温度相同，可以说两物体达到了热平衡

2．（多选题）两个原来处于热平衡状态的系统分开后，由于外界的影响，其中一个系统的温度升高了 5K，另一个系统温度升高了 5℃，则下列说法不正确的是（　　）

A．两个系统不再是热平衡系统了　　B．两个系统仍处于热平衡

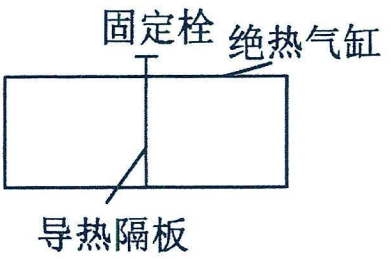
C．两个系统的状态都发生了变化　　D．两个系统的状态没有变化

3．下列说法正确的是（　　）

A．处于热平衡的两个物体内能一定相等　　B．处于热平衡的两个物体分子平均动能一定相等

C．处于平衡态的系统所受外力的合力为零　　D．处于平衡态的系统内所有分子的动能相同

4．（多选题）如图所示，绝热汽缸中间用固定栓将可无摩擦移动的导热隔板固定，隔板质量不计，左、右两室分别充有一定量的氢气和氧气（均视为理想气体）。初始时，两室气体的温度相等，氢气的压强大于氧气的压强，松开固定栓直至系统重新达到平衡，下列说法正确的是（　　）



A．初始时氢分子的平均动能大于氧分子的平均动能

B．系统重新达到平衡时，氢气的内能比初始时的小

C．系统重新达到平衡时，两者温度相同，等于初始值

D．松开固定栓直至系统重新达到平衡的过程中有热量从氧气传递到氢气

E．松开固定栓直至系统重新达到平衡的过程中，氧气的内能先增加后减少

5．（多选题）下列关于热平衡定律的理解，说法正确的是（　　）

A．两系统的温度相同时，才能达到热平衡

B．A、B 两系统分别与 C 系统达到热平衡，则 A、B 两系统也达到热平衡

C．甲、乙、丙物体温度不相等，先把甲、乙接触，最终达到热平衡，再将丙与乙接触最终也达到热平衡，则甲、丙是处于热平衡的

D．热平衡时，两系统的温度相同，压强、体积也一定相同

E．温度是决定两个系统是否达到热平衡状态的唯一物理量

题型二：温度计与温标

解题要点：

1.温度

(1)温度在宏观上表示物体的冷热程度，在微观上表示分子的平均动能。

(2)温度是决定一个系统与另一个系统是否达到热平衡状态的物理量，一切达到热平衡的系统都具有相同的温度。

2.两种温标

(1)摄氏温标和热力学温标的比较：两种温标温度的零点不同，同一温度两种温标表示的数值不同，

但它们表示的温度间隔是相同的，即每一度的大小相同，$\Delta t=\Delta T$。

(2)关系：$T=t+273.15K$。

3.温度计：测量温度的仪器。

(1)水银温度计：根据水银的热胀冷缩的性质来测量温度；

(2)金属电阻温度计：根据金属铂的电阻随温度的变化而变化的原理来测量温度。

【精选例题】

【例 1】（多选题）关于温度与温标，下列说法正确的是（　　）

A．摄氏温标和热力学温标是温度的两种不同的表示方法

B．摄氏温度与热力学温度都可以取负值

C．摄氏温度升高3℃，在热力学温标中温度升高276.15K

D．热力学温度升高3K与摄氏温度升高3℃是等效的

【例 2】关于热力学温度和摄氏温度，以下说法错误的是（　　）

A．热力学温度的单位“K”是国际单位制中的基本单位

B．0℃的温度可用热力学温度粗略地表示为 273K

C．温度升高了 1℃就是升高了 1K

D．热力学温度和摄氏温度的温标不同，两者表示的温度无法比较

【例 3】小明自定一种新温标p，他将冰熔点与水沸点之间的温度等分为 200 格，且将冰熔点的温度定为$50p$（上述皆为标准大气压下），今小明测量一杯水的温度为$150p$时，则该温度用摄氏温标表示时应为（　　）

A．30℃　　B．40℃　　C．50℃　　D．60℃

【例 4】（多选题）下列说法正确的是（　　）

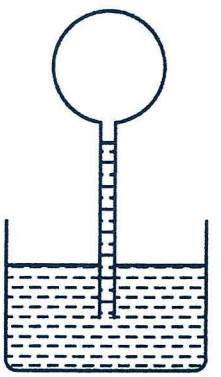
A．温度计测温原理就是热平衡定律

B．温度计与被测系统的温度不相同时，读不出示数

C．温度计读出的示数是它自身这个系统的温度，若它与被测系统热平衡，这一示数也是被测系统的温度

D．温度计读出的示数总是被测系统的温度，无论是否达到热平衡

【例 5】（多选题）伽利略在 1593 年制造了世界上第一个温度计——空气温度计，如图所示，一个细长颈的球形瓶倒插在装有红色液体的槽中，细管中的液面清晰可见，如果不考虑外界大气压的变化，就能根据液面的变化测出温度的变化，则（　　）



A．该温度计的测温物质是槽中的液体

B．该温度计的测温物质是细管中的红色液体

C．该温度计的测温物质是球形瓶中的空气

D．该温度计是利用测温物质的热胀冷缩的性质制造的

【跟踪训练】

1．下列说法中正确的是（　　）

A．0K 即 0℃　　B．热量不可能自发地从内能少的物体传到内能多的物体

C．温度高的物体其内能一定大　　D．温度是大量分子热运动剧烈程度的宏观反映

2．气体初始温度为 27℃，升高了 20℃。用热力学温标表示为（　　）

A．初始温度为 27K，升高了 20K　　B．初始温度为 300.15K，升高了 20K

C．初始温度为 27K，升高了 293.15K　　D．初始温度为 300.15K，升高了 293.15K

3．（多选题）关于温度、热平衡、内能的概念，下列说法中正确的是（ ）

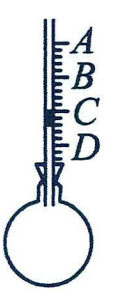
A．物体温度升高，则物体的分子平均动能一定增大

B．物体温度升高 1℃相当于升高了 273.15K

C．只要两物体的质量、温度、体积相等，两物体的内能一定相等

D．一切达到热平衡的系统都具有相同的温度

4．温度计是生活、生产中常用的测量装置．右图为一简易温度计，一根装有一小段有色水柱的细玻璃管穿过橡皮塞插入烧瓶内，封闭一定质量的气体．当外界温度发生变化时，水柱位置将上下变化．已知 A、D 间的测量范围为 20℃—80℃，A、D 间刻度均匀分布．由图可知，A、D 及有色水柱下端所示温度分别为（ ）



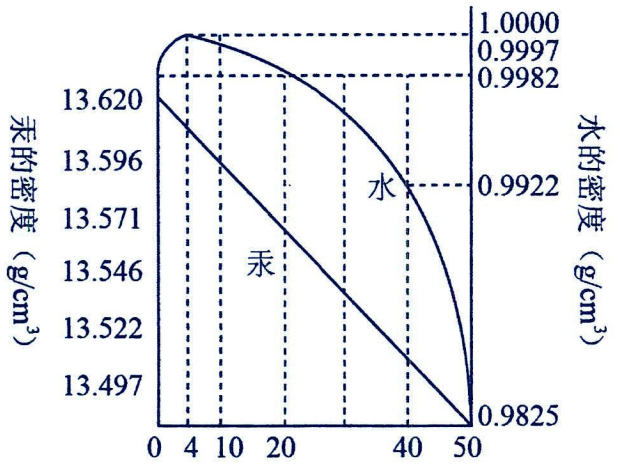
A．20℃、80℃、64℃　　B．20℃、80℃、68℃

C．80℃、20℃、32℃　　D．80℃、20℃、34℃

5．根据图判断，人们选择的温度计中的测量物质及其依据是（　　）

A．水，水的密度小　　B．水，水的密度出现异常现象

C．汞，汞的密度大　　D．汞，汞的密度与温度呈规则的线性关系



水和汞的密度随温度的变化

考点三：内能

题型一：分子动能

解题要点：

1.分子动能

(1)分子动能是分子热运动所具有的动能（无规律）；

(2)分子热运动的平均动能是所有分子热运动动能的平均值（统计学规律）；

(3)温度是分子平均动能的标志；相同温度的任何物体，分子的平均动能相同，平均速率不一定相等；

(4)分子平均动能宏观表达式：$\overline{E_k}=\frac{3}{2}kT$（k：玻尔兹曼常数）；微观表达式：$\overline{E_k}=\frac{1}{n}\sum_1^n\frac{1}{2}mv_i^2$；

(5)分子热运动的总动能是物体内所有分子热运动动能的总和。

2.分子势能

(1)由于分子间存在着引力和斥力，所以分子具有由它们的相对位置决定的能，即分子势能。

分子势能的定义

(2)分子势能的决定因素：①在宏观上分子势能与物体体积有关；②在微观上与分子间的距离有关。

(3)分子势能与分子间距离的关系与变化曲线

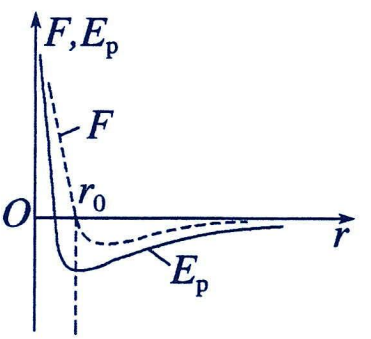
分子间的作用力 F、分子势能 E_p 与分子间距离 r 的关系图线如图所示(取无穷远处分子势能 $E_p=0$)。

①当 $r>r_0$ 时，分子间的作用力表现为引力，当 r 增大时，分子间的作用力做负功，分子势能增大；

②当 $r<r_0$ 时，分子间的作用力表现为斥力，当 r 减小时，分子间的作用力做负功，分子势能增大；

③当 $r=r_0$ 时，分子势能最小。

备注：推导势能图时，利用分子间作用力做功来判断势能变化，且需从无穷远处往 O 点判断。假使 O 点固定一个分子，将另一个分子从正无穷远处沿 r 轴负方向往 O 点移动，分子间作用力先做正功，势能减小，后做负功，势能增加。因此当 r=0 时，分子势能最小。



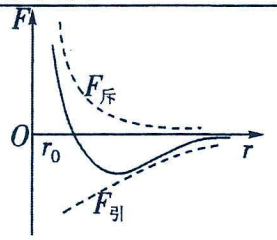
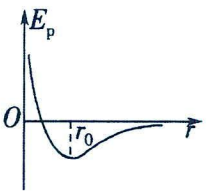
3.判断分子势能变化的 3 种方法

(1)根据分子力做功判断。分子力做正功，分子势能减小；分子力做负功，分子势能增加。

(2)利用分子势能与分子间距离的关系图线判断。但要注意此图线和分子力与分子间距离的关系图线形状虽然相似但意义不同，不要混淆。

(3)与弹簧类比。弹簧处于原长时($r=r_0$)弹性势能最小，在此基础上：$r\uparrow\Rightarrow E_p\uparrow$，$r\downarrow\Rightarrow E_p\uparrow$。

4.分子势能与分子力的对应关系

项目		分子力 F	分子势能 E_p
随分子间距变化图像 (r_0：10^{-10}m)			
随分子间距的变化情况	$r<r_0$	$F_{引}$和 $F_{斥}$都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大，$F_{引}<F_{斥}$，F 表现为斥力	r 增大，分子力做正功，分子势能减小；r 减小，分子力做负功，分子势能增加
	$r>r_0$	$F_{引}$和 $F_{斥}$都随距离的增大而减小，随距离的减小而增大，$F_{引}>F_{斥}$，F 表现为引力	r 增大，分子力做负功，分子势能增加；r 减小，分子力做正功，分子势能减小
	$r=r_0$	$F_{引}=F_{斥}$，$F=0$	分子势能最小，但不为零
	$r>10r_0$	$F_{引}$和 $F_{斥}$都已十分微弱，可以认为 $F=0$	分子势能为零

【精选例题】

【例 1】山城重庆也有传统“火炉”之称，2024 年 7 月多地直逼 40℃，甚至高于 40℃。下列关于重庆某区域大气（可视为理想气体）在升温、气压减小过程中的说法，正确的是（　　）

A．每个大气分子的速率都将增大　　B．每个大气分子的速率都将减小

C．大气分子的平均动能减小　　D．大气分子的平均动能增大

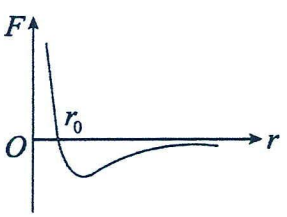
【例 2】（多选题）两分子间的斥力和引力的合力 F 与分子间距离 r 的关系如图中曲线所示，曲线与 r 轴交点的横坐标为 r_0，相距很远的两分子在分子力作用下，由静止开始相互接近。若两分子相距无穷远时分子势能为零，下列说法正确的是（　　）

A．在 $r>r_0$ 阶段，F 做正功，分子动能增加，势能减小

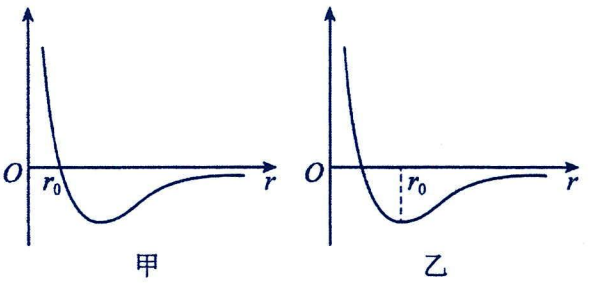
B．在 $r<r_0$ 阶段，F 做负功，分子动能减小，势能也减小

C．在 $r=r_0$ 时，分子引力和分子斥力不存在

D．在 $r>r_0$ 阶段，分子力先变大后变小



【例 3】分子间作用力 F、分子势能 E_p 与分子间距离 r 的关系图线如图甲、乙两条曲线所示（取无穷远处分子势能 $E_p=0$）下列说法正确的是（　　）



甲　　乙

A．甲图线为分子势能与分子间距离的关系图线

B．当 $r>r_0$ 时，随距离增大，分子间作用力做正功

C．当 $r>r_0$ 时，分子间作用力表现为引力

D．随着分子间距离从接近于零开始增大到无穷远，分子间作用力先减小后增大

【跟踪训练】

1．下列关于分子动理论的一些说法，正确的是（　　）

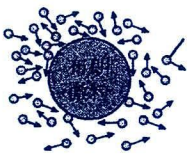
A．布朗运动是指悬浮在液体中的微粒分子的无规则运动

B．给自行车车胎打气，最后气体很难被压缩，说明分子间存在斥力

C．当分子间的距离增大时，分子间的引力增大而斥力减小

D．同温度的氧气和氢气，它们的分子平均动能相等

2．关于下面热学中的几张图片所涉及的相关知识，描述正确的是（　　）

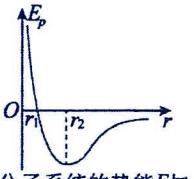

液体分子

甲



铝块与金块叠在一起

乙



两分子系统的势能E_p与两分子间距离r的关系

丙

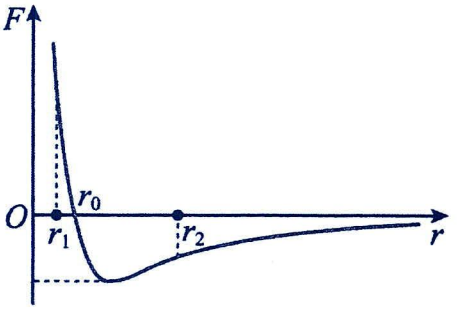
A．图甲中，微粒越大，单位时间内受到液体分子撞击次数越多，布朗运动越明显

B．图乙说明固体间也能发生扩散现象

C．由图丙可知，在 r 由 r_1 变到 r_2 的过程中分子力做负功

D．图丙中分子间距为 r_1 时的分子力比分子间距为 r_2 时的分子力小

3．分子间作用力 F 与分子间距 r 的关系如图所示。某空间有 A、B 两个分子，假设 A 分子固定在坐标原点 O 处，B 分子从无穷远以某一初速度向 A 分子运动。规定两分子相距无穷远时分子势能为零。仅考虑这两个分子间的作用，下列说法正确的是（　　）



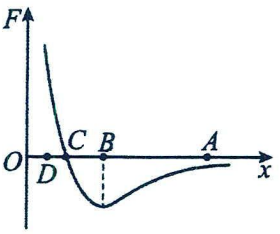
A．B 分子从 r_2 到 r_1 的运动过程中，分子间作用力先增大再减小

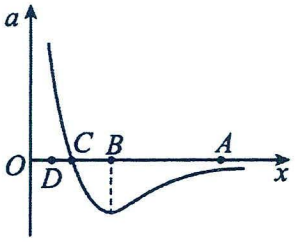
B．B 分子从 r_2 到 r_1 的运动过程中，分子势能先增大再减小

C．B 分子从 r_2 到 r_1 的运动过程中，B 分子的分子动能先增大再减小，$r=r_0$ 时动能最大

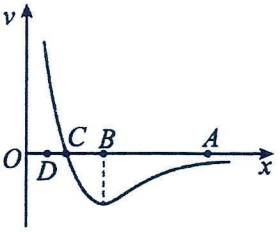
D．B 分子从 r_2 到 r_1 的运动过程中，B 分子先做加速度增大的加速运动再做加速度减小的减速运动

4. （多选题）如图所示，将甲分子固定在坐标原点O，乙分子位于x轴上，甲分子对乙分子的作用力与两分子间距离的关系如图中曲线所示。$F>0$表示作用力表现为斥力，$F<0$表示作用力表现为引力，A、B、C、D为x轴上四个特定的位置，现把乙分子从A处由静止释放，设两分子间距离很远时，$E_p=0$。下列选项中分别表示乙分子的加速度、速度、动能、势能与两分子间距离的关系，其中一定不正确的是（　　）

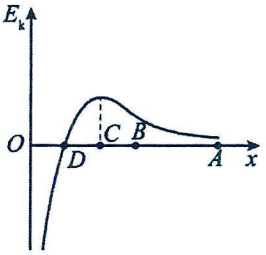




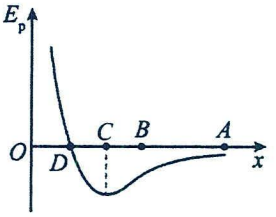
A



B



C



D

题型二：内能

解题要点：

1.物体的内能

(1)定义：物体中所有分子的热运动动能和分子势能的总和。

(2)决定因素：温度、体积和物质的量。

(3)影响因素：物体的内能与物体的位置高低、运动速度大小无关。

(4)改变物体内能的两种方式：做功和传热。

(5)内能不可能为零

2.分子动能、分子势能、内能、机械能的比较

能量	分子动能	分子势能	内能	机械能
定义	分子无规则运动的动能	由分子间相对位置决定的势能	所有分子热运动的动能和分子势能的总和	物体的动能、重力势能和弹性势能的总和
决定因素	温度(决定分子热运动的平均动能)	分子间距	温度、体积、物质的量	跟宏观运动状态、参考系和零势能点的选取有关
量值	不可能为零	可能为零	恒不为零	可能为零
测量	无法测量	无法测量	无法测量	可以测量
备注	温度、内能等物理量只对大量分子才有意义，对单个或少量分子没有实际意义			

3.分析物体内能问题的4点提醒

(1)任何物体都具有内能，恒不为零；

(2)任何物体均具有内能，但无法测量内能是对物体的大量分子而言的，对于单个分子的内能没有意义；

(3 决定物体内能大小的因素：物质的量、温度、体积以及物质状态；

(4))内能由物体内部分子微观运动状态决定，与物体整体运动情况无关。

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列关于热量、功和内能的说法正确的是（　　）

A．热量、功都可以作为物体内能的量度　　B．热量、功都可以作为物体内能变化的量度

C．热量、功、内能的单位相同　　D．热量和功是由过程决定的，而内能是由物体状态决定的

【例 2】关于物体的内能，下列说法正确的是（　　）

A．物体内部所有分子动能的总和叫作物体的内能　　B．一定质量的理想气体放出热量，它的内能可能增加

C．温度低的物体内能小　　D．外界对物体做功时，物体的内能一定增加

E．温度低的物体分子运动的平均动能小

F．一定质量的100℃的水吸收热量后变成100℃的水蒸气，则吸收的热量大于增加的内能

【例 3】（多选题）关于物体的内能，下述说法中正确的是（　　）

A．物体的内能只与物体内分子的动能有关

B．物体内所有分子的热运动动能与分子势能的总和叫物体的内能

C．一个物体，当它的机械能发生变化时，其内能也一定发生变化

D．一个物体内能的多少与它的机械能多少无关

【例 4】关于内能，下列说法正确的是（　　）

A．布朗运动与温度没有关系

B．温度相等的物体的内能一定相等

C．内能不同的物体，它们分子热运动的平均动能可能相同

D．一个木块被举高，组成该木块的所有分子的分子势能都增大

【例 5】（多选题）关于物体的内能，下列说法中正确的是（　　）

A．物体的内能就是组成该物体的所有分子热运动动能的总和

B．一定量 100℃的水变成 100℃的水蒸气，其分子平均动能不变

C．一定量的 0℃ 的水结成 0℃ 的冰，内能减小

D．一定质量的理想气体从外界吸收热量后，其内能一定增加

【例 6】关于质量相同的 0℃的水和 0℃的水蒸气，下列说法中正确的是（　　）

A．分子数相同，分子平均动能不同，分子势能相同，内能不相同

B．分子数相同，分子平均动能不同，分子势能不同，内能不相同

C．分子数相同，分子平均动能相同，分子势能不同，内能不相同

D．分子数不同，分子平均动能相同，分子势能不同，内能不相同

【跟踪训练】

1．（多选题）下列说法正确的是（　　）

A．分子的动能与分子的势能的和叫做这个分子的内能　　B．物体的分子势能由物体的温度和体积决定

C．物体的速度增大时，物体的内能可能减小　　D．物体做减速运动时其温度可能增加

2．关于热学中的一些基本概念，下列说法正确的是（　　）

A．0℃的水变成0℃的冰时，分子势能增大　　B．物体是由大量分子组成的

C．同温度的氧气和氢气，它们的分子平均动能不相等，是因为分子的质量不相等

D．内能是物体中所有分子热运动所具有的动能的总和

3．关于热学的基本概念，下列说法正确的是（　　）

A．物体的温度升高，内能一定增大

B．两个系统处于热平衡时，它们具有一个共同的性质——内能相同

C．水和酒精混合后总体积减小，说明分子间有空隙

D．盛有气体的容器做加速运动时，容器中气体的内能必定会随之增大

4．关于分子动理论和物体的内能，下列说法正确的是（　　）

A．温度高的物体的平均动能一定大，内能也一定大

B．当分子间距增大时，分子间的作用力减小

C．当分子间的作用力表现为斥力时，分子势能随分子间距的减小而增大

D．当物体的体积增大时，物体的内能一定增大

E．气体吸收热量时，其分子的平均动能一定增大

F．理想气体的内能只与温度有关

5．（多选题）下列关于内能和机械能的说法正确的是（　　）

A．内能和机械能各自包含动能和势能，因此，它们在本质上是一样的　　B．静止物体的内能为零

C．一个物体的机械能为零时，它的内能一定不为零　　D．物体的机械能变化时，它的内能可以保持不变

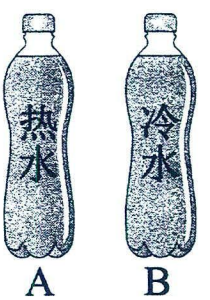
6．体积相同的玻璃瓶A、B分别装满温度为60℃的热水和0℃的冷水（如图所示），下列说法正确的是（　　）

A．由于温度是分子平均动能的标志，所以A瓶中水分子的平均动能比B瓶中水分子的平均动能小

B．由于温度越高，布朗运动越显著，所以A瓶中水分子的布朗运动比B瓶中水分子的布朗运动更显著

C．若把A、B两玻璃瓶并靠在一起，则A、B瓶内水的内能都将发生改变，这种改变内能的方式叫热传递

D．由于A、B两瓶水的体积相等，所以A、B两瓶中水分子的平均距离相等



第二讲：气体

考点一：分子运动特点

解题要点：

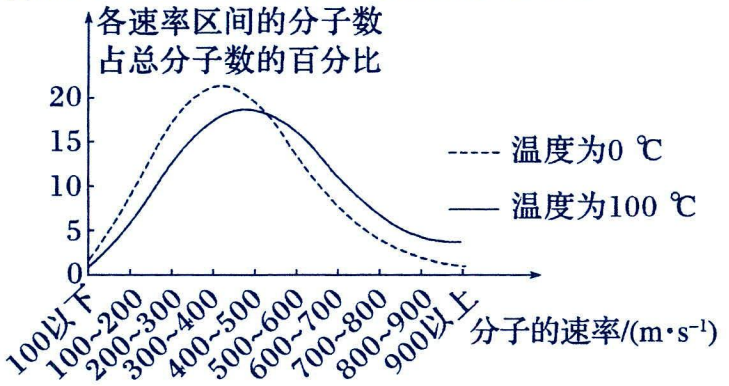
1.气体分子运动的特点

(1)当气体分子间距离大约是分子直径的 10 倍时，分子间作用力十分微弱，可忽略不计，因此可以认为气体分子间除碰撞外不受其他力的作用，分子沿各个方向运动的机会均等，故气体能充满整个空间。

(2)分子做无规则的运动，速率有大有小，且时而变化，大量分子的速率按“中间多，两头少”的规律分布。

(3)温度升高时，速率小的分子数减少，速率大的分子数增多，分子的平均速率将增大，但速率分布规律不变。

(4)综合可得气体分子运动的速率分布图像，如下图。



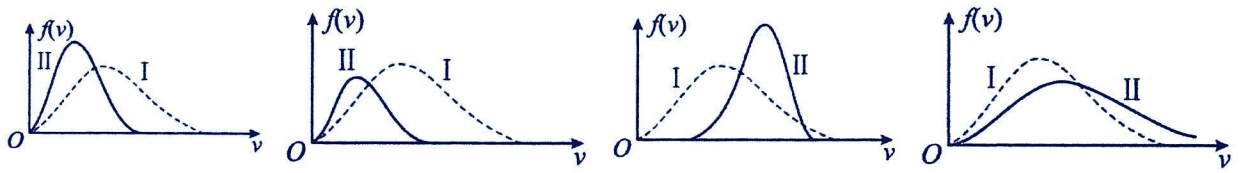
(5)通过定量分析可知，理想气体的热力学温度与分子平均动能成正比：$T=aE_k$，a 为比例常数，即表明温度是分子平均动能的标志。

(6)相同温度下，不同气体(如氧气、氢气)的平均动能相同，但由于分子质量不同，因此分子平均速率不同。

题型一：分子运动的速率分布图

【精选例题】

【例 1】汽车行驶发生剧烈颠簸时，缸内气体体积快速变化。若将某次快速压缩过程视为绝热过程。如图，I为压缩前氮气分子热运动的速率分布曲线，则压缩后氮气分子热运动的速率分布曲线II可能为（　）



A　　B　　C　　D

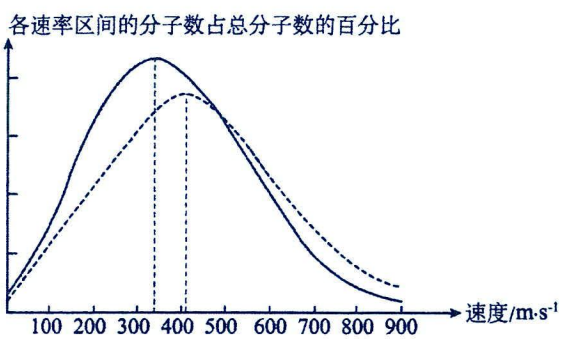
【例 2】如图所示为氧气分子在0°C和100°C下的速率分布曲线，由图可知下列说法中正确的是（　　）

A．实线对应氧气温度为100°C的情形

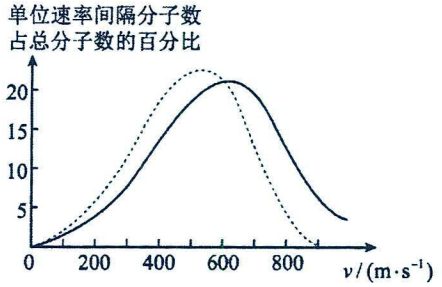
B．虚线对应氧气分子平均动能较小的情形

C．0°C时速率在 300～400m/s 之间的氧气分子最多

D．0°C的氧气中速率大的分子所占的比例比100°C的氧气多



【例 3】（多选题）研究表明，大量气体分子整体的速率分布遵从一定的统计规律。图为氧气分子在 0℃和 100℃两种温度下的速率分布情况，下列说法正确的是（　）



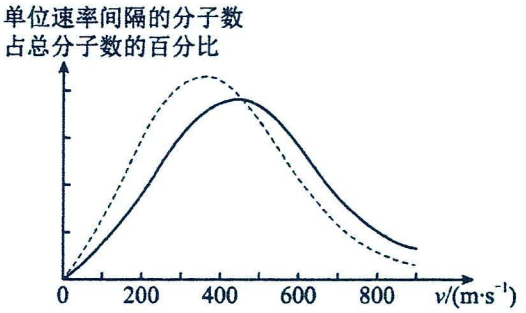
A．各温度下，氧气分子的速率分布都呈现“中间少、两头多”的分布规律，且温度升高使得速率较小的氧气分子数所占的比例变小

B．图中虚线对应氧气分子在 100℃时的情形

C．0℃和 100℃对应的曲线与横轴围成的面积相等

D．在 100℃时，氧气分子平均动能更大

【例 4】（多选题）氧气分子在0℃和100℃温度下各速率区间的分子数占总分子数的百分比随气体分子速率的变化分别如图中两条曲线所示。下列说法正确的是（　　）



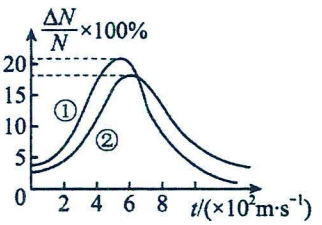
A．图中两条曲线下面积相等

B．随着温度的升高，每一个氧气分子的速率都增大

C．图中实线对应氧气分子在100℃时的情形

D．与0℃时相比，100℃时氧气分子速率出现在0～400m/s区间内的分子数占总分子数的百分比较大

【例 5】氧气分子在不同温度下的速率分布规律如图所示，横坐标表示速率，纵坐标表示某一速率的分子数占总分子数的百分比，由图可知（　　）



A．在②状态下，分子速率小的分子占比相对较大

B．两种状态氧气分子的平均速率相等

C．随着温度的升高，氧气分子中速率小的分子所占的比例增大

D．①状态的温度比②状态的温度低

【跟踪训练】

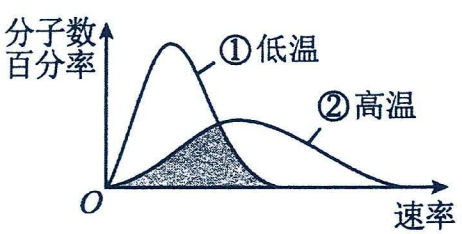
1．气体的分子都在做无规则的运动，但大量分子的速率分布却有一定的规律性，如图，下列说法正确的是（　）

A．高温状态下分子速率大小的分布范围相对较小

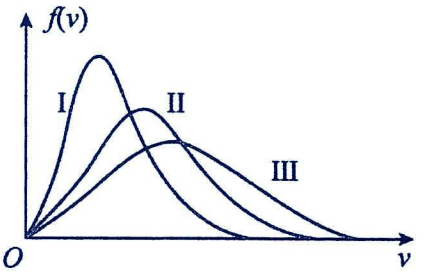
B．高温状态下最多数分子对应的速率大于低温状态下最多数分子对应的速率

C．高温状态下每个分子的速率大于低温状态下所有分子的速率

D．在一定温度下，大多数分子的速率都接近某个数值，其余少数分子的速率都小于该数值



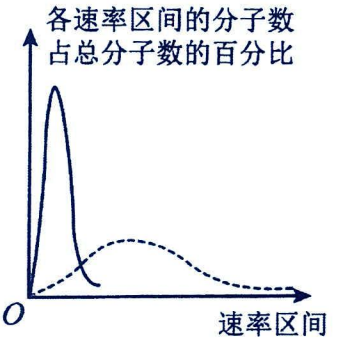
2. 某种气体在不同温度下的气体分子速率分布情况如图，图中$f(v)$表示速率为v的分子数占总分子数的百分比，曲线I、II、III所对应的温度分别为T_{I}、T_{II}、T_{III}，则T_{I}、T_{II}、T_{III}的关系为（　）



A．$T_{\mathrm{I}}>T_{\mathrm{II}}>T_{\mathrm{III}}$　　B．$T_{\mathrm{III}}>T_{\mathrm{II}}>T_{\mathrm{I}}$

C．$T_{\mathrm{II}}>T_{\mathrm{I}}$，$T_{\mathrm{II}}>T_{\mathrm{III}}$　　D．$T_{\mathrm{I}}=T_{\mathrm{II}}=T_{\mathrm{III}}$

3. 尽管分子做无规则运动，速率有大有小，但大量分子的速率却按一定的规律分布。如图所示，横坐标表示分子的速率区间，纵坐标表示各速率区间的分子数占总分子数的百分比，图中两条曲线分别表示两种理想气体在同一温度下的分子速率分布情况，则（　　）



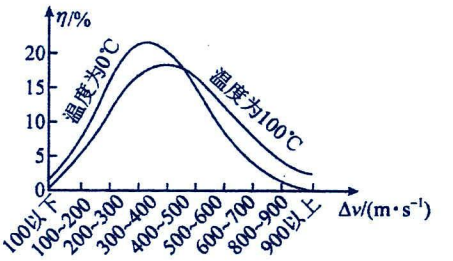
A．图中实线对应气体分子平均动能较大的情形

B．图中实线对应气体分子质量较大的情形

C．图中虚线对应气体分子平均速率较小的情形

D．图中两条曲线与横轴所围图形的面积中实线所围图形的面积大于虚线所围图形的面积

4．一定量气体在0℃和100℃温度下的分子速率分布规律如图所示。横坐标Δv表示分子速率区间，纵坐标η表示各速率区间内的分子数占总分子数的百分比，以下对该图像的解读正确的是（　）



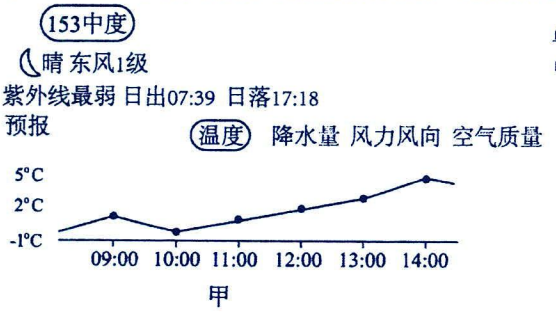
A．100℃时气体分子的最高速率约为400m/s

B．任意分子在0℃时的速率一定小于100℃时的速率

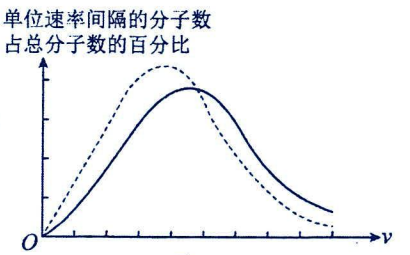
C．温度升高时，η最大处对应的速率增大

D．温度升高时，每个速率区间内分子数的占比都增大

5．（多选题）某地某天的气温变化趋势如图甲所示，细颗粒物（PM2.5等）的污染程度为中度，出现了大范围的雾霾。在11：00和14：00的空气分子速率分布曲线如图乙所示，横坐标v表示分子速率，纵坐标表示各速率区间的分子数占总分子数的百分比。下列说法正确的是（　）



甲



乙

A．细颗粒物在大气中的漂移是布朗运动

B．9：00时的空气分子平均速率比10：00时的大

C．图乙中实线表示14：00时的空气分子速率分布曲线

D．单位时间内空气分子对细颗粒物的平均撞击次数，14：00时比12：00时多

考点二：压强

题型一：压强的微观解释

解题要点：

1.气体压强

(1)产生的原因：由于大量分子无规则运动而碰撞器壁，形成对器壁各处均匀、持续的压力，作用在器壁单位面积上的压力叫作气体的压强。

(2)单位：帕斯卡(Pa)，标准大气压(atm)；厘米汞柱(cmHg)。1atm=76cmHg=1.013×10^5Pa。

(3)决定因素(一定质量的某种理想气体)

①宏观上：决定于气体的温度和体积；　　②微观上：决定于分子的平均动能和分子的密集程度。

在分子数密度一定时，分子的平均动能越大，分子碰撞器壁产生的作用力越大，气体的压强就越大；

在分子平均动能一定时，气体分子越密集，每秒碰撞器壁单位面积的分子数越多，气体压强越大。

(4)气体压强的微观表达式：$p=\frac{2}{3}\cdot n\cdot\overline{E_k}$

$p=N\cdot F_0=nkT$。(F_0：单位体积分子撞击力；n：气体分子密度数；$n=\frac{N}{V}$；k：玻尔兹曼常数，$k=\frac{R}{N_A}$)

【精选例题】

【例 1】对于气体分子热运动服从统计规律，下列理解正确的是（　）

A．大量无序运动的气体分子组成的系统在总体上呈现的规律性，称为统计规律

B．统计规律对所含分子数极少的系统仍适用

C．统计规律可以由数学方法推导出来　　D．统计规律仅适用于气体分子热运动的研究

【例 2】下列关于密闭容器中气体的压强的说法正确的是（　）

A．它是由气体的重力产生的　　B．它是由分子间的相互作用力产生的

C．它是由大量气体分子频繁碰撞器壁产生的　　D．在失重的情况下，密闭容器内的气体对器壁没有压强

【例 3】下列关于气体的说法正确的是（　）

A．由于气体分子运动的无规则性，密闭容器的器壁在各个方向上受到的压强可能会不相等

B．气体的温度升高时，所有的气体分子的速率都增大

C．一定质量的气体体积不变，气体分子的平均速率越大，气体的压强就越大

D．气体的分子数越多，气体的压强就越大

【跟踪训练】

1．下列说法正确的是（　　）

A．布朗运动观察到的是液体分子的无规则运动

B．容器内气体压强是分子无规则运动撞击器壁造成的，故与容器形状有关

C．随着物体运动速度减小，其内能可能增大

D．10℃的氢气分子速率一定比20℃的氢气分子速率小

2．下列说法正确的是（　）

A．气体对器壁的压强就是大量气体分子作用在器壁单位面积上的作用力

B．气体对器壁的压强就是大量气体分子单位时间作用在器壁上的平均作用力

C．气体分子热运动的平均速率减小，气体的压强一定减小

D．单位体积的气体分子数增加，气体的压强一定增大

3．关于气体热现象的微观解释，下列说法正确的是（　）

A．密闭在容器中的气体，在某一时刻向各个方向运动的气体分子数目差别很大

B．大量气体分子的速率有的大有的小，但是按“中间多、两头少”的规律分布

C．气体压强的大小跟气体的质量和气体的种类有关

D．当某一容器自由下落时，容器中气体的压强将变为 0

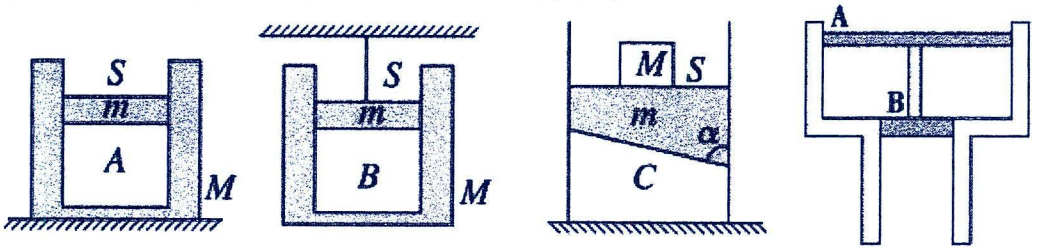
题型二：活塞受力分析与压强计算

解题要点：

1.平衡状态下气体压强的求法

平衡状态	力平衡法	选取与气体接触的液柱(或活塞)为研究对象进行受力分析，得到液柱(或活塞)的受力平衡方程，求得气体的压强
	等压面法	在连通器中，同一种液体(中间不间断)同一深度处压强相等。液体内深 h 处总压强 $p=p_0+\rho gh$，p_0 为液面上方的压强
	液片法	选取假想的液体薄片(自身重力不计)为研究对象，分析液片两侧受力情况，建立平衡方程，消去面积，得到液片两侧压强相等方程，求得气体的压强。
非平衡状态	动力学法	选取与气体接触的液柱(或活塞)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.活塞模型：如图所示是最常见的封闭气体的五种方式。



甲　　乙　　丙　　丁

图甲中活塞的质量为 m，活塞横截面积为 S，外界大气压强为 p_0。由于活塞处于平衡状态，所以 $p_0S+mg=pS$，则气体的压强为 $p=p_0+\frac{mg}{S}$。

图乙中气缸的质量为 M，活塞横截面积为 S，外界大气压强为 p_0。由于气缸处于平衡状态，所以 $p_0S=pS+Mg$，则气体的压强为 $p=p_0-\frac{Mg}{S}$。

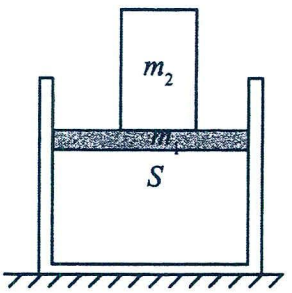
图丙中活塞的质量为 m，物块质量为 M；活塞上侧面横截面积为 S，下侧面横截面积为 $\frac{S}{\sin\alpha}$；外界大气压强为 p_0。由于活塞处于平衡状态，所以 $Mg+mg+p_0S=p\cdot\frac{S}{\sin\alpha}\cdot\sin\alpha$，则气体的压强为 $p=p_0+\frac{mg+Mg}{S}$。

图丁中大活塞 A 的质量为 m_1，横截面积为 S_1，小活塞 B 的质量为 m_2，横截面积为 S_2，外界大气压强为 p_0。由于活塞处于平衡状态，所以 $m_1g+m_2g+p_0S_1+pS_2=p_0S_2+pS_1$，则气体的压强为 $p=p_0+\frac{m_1g+m_2g}{S_1-S_2}$。

注意：活塞形状对气体的压强大小没有影响，解题时可将厚度不同的活塞等效为厚度相同的薄活塞。

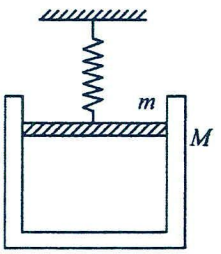
【精选例题】

【例 1】如图，汽缸放置在水平地面上，用质量为m_1、截面积为 S 的活塞封闭一定质量的气体。活塞上放置一个质量为m_2的重物，不计摩擦，重力加速度为 g，大气压强为p_0，平衡时缸内气体的压强为（　　）



A．p_0　　B．$p_0+\frac{m_1g}{S}$　　C．$p_0+\frac{m_2g}{S}$　　D．$p_0+\frac{m_1g+m_2g}{S}$

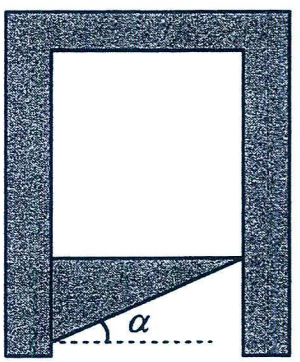
【例 2】如图所示，活塞的质量为 m，缸套的质量为 M，通过弹簧吊在天花板上，气缸内封住一定质量的空气，缸套与活塞无摩擦，活塞截面积为 S，大气压强为p_0，则（　　）



A．气缸内空气的压强等于$p_0-\frac{Mg}{S}$　　B．气缸内空气的压强等于$p_0+\frac{mg}{S}$

C．弹簧对活塞的作用力为Mg　　D．弹簧对活塞的作用力为mg

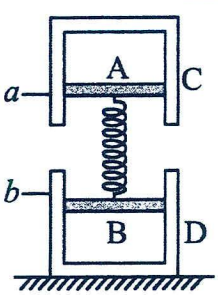
【例 3】如图，活塞质量为 M，上表面横截面积为 S，上表面水平，下表面与水平面成α角，摩擦不计，外界大气压为p_0，则被封闭气体的压强为（重力加速度为g）（　　）



A．$\frac{p_0-Mg\cos a}{S}$　　B．$\frac{p_0\cos aMg}{S}$

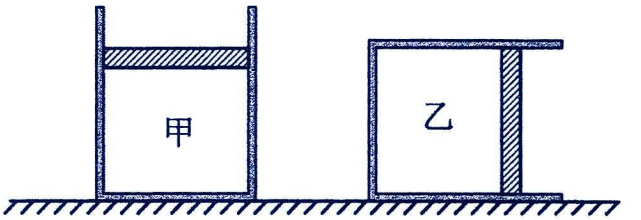
C．$p_0-\frac{Mg}{S}$　　D．$\frac{p_0-Mg\cos^2\alpha}{S}$

【例 4】某充气式座椅简化模型如图所示，导热良好的两个汽缸 C、D 通过活塞分别封闭质量相等的两部分同种理想气体 A、B，活塞通过轻弹簧相连，静置在水平面上。已知两个汽缸 C、D 的质量均为 M（汽缸壁的厚度不计），大气压强为 p_0，重力加速度大小为 g，初始时环境温度为 T_0，被封闭气体高度均为 L，活塞的横截面积为 S、质量和厚度不计，弹簧始终在弹性限度内，活塞始终未脱离汽缸，不计活塞与汽缸之间的摩擦。则初始时 B 气体的压强 P_B=_____。



【跟踪训练】

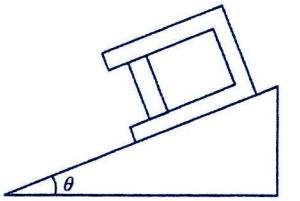
1．如图所示，质量相等的同种理想气体甲和乙分别用绝热活塞封闭在两个绝热气缸中，两气缸固定在同一水平面上，开口分别竖直向上和水平向右，活塞质量不能忽略且可沿气缸无摩擦滑动。甲、乙两气体的体积相等，它们的压强分别用 $p_{甲}$、$p_{乙}$表示，温度分别用 $T_{甲}$、$T_{乙}$表示。下列关系正确的是（　）



A．$p_{甲}>p_{乙}$　　B．$p_{甲}<p_{乙}$

C．$p_{甲}=p_{乙}$　　D．无法确定

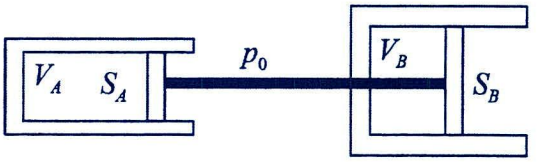
2．如图丙所示，在倾角为$\theta=30°$斜面上，导热良好的汽缸内用面积$S=100\text{cm}^2$、质量$m=2\text{kg}$的活塞封闭一定质量的理想气体，气柱的长度为$L=18\text{cm}$，活塞能无摩擦滑动。不计活塞厚度，汽缸足够长且不漏气，大气压强$p_0=1.01\times10^5\text{Pa}$，g 取$10\text{m/s}^2$。求活塞稳定后封闭气柱的压强为（　　）



A．$1.0\times10^5\text{Pa}$　　B．$1.03\times10^5\text{Pa}$

C．$1.01\times10^5\text{Pa}$　　D．$9.0\times10^4\text{Pa}$

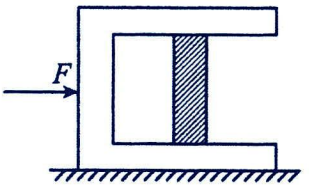
3．如图，在固定的汽缸 A 和 B 中分别用活塞封闭一定质量的理想气体，活塞面积之比为 S_A, $S_B=1:2$。两活塞以穿过 B 的底部的刚性细杆相连，可沿水平方向无摩擦滑动。两个汽缸都不漏气。某状态下系统平衡时，A 中气体压强为 $p_A=1.5p_0$，p_0是汽缸外的大气压强，则此时 B 中气体压强为（　　）



A．$0.75p_0$　　B．$0.25p_0$

C．$0.5p_0$　　D．p_0

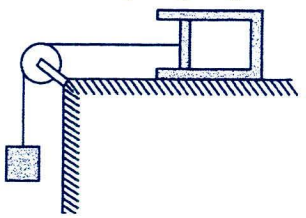
4．如图所示，光滑水平面上放有一质量为 M 的汽缸，汽缸内放有一质量为 m 的可在汽缸内无摩擦滑动的活塞，活塞横截面积为 S。现用水平恒力 F 向右推汽缸，最后汽缸和活塞达到相对静止状态，此时缸内封闭气体的压强（　　）。（已知外界大气压为p_0）



A．p_0　　B．$p_0+\frac{mg}{S}$　　C．$p_B=p_0-\frac{Mg}{S}$　　D．$p=p_0+\frac{mF}{S(M+m)}$

5．如图所示，一导热良好的足够长汽缸水平放置在光滑水平桌面上，桌面足够高，汽缸内有一活塞封闭了一定质量的理想气体。一足够长轻绳跨过定滑轮，一端连接在活塞上，另一端挂一钩码，滑轮与活塞间的轻绳与桌面平行，不计一切摩擦。已知当地重力加速度为 g，大气压为 p_0，钩码质量为 m_1，活塞质量为 m_2，汽缸质量为 m_3，活塞横截面积为 S。则释放钩码，汽缸稳定运动过程中，汽缸内理想气体的压强为（　　）。

A．$p_0-\frac{m_1m_3g}{(m_1+m_2+m_3)S}$　　B．$p_0-\frac{m_1m_3g}{(m_2+m_3)S}$　　C．p_0　　D．$p_0-\frac{m_1g}{s}$



题型三：水银柱压强计算

解题要点：

1.解答液柱类问题关键是封闭气体压强的计算，而求液柱封闭的气体压强时，一般以液柱为研究对象分析受力、列平衡方程，要注意：

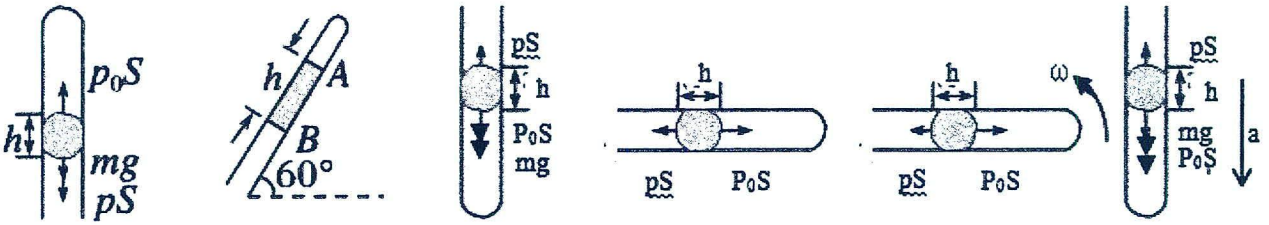
(1)液体因重力产生的压强大小为 p＝ρgh(其中 h 为至液面的竖直高度)；

(2)不要漏掉大气压强，同时又要尽可能平衡掉某些大气的压力；

(3)有时可直接应用连通器原理——连通器内静止的液体，同种液体在同一水平面上各处压强相等；

(4)当液体为水银时，可灵活应用压强单位“cmHg”等，使计算过程简捷。

2.液柱也可以看成“活塞”，利用受力平衡条件进行计算



甲　　乙　　丙　　丁　　戊　　己

如图甲：由于液柱处于平衡状态，所以 pS＋mg＝p_0S，则气体压强为 $p=p_0-\frac{mg}{S}=p_0-\rho_{液}gh$，

若压强单位取“cmHg”液柱为水银柱，上式也可表示为：$p=p_0-h$

如图乙：同理有，$pS+mg\cdot\sin60°=p_0S$，则气体压强为 $p=p_0-\frac{mg}{S}\cdot\sin60°=p_0-\rho_{液}gh\cdot\sin60°$

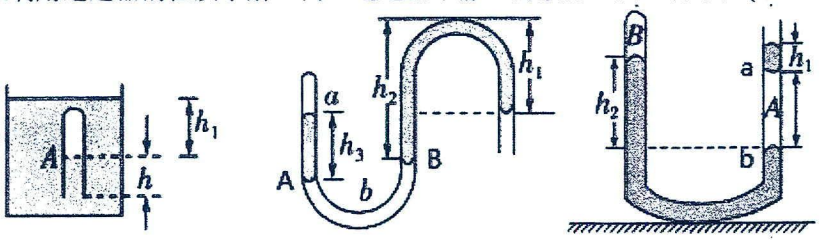
如图丙：同理有：$pS=p_0S+mg$，则气体压强为 $p=p_0+\frac{mg}{S}=p_0+\rho_{液}gh$

如图丁：同理有：$pS=p_0S$，则气体压强为 $p=p_0$

如图戊：玻璃管绕开口端，在水平面内做ω恒定的圆轴转动，此时将水银柱当作质点分析，水银柱到圆心的间距为 r，根据牛顿第二定律有：$pS-p_0S=ma=mr\omega^2$，得 $p=p_0S+\frac{mr\omega^2}{S}$

如图己：玻璃管竖直向下做加速度为 a 的匀加速直线运动，根据牛顿第二定律有：$p_0S+mg-pS=ma$，则气体压强为 $p=p_0+\frac{mg-ma}{S}$

3.利用连通器的性质求解：同一连通器中静止的液体，同一种液体(中间不间断)同一深度处压强相等。



甲　　乙　　丙

如图甲：玻璃管口液面位置有 $p_0+\rho_{液}g(h_1+h)=p+\rho_{液}gh$，可得 $p_0+\rho_{液}gh_1=p$

如图乙：对 b 气体，在玻璃管中 B 液面位置有 $p_0+\rho_{液}g(h_2+h_1)=p_b$；在玻璃管中 A 液面位置有 $p_a+\rho_{液}gh_3=p_b$

如图丙：对 A 气体，在玻璃管中 a 液面位置有 $p_0+\rho_{液}gh_1=p_A$；在玻璃管中 b 液面位置有 $p_B+\rho_{液}gh_2=p_A$

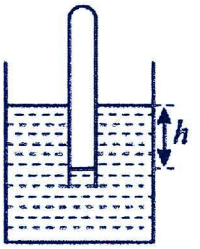
【精选例题】

【例 1】如图，玻璃管竖直放置且开口向下，管内的水银柱封闭了一部分体积的空气柱。假设将此实验装置移至月球表面且保持温度不变，玻璃管内水银柱将（　　）

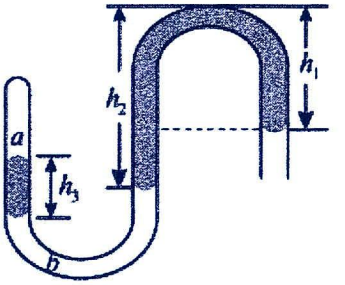
A．上移　　B．不动　　C．部分流出　　D．全部流出



例 1



例 2



例 3

【例 2】如图，把一粗细均匀的玻璃管开口端插入到水银中，如果当时大气压强为一个标准大气压（标准大气压强为 76cmHg），管内外水银面高度差 h 为 20cm，则管内气体的压强为（　　）

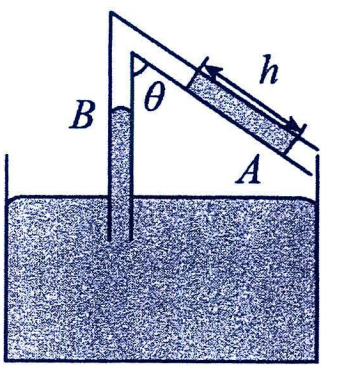
A．20cmHg　　B．56cmHg　　C．76cmHg　　D．96cmHg

【例 3】竖直平面内有一粗细均匀的玻璃管，管内有两段水银柱封闭两段空气柱 a、b，各段水银柱高度如图所示，大气压强 $p_0=76\text{cmHg}$，$h_1=12\text{cm}$，$h_2=15\text{cm}$，$h_3=6\text{cm}$，下列说法正确的是（　　）

A．空气柱 b 的压强为 $p_b=80\text{cmHg}$　　B．空气柱 b 的压强为 $p_b=78\text{cmHg}$

C．空气柱 a 的压强为 $p_a=75\text{cmHg}$　　D．空气柱 a 的压强为 $p_a=73\text{cmHg}$

【例 4】（多选题）如图所示，内径均匀、两端开口的 V 形管，B 支管竖直插入水银槽中，A 支管与 B 支管之间的夹角为 θ，A 支管中有一段长为 h 的水银柱保持静止，下列说法中正确的是（　　）



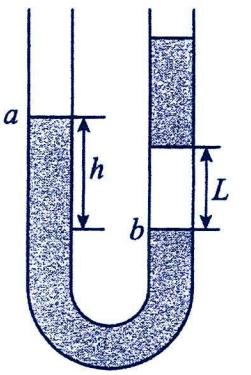
A．B 管内水银面比槽内水银面高 h

B．B 管内水银面比槽内水银面高 $h\cos\theta$

C．B 管内水银面比槽内水银面低 $h\cos\theta$

D．管内封闭气体的压强比大气压强小 $h\cos\theta$ 高水银柱产生的压强

【例 5】（多选题）如图所示，在两端开口、竖直放置的 U 形玻璃管内，封闭着长度为 L 的空气柱，a、b 两水银面的高度差为 h，现保持温度不变，则（　　）



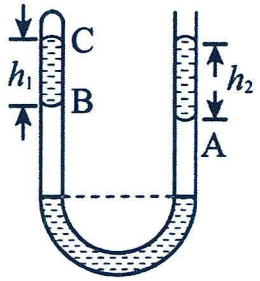
A．若再向左管注入些水银，稳定后 h 变大

B．若再向左管注入些水银，稳定后 h 不变

C．若两管同时注入等量的水银，稳定后 h 变大

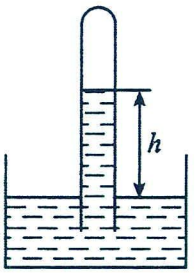
D．若两管同时注入等量的水银，稳定后 h 不变

【例 6】如图所示，在一端封闭的 U 形管内，三段水银柱将空气柱 A、B、C 封在管中，在竖直放置时，A、B 两气柱的下表面在同一水平面上，另两端的水银柱长度分别是 $h_1=3\text{cm}$，$h_2=4\text{cm}$ 外界大气的压强 $p_0=76\text{cmHg}$，则 A、C 三段气体的压强分别是多少？



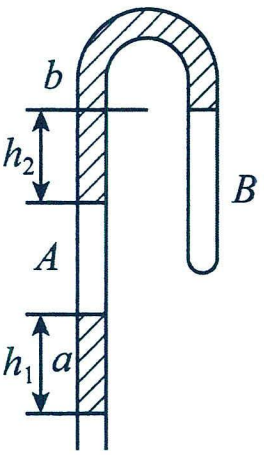
【跟踪训练】

1．如图，开口向下的直玻璃管内封闭有一定量的气体，管内、外水银面高度差为 h。若大气压强为 p_0，水银密度为 ρ，重力加速度大小为 g，则管内气体压强为（　）



A．$p_0+\rho gh$　　B．p_0　　C．$p_0-\rho gh$　　D．ρgh

2．如图所示，竖直静止放置的 U 形管，左端开口，右端封闭，管内 a、b 两段水银柱将 A、B 两段空气柱封闭在管内。已知水银柱 a 长为 h_1，水银柱 b 两液面的高度差为 h_2，大气压强为 p_0，空气柱 A 的压强为 p_A。则空气柱 B 的压强 p_B 可表示为（　　）



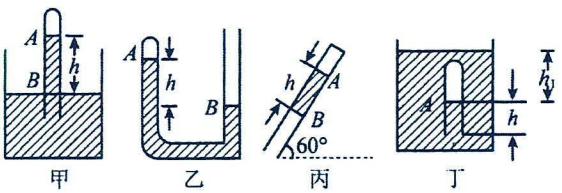
A．$p_B=p_0-h_1$

B．$p_B=p_A+h_2$

C．$p_B=p_0-p_A$

D．$p_B=p_0-h_1-h_2$

3．（多选题）若已知大气压强为 p_0，图中各装置均处于静止状态，液体密度均为 ρ，重力加速度为 g，下列说法正确的是（　　）

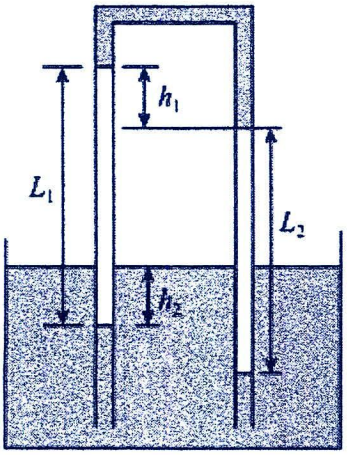


A．甲图中密闭气体的压强大小是 $p_0-\rho gh$　　B．乙图中密闭气体的压强大小是 $p_0+\rho gh$

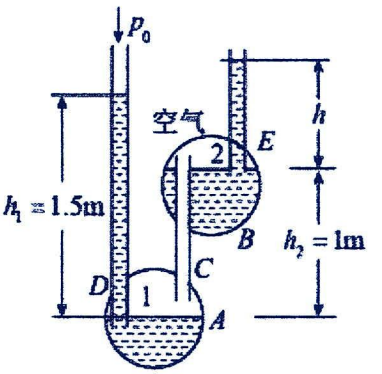
C．丙图中密闭气体的压强大小是 $p_0-\rho gh$　　D．丁图中密闭气体的压强大小是 $p_0+\rho gh_1$

4．如图所示，两端开口、粗细均匀的足够长玻璃管插在大水银槽中，管的上部有一定长度的水银柱，两段空气柱被封闭在左右两侧的竖直管中，平衡时水银柱的位置如图，其中$h_1=5\text{cm}$，$h_2=7\text{cm}$，$L_1=50\text{cm}$，大气压强为75cmHg，则右管内气柱的长度L_2等于（　　）

A．44cm　　B．46cm　　C．48cm　　D．50cm



题4



题5

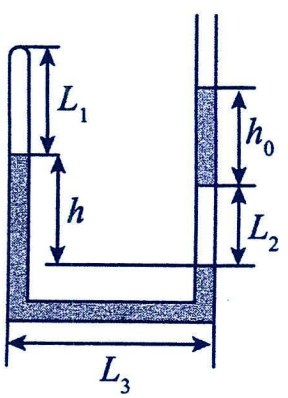
5．如图为一注水的玻璃装置，玻璃管D、E上端与大气相通，利用玻璃管C使A、B两球上部相通，D、C、E三管与两球接口处紧密封接。当A、B、D的水面高度差如图所示时，E管内水相对B中水面的高度差h应为(　　)

A．0.6m　　B．0.8m　　C．1.2m　　D．1.5m

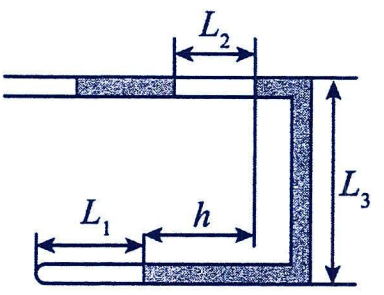
6．如图甲所示，足够长U型管内分别由水银封有L_1、L_2两部分气体，两气柱封闭的水银柱高度差h。U型管水平部分长为L_3，L_2上方水银柱长h_0。

（1）稳定时两段气柱压强分别为多少？

（2）如把甲图逆时针转过90度（U型管L_3保持竖直状态）此时L_1、L_2、两部分气体的压强分别为多大？（大气压强为p_0）



甲

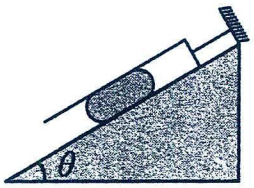


乙

7. 如图所示，粗细均匀的长直玻璃管被轻绳倒挂于倾角为θ的斜面上，管内有一段长为h的水银柱（其密度为ρ）封闭着一段空气柱，大气压强为p_0，重力加速度大小为g。求在下列情况下，被封闭气体的压强为多少。（式中各物理量单位均为国际单位制单位）

（1）玻璃管静止不动；

（2）剪断细绳后，玻璃管沿斜面保持平稳加速下滑过程（已知管与斜面间动摩擦因数为μ，且$\mu<\tan\theta$）。

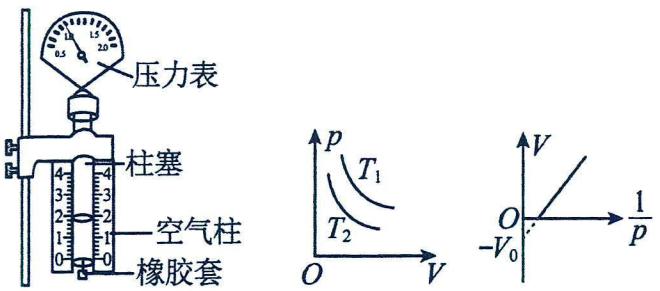


考点三：气体的等温变化

题型一：研究等温变化规律

【精选例题】

【例 1】某实验小组用如图甲所示实验装置来探究一定质量的气体发生等温变化遵循的规律。



(1)关于该实验，下列说法正确的是_____；

A．实验前应将注射器的空气完全排出　　B．空气柱体积变化应尽可能的快些

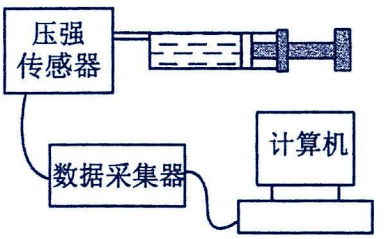
C．空气柱的压强随体积的减小而减小　　D．作出$p-\frac{1}{V}$的图像可以直观反映出 p 与 V 的关系

(2)为了探究气体在不同温度时发生等温变化是否遵循相同的规律，他们进行了两次实验，得到的$p-V$图像如图乙所示，由图可知两次实验气体的温度大小关系为 T_1_____T_2（选填“<”“=”或“>”）。

(3)为了能最直观地判断气体压强 p 与气体体积 V 的函数关系，应作出_____（选填“$p-V$”或“$p-\frac{1}{V}$”）图像。对图线进行分析，如果在误差允许范围内该图线是一条_____线，就说明一定质量的气体在温度不变时，其压强与体积成反比。

(4)若根据实验数据画出的$V-\frac{1}{p}$如图丙所示，请说出 V_0的物理意义_____。

【例 2】某同学用如图所示实验装置探究一定质量的气体发生等温变化时压强与体积的关系。将注射器活塞移动到体积最大的位置，接上软管和压强传感器，记录此时注射器内被封闭气体的压强 p 和体积 V；推动活塞压缩气体，记录多组气体的压强和体积。



(1)关于该实验下列说法正确的是（　　）

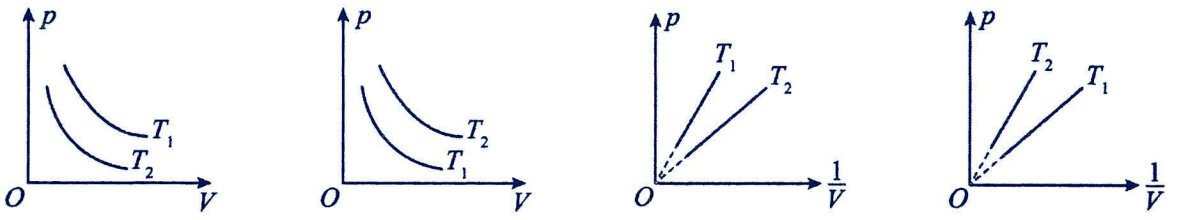
A．改变气体体积时应缓慢推拉活塞

B．为方便推拉活塞，要用手握注射器再推拉活塞

C．在活塞与注射器壁间涂上润滑油主要是为了减小摩擦

D．注射器旁的刻度尺只要刻度分布均匀即可，可以不标注单位

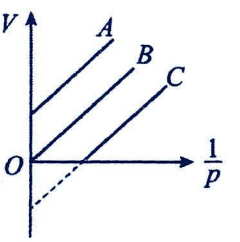
(2)分别在环境温度为T_1、$T_2(T_1<T_2)$时完成上述探究活动。下列反映实验过程中气体压强 p 随体积 V 变化规律可能正确的是_____。



A　　B　　C　　D

(3)实验小组根据实验数据，做出的$p-\frac{1}{V}$图像是一条过坐标原点的倾斜直线，可以得出结论：_____；

(4)该同学用此装置测量大米的密度。他取少许大米，先用天平测出其质量，再将其装入注射器内，重复上述实验操作，记录注射器上的体积刻度 V 和压强传感器读数p，根据实验测量数据，作出$V-\frac{1}{p}$图像可能是图中的_____（选填“A”“ B” 或“ C”）。该同学未考虑软管中气体的体积，由此求出大米的密度比真实值_____（选填“偏大”“ 偏小”或“相等”）



【跟踪训练】

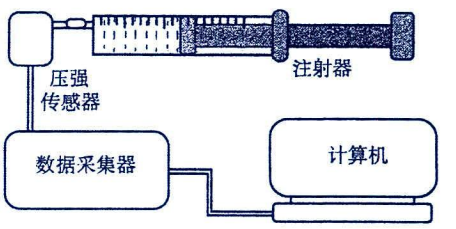
1．如图所示，用气体压强传感器探究气体做等温变化的规律，操作步骤如下：

①在注射器内用活塞封闭一定质量的气体，将注射器、压强传感器、数据采集器和计算机逐一连接起来；

②移动活塞至某一位置，记录此时注射器内封闭气体的体积 V_1 和由计算机显示的气体的压强 p_1；

③重复上述步骤②，多次测量并记录压强和体积数据；

④根据记录的数据，作出相应图像，分析得出结论。



(1)关于本实验的基本要求，下列说法正确的是（　　）

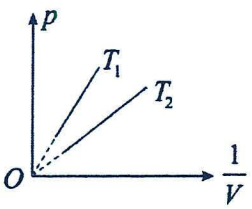
A．移动活塞时应缓慢一些

B．封闭气体的注射器应密封良好

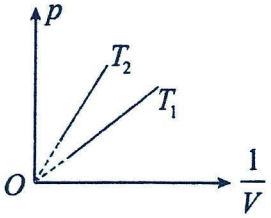
C．必须测出注射器内封闭气体的质量

D．封闭气体的压强和体积必须用国际单位表示

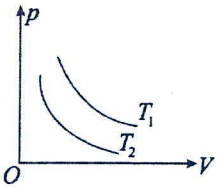
(2)在不同环境温度下，另一位同学重复了上述实验，实验操作和数据处理均正确。环境温度分别为 T_1、T_2，且 $T_1>T_2$。在如图所示的四幅图中，更能直观反映相关物理量之间关系的是（　　）



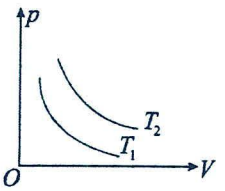
A



B

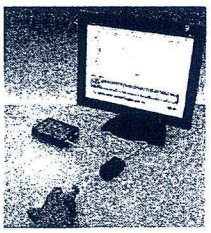


C

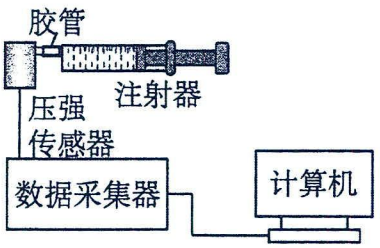


D

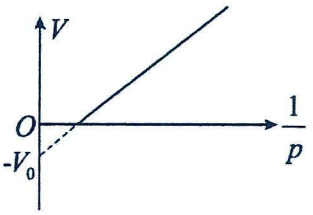
2．用气体压强传感器做“探究气体等温变化的规律”实验，实验装置如图甲所示。



甲



乙



丙

(1)关于该实验下列说法正确的是_____。

A．为保证封闭气体的气密性，应在柱塞与注射器壁间涂上润滑油　B．为方便推拉柱塞，应用手握住注射器

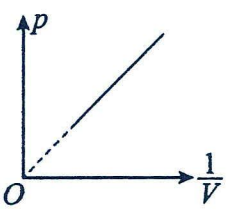
C．为节约时间，实验时应快速推拉柱塞和读取数据　D．实验中气体的压强和体积都可以通过数据采集器获得

(2)A 组同学在操作规范、不漏气的前提下，测得多组压强 p 和体积 V 的数据并作出$V-\frac{1}{p}$图线，发现图线不通过坐标原点，如图乙所示。则

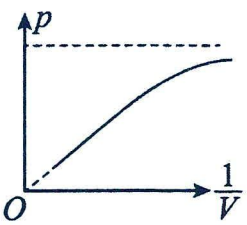
①造成这一结果的原因是_____；

②图中 V_0 代表的物理含义是_____；

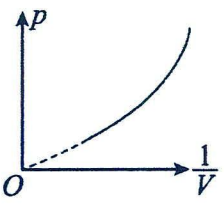
(3)若 A 组同学利用所得实验数据作出的$p-\frac{1}{V}$图线，应该是_____。



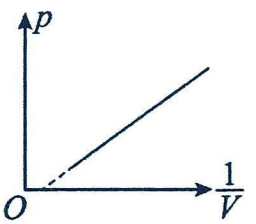
A



B

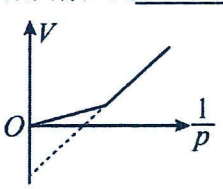


C

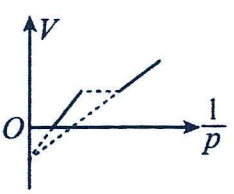


D

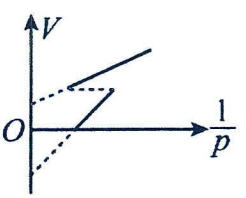
(4)另一小组实验时缓慢推动活塞，记录 4 组注射器上的刻度数值 V，以及相应的压强传感器示数 p。在采集第 5 组数据时，压强传感器的软管脱落，重新接上后继续实验，又采集了 4 组数据，其余操作无误。绘出的$V-\frac{1}{p}$关系图像应是_____。



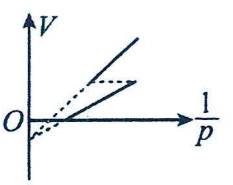
A



B

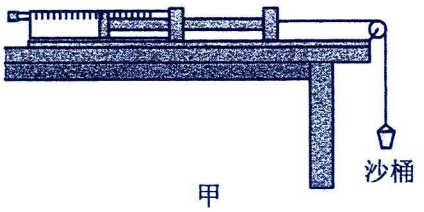


C

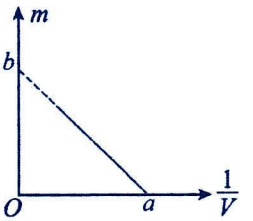


D

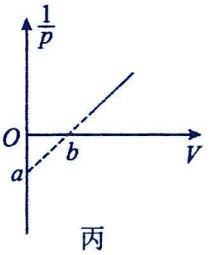
3．在探究气体压强与体积关系实验中，某兴趣小组设计如图实验装置。已知重力加速度为 g，注射器气密性和导热良好且外界环境温度保持不变，不计一切摩擦。



甲



乙



丙

（1）用刻度尺测得注射器刻度上 40mL 到 50mL 的长度为 5cm，注射器活塞的横截面积为 $S=$_____cm^2；（结果保留 2 位有效数字）

（2）取下沙桶，向右拉动活塞一段距离后，用橡胶套堵住注射孔，此时的气体压强为大气压 p_0；

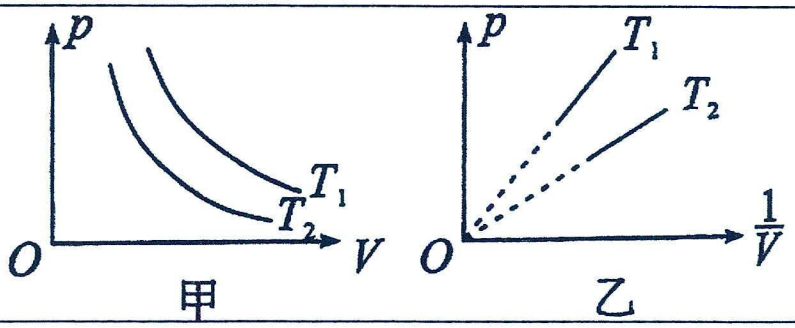
（3）挂上沙桶，稳定后，测出此时的气体体积 V 和沙桶与沙子的总质量 m，则气体压强的表达式 $p_2=$_____；（请选用 p_0、g、S、m 表示）

（4）在沙桶内适量添加沙子，重复步骤（3）；

（5）以沙桶与沙子的总质量 m 为纵轴，以 $\frac{1}{V}$ 为横轴，绘制 $m-\frac{1}{V}$ 图像，其图像如图乙所示，图中横轴截距为 a，纵轴截距为 b，可求得未悬挂沙桶时注射器内气体的体积 $V_0=$_____，实验时当地的大气压强 $p_0=$_____。（请选用 a、b、g、S 表示）

（6）若橡胶套堵住的注射孔内，有部分气体体积 ΔV 不可忽略，该实验人员找来一些绿豆将其装入上述装置中的注射器内，按照正确的实验操作，移动活塞，多次记录注射器上的体积刻度 V 和压强 p，作出 $\frac{1}{p}-V$ 图线如图所示，由此可测出这些绿豆的体积 $V_x=$_____。（已知物理量有 ΔV、a、b）

题型二：波意耳定律

	玻意耳定律
内容	**一定质量**的某种气体，在**温度不变**的情况下，压强与体积成反比
表达式	$p_1V_1=p_2V_2$
微观解释	一定质量的某种理想气体，温度保持不变时，分子的平均动能不变； 体积减小时，分子的数密度增大，气体的压强增大
图像	
关系	①等温变化中，压强与体积成反比； ②甲图中离 O 点越远，温度越高，$T_1>T_2$；乙图中，图像斜率越大，温度越高，$T_1>T_2$ ③p-V 图像与横轴为成的面积表示体积变化时理想气体对外界做的功。

2.解题基本思路

(1)选对象：根据题意，选出所研究的某一部分一定质量的气体；

(2)找参量：分别找出这部分气体状态发生变化前后的 p、V、T，其中压强的确定是关键；

(3)认过程：认清变化过程，正确选用物理规律；

(4)列方程：选用理想气体方程或某一气体实验定律列式求解，有时需要讨论结果的合理性。

3.分析气体状态变化的问题要抓住三点

(1)弄清一个物理过程分为哪几个阶段；

(2)找出几个阶段之间是由什么物理量联系起来的；

(3)明确哪个阶段应遵循什么实验定律。

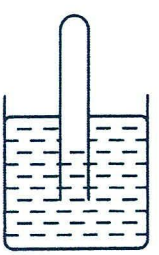
【精选例题】

【例 1】一定质量的气体，在等温变化过程中，下列物理量中没有发生改变的有（　　）

A．分子的平均速率　　B．单位体积内的分子数

C．气体的压强　　D．气体的体积

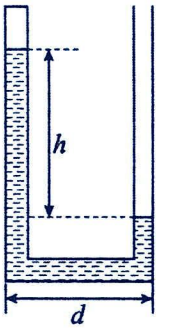
【例 2】将小试管倒扣在广口瓶内的水银中。此时试管恰好浮于水面，如图所示。如果环境温度不变，而大气压变大，则以下哪个物理量保持不变？（　　）



A．管内气体压强　　B．管内气体密度

C．试管露出水银面的高度　　D．管内外液面高度差

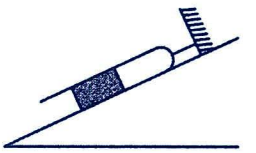
【例 3】如图，粗细均匀的 U 型管管口向上竖直放置，左管封闭一段空气柱，两侧水银面的高度差为 h，U 型管的宽度为 d ，且 d<h。现将 U 型管顺时针缓慢转过 90°至两个平行管水平且处于同一竖直面内，设温度不变，管的直径可忽略不计，则在此过程中（　　）



A．封闭空气柱长度不断变小　　B．封闭空气柱长度先变小后变大

C．封闭空气柱长度不断变大　　D．封闭空气柱长度先变大后变小

【例 4】如图所示，在足够长的光滑斜面上，用细线拴着一端封闭的导热玻璃管。玻璃管内部液柱封闭了一定量的理想气体，外界温度不变，玻璃管和液柱均处于静止状态。当剪断细线下滑稳定后，以下说法正确的是（　　）



A．封闭气体的长度将变长

B．封闭气体压强小于外界大气压

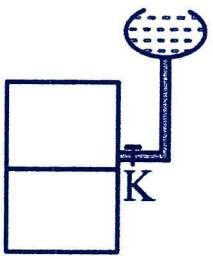
C．玻璃管内壁，单位时间内，单位面积上所受气体分子撞击次数增加

D．封闭气体内能减小

【例 5】如图，导热性能良好的气缸内封闭一定质量的理想气体，内部有一活塞将汽缸分成容积相等的上下两部分，活塞与汽缸内壁无摩擦且气密性良好，汽缸上部通过细管与装有某种液体的容器相连，细管上有一阀门 K。开始时，K 关闭，汽缸内上下两部分气体的压强均为 p，现将 K 打开，容器内的液体缓慢地流入汽缸，当流入的液体体积为$\frac{V}{4}$时，将 K 关闭，活塞平衡时其下方气体的体积减小了$\frac{V}{3}$。已知汽缸的容积为 V，活塞的面积为 S，不计活塞的质量和体积，外界温度保持不变，重力加速度大小为 g。求：

(1)再次平衡后，下方气体的压强 p_1；

(2)流入汽缸内液体的质量 m。



【跟踪训练】

1．我国探月工程2004年正式立项，2024年6月25日首次获取月背样品后成功返回地球，月球表面的重力加速度为$\frac{g}{6}$。如图所示，玻璃管开口向上竖直放置，长度为$h=5\text{cm}$的水银柱密闭了1mm长的气柱，如果将这个玻璃管带到月球表面，发现水银柱缓慢向上移动且恰好不从玻璃管流出。已知大气压强为$p_0=75\text{cmHg}$，整个过程温度保持不变。玻璃管的长度为（　　）

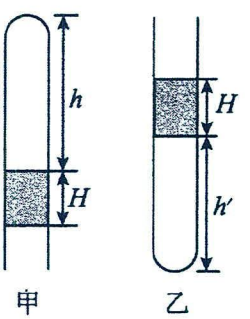


A．14.6cm　　B．10.1cm

C．9.6cm　　D．9.1cm

2．如图甲所示，一粗细均匀的长细管开口向下竖直固定时，管内高度为H的水银柱上方封闭气体的长度为h，现将细管缓慢旋转至开口竖直向上，如图乙所示。已知大气压强恒为p_0，水银的密度为ρ，管内气体温度不变且可视为理想气体，重力加速度大小为g，图乙中封闭气体的长度为（　　）

A．$\frac{p_0-\rho gh}{p_0+\rho gh}H$　　B．$\frac{p_0+\rho gh}{p_0-\rho gh}H$　　C．$\frac{p_0-\rho gH}{p_0+\rho gH}h$　　D．$\frac{p_0+\rho gH}{p_0-\rho gH}h$



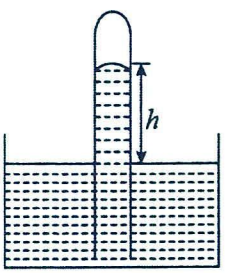
3．（多选题）如图所示，一细玻璃管管内水银柱封闭了一段气体，管内、外水银面的高度差为60cm，已知大气压强为76cmHg，下列说法正确的是（　　）

A．封闭气体的压强为16cmHg

B．封闭气体的压强为60cmHg

C．若要使得管内水银高度上升，可以将管略微上提

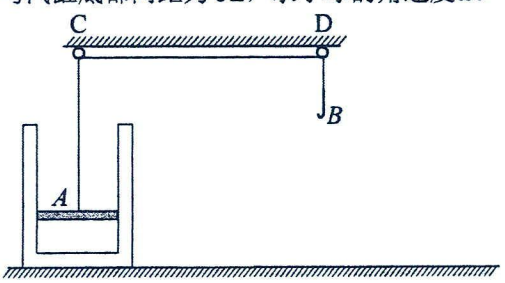
D．若要使得管内水银高度上升，可以将管略微下移



4．如图所示，导热性能良好的汽缸固定在水平地面上，横截面积为S、质量未知的光滑薄活塞与汽缸间密封有一定质量的理想气体，轻绳A端与薄活塞中心连接，另一端B穿过两光滑小圆环C、D后连接轻质挂钩，此时小圆环C与活塞间的轻绳、小圆环D与轻质挂钩间的轻绳均沿竖直方向，小圆环D与轻质挂钩间的轻绳长度、活塞与汽缸底部的间距均为L。将质量为m的小球悬挂在B端轻质挂钩上，小球静止时活塞与汽缸底部间距为2L。已知大气压强恒为p_0，环境温度恒为T_0，重力加速度为g，活塞始终没有离开汽缸，轻质挂钩可视为质点。

(1)求活塞的质量M；

(2)若将质量为m、可视为质点的小球悬挂在B端轻质挂钩上，使小球在水平面内做匀速圆周运动，稳定时活塞与汽缸底部间距为3L，求小球的角速度ω。

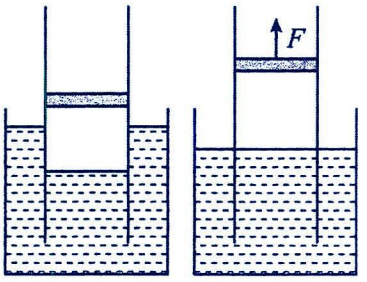


5．如图所示为水银汲取原理图。在圆柱形容器中装有一定量的水银，将两端开口、中间有一活塞的圆柱形玻璃管一端缓慢浸入水银中。待第一次稳定时玻璃管中液面比容器中的液面低 $h_0=5\text{cm}$，活塞与玻璃管中液面相距 $H=7.5\text{cm}$，玻璃管下沿未与容器底接触。已知活塞质量 $m=0.5\text{kg}$，外界大气压强 $p_0=75\text{cmHg}$，圆柱形容器的横截面积是玻璃管的 2 倍，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$。现用力 F 缓慢拉动活塞，待第二次稳定时，玻璃管与容器中的液面等高，外界温度保持不变，不计活塞与玻璃管间的摩擦，求：

(1)第一次稳定状态时，玻璃管中封闭气体的压强 p_1；

(2)第二次稳定状态时，力 F 的大小；

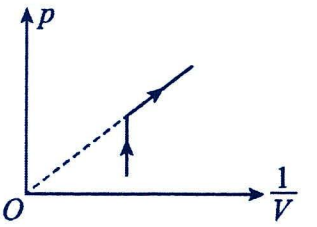
(3)两次稳定状态下，活塞往上移动的距离 h。



题型三：等温图像

【精选例题】

【例 1】如图所示为一定质量理想气体状态变化时的 $p-\frac{1}{V}$ 图像，变化过程按箭头进行，根据图像可判断出气体的温度（　　）



A．先不变后升高　　B．先不变后降低　　C．先降低后不变　　D．先升高后不变

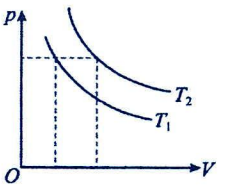
【例 2】（多选题）如图所示为一定质量的理想气体在不同温度下的两条等温线，则下列说法中正确的是（　　）

A．$T_1<T_2$　　B．$T_1>T_2$

C．一定质量的理想气体，在不同温度下的等温线是不同的

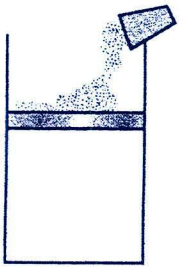
D．一定质量的理想气体在发生等温变化时，其压强与体积成反比

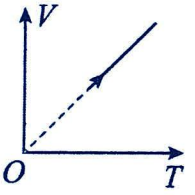
，



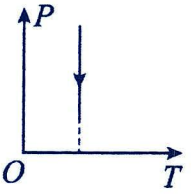
【跟踪训练】

1．开口向上，导热性能良好的气缸，用活塞封闭了一定质量的理想气体，如图所示。气缸与活塞间的摩擦忽略不计。现缓缓向活塞上倒上细沙，则下列关于密封气体的图像中可能正确的是（　）

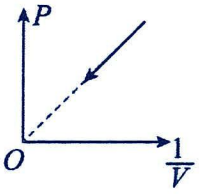




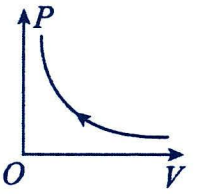
A



B



C



D

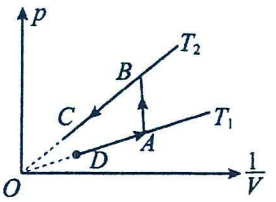
2.（多选题）如图所示，D→A→B→C 表示一定质量的某种气体状态变化的一个过程，则下列说法正确的是（　）

A．D→A 是一个等温过程

B．A→B 是一个等温过程

C．$T_1>T_2$

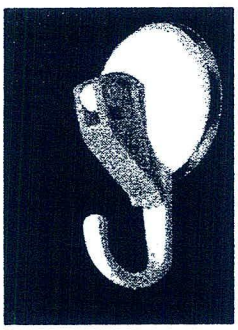
D．B→C 过程中，气体的体积增大，压强减小，温度不变

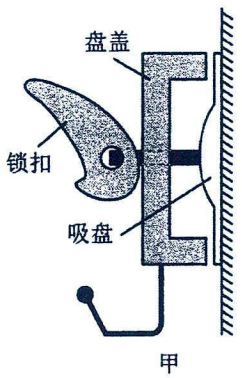


题型四：实际问题中的等温变化

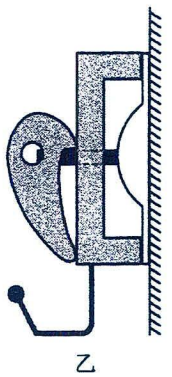
【精选例题】

【例 1】有一些家庭的厨房里会使用“吸盘挂钩”，用来悬挂一些炊具。在固定“吸盘挂钩”时，先将吸盘自然的扣在平滑的墙面上，这样在吸盘和墙面之间就封闭了一定质量的气体，然后按住锁扣把吸盘紧紧挤压在墙上（如图甲），挤压过程中吸盘与墙面之间的一部分空气就会被挤出，然后把锁扣向下扳动，锁扣就以盘盖为支点把吸盘向外拉出（如图乙），拉出过程中吸盘和墙面之间的封闭气体质量不再变化，这样“吸盘挂钩”就会牢牢地被固定在墙壁上。已知封闭的气体可视为理想气体，操作过程中封闭气体温度保持不变。则下列说法正确的（）





甲



乙

A．向下扳动锁扣的过程中吸盘和墙面之间的封闭气体压强增大

B．向下扳动锁扣的过程中吸盘和墙面之间的封闭气体分子的密度增大

C．向下扳动锁扣的过程中吸盘和墙面之间的封闭气体的内能减少

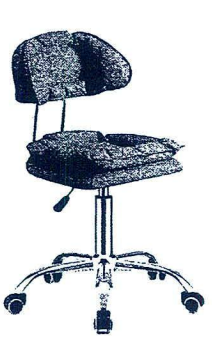
D．若厨房室内大气压强突然增大，则挂钩固定的会更加牢固

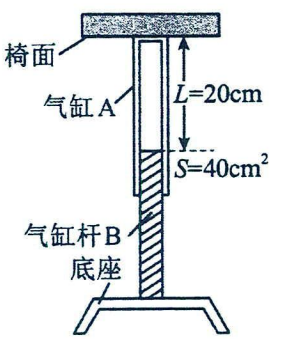
【例 2】某种椅子的结构如图所示，圆柱形气缸 A 内密闭着一定质量的气体，气缸 A 可沿柱形气缸杆 B 的外壁上下滑动。气缸 A 与椅面固定在一起，其质量为 $m=8\text{kg}$，气缸杆 B 与底座固定在一起，横截面积为 $S=40\text{cm}^2$，在气缸 A 中封闭长度为 $L=20\text{cm}$ 的理想气体。气缸 A 气密性、导热性能良好，忽略摩擦力，某同学想利用椅子高度的变化，估测自己的质量。当人脚悬空坐在椅面上，稳定后，测得椅面下降 $x=12\text{cm}$，已知室内温度不变，大气压强 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$，求：

(1)人没坐在椅面上时，A 中气体的压强；

(2)当人脚悬空坐在椅面上，A 中气体的压强；

(3)该同学的质量 M。



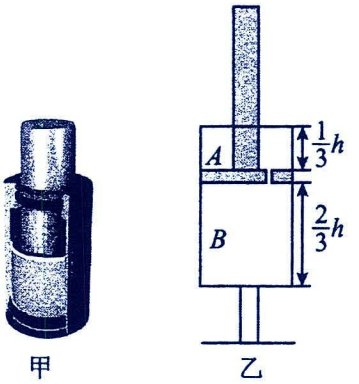


【跟踪训练】

1．图甲是很多机械结构中都会用到的气弹簧装置，其简化模型如图乙所示，装有氮气的封闭汽缸竖直固定在水平地面上，一光滑活塞将汽缸分成 A、B 两部分，活塞上有一个透气的小孔将汽缸中两部分气体连通在一起，活塞上固定一个圆柱形连杆。已知活塞与连杆的总质量为 m，活塞横截面积为 S，连杆横截面积为$\frac{1}{2}S$。初始时刻活塞静止在汽缸内某处，此时 A 部分气体高度为$\frac{1}{3}h$，B 部分气体高度为$\frac{2}{3}h$。已知大气压强为p_0，重力加速度为 g，气体可看作理想气体，汽缸与连杆之间无摩擦且密封良好，气体温度始终保持不变。

（1）求初始时刻汽缸内气体压强p_1；

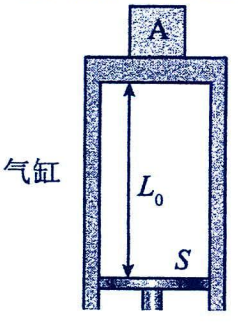
（2）若对连杆施加向下的压力，使得活塞缓慢向下移动距离$\frac{1}{3}h$，求此时汽缸内气体压强p_2。



2．空气悬挂减震（气体弹簧）正在广泛应用于各类车辆悬挂减震，不断提升汽车乘坐舒适性。某新型国产轿车上的气体弹簧减震装置简化结构如图所示，导热良好的直立圆筒形汽缸内用横截面积 $s=20cm^2$ 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞能无摩擦滑动，并通过连杆与车轮轴连接。封闭气体初始温度 T=297K，长度 $L_1=0.12m$、压强$P_1=5.0\times10^5Pa$ 当车辆载重时，相当于在汽缸顶部加一物体 A，汽缸下降，稳定后封闭气体长度 $L_2=0.08m$，此过程中气体温度保持不变，求：

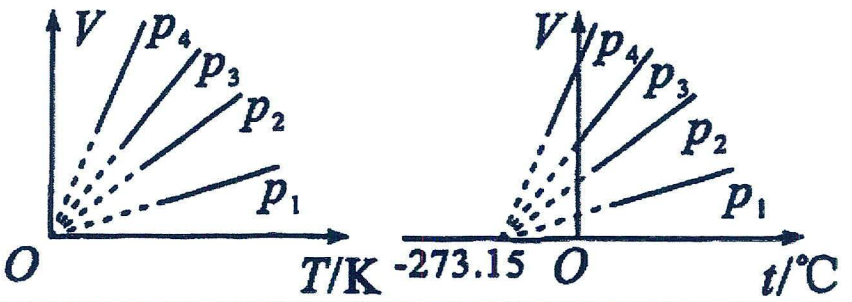
（1）稳定后封闭气体的压强 P_2；

（2）物体 A 的质量 m。



考点四：气体等压变化

解题要点：

	盖—吕萨克定律
内容	一定质量的某种气体，在压强不变的情况下，其体积与热力学温度成正比
表达式	$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$；拓展：$\Delta V=\frac{V_1}{T_1}\Delta T$
微观解释	一定质量的某种理想气体，温度升高时，分子的平均动能增大； 只有气体的体积同时增大，使分子的数密度减小，才能保持压强不变
图像	
关系	①等压变化中，体积与热力学温度成反比； ②利用图像比较压强：$V=\frac{C}{p}T$，斜率 $k=\frac{C}{p}$，即斜率越大，压强越小，得 $p_4<p_3<p_2<p_1$； ③V-T 成正比例关系，图像延长线必过原点； ④若 V-T 图像延长线不过 O 点，则理想气体非等压变化。

题型一：盖-吕萨克定律

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列关于盖-吕萨克定律的说法中正确的是（　　）

A. 对于一定质量的理想气体，在保持压强不变的情况下，温度每升高 1℃时，其体积的增量是温度升高前体积的 $\frac{1}{273}$

B. 对于一定质量的理想气体，在保持压强不变的情况下，温度每升高 1℃时，其体积的增量是它在 0℃时体积的 $\frac{1}{273}$

C．对于一定质量的气体，在保持压强不变的情况下，其体积与摄氏温度成正比

D．对于一定质量的气体，在保持压强不变的情况下，其体积与热力学温度成正比

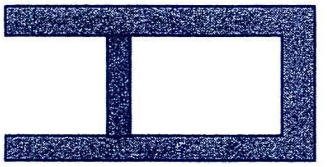
【例 2】一定质量的理想气体，在压强不变的条件下，温度为 0℃时，其体积为 V_0，当温度升高为 T(K) 时，体积为 V，那么每升高 1℃增大的体积等于（　　）

A. $\frac{V}{T}$　　B. $\frac{V_0}{T}$　　C. $\frac{V}{273}$　　D. $\frac{V-V_0}{T}$

【例 3】如图所示，内壁光滑的汽缸水平放置，厚度不计的活塞与汽缸底部之间封闭了一定质量的理想气体，气体的初始热力学温度为 T_0，此时活塞到汽缸底部的距离是活塞到缸口距离的 3 倍。活塞的横截面积为 S，大气压强恒为，重力加速度大小为 g。

(1)通过汽缸底部的电热丝（大小不计，图中未画出）对缸内气体缓慢加热，求活塞到达缸口时缸内气体的热力学温度 T；

(2)活塞到达缸口后，将汽缸竖立（开口向上），保持缸内气体的温度不变，最终活塞到汽缸底部的距离与活塞到缸口的距离相等，求活塞的质量 m。

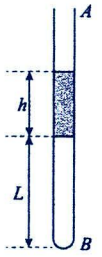


【例 4】如图所示，一根一端封闭粗细均匀细玻璃管 AB 开口向上竖直放置，管内用高 $h=24\text{cm}$ 的水银柱封闭了一段长 $L=45\text{cm}$ 的空气柱。已知大气压强相当于 76cm 水银柱产生的压强，$T=273+t$，封闭气体的温度为 t_1=27℃，g 取 10m/s^2，则：

(1)玻璃管内封闭空气柱的压强为多大？

(2)现将竖直放置的玻璃管以 B 端为圆心顺时针缓慢旋转 53°，则此时封闭气柱的压强为多少？（已知气体温度和大气压强始终不变，$\sin 53°=0.8$，$\cos 53°=0.6$）

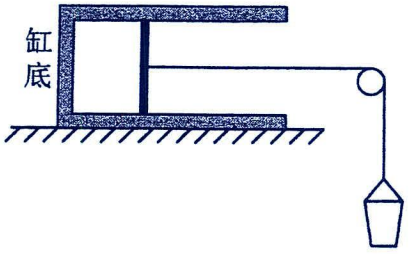
(3)若竖直放置的玻璃管 AB 长度为 L_0=75cm，现对封闭气体缓慢加热，则温度升高到多少摄氏度时，水银刚好不溢出？



【例 5】如图所示，开口向右且足够长的水平固定气缸内，用活塞封闭有一定质量的理想气体，缸内横截面积为 $S=100\text{cm}^2$，活塞通过绕过固定小滑轮的细线与一个总质量为 $m=20\text{kg}$ 的沙桶相连，沙桶距地面足够高。活塞与气缸无摩擦且不漏气，缸内气体温度为300K 时，活塞距缸底10cm，整个装置静止。现使缸内气体缓慢升温，活塞缓慢向右移动5cm时，停止加热。已知大气压强恒为 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，重力加速度为 $g=10\text{m/s}^2$。

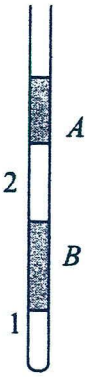
(1)求停止加热时缸内气体的温度；

(2)停止加热后，一次性增加沙桶中沙子的质量，经过一段时间后，缸内气体温度恢复至300K，此时活塞距缸底20cm，求沙桶中增加的沙子质量。



【跟踪训练】

1．如图所示，均匀玻璃管开口向上竖直放置，管内有两段水银柱，封闭着两段空气柱，两段空气柱长度之比 L_2：L_1=2：1，两水银柱长度之比为 L_A：L_B=1：2，如果给它们加热，使它们升高相同的温度，又不使水银溢出，则两段空气柱后来的长度之比（　）



A．$L_2^{'}:L_1^{'}=2:1$　　B．$L_2^{'}:L_1^{'}<2:1$

C．$L_2^{'}:L_1^{'}>2:1$　　D．以上结论都有可能

2. 如图，为一个内部不规则的导热容器，为测量它的容积，在容器上竖直插入一根两端开口、横截面积为 $S=5\text{cm}^2$ 的玻璃管，玻璃管下端与容器内部连通且不漏气，玻璃管内有一小段高度为 $h=8\text{cm}$ 水银柱，水银柱下端与容器接口之间封闭着长度为 $l_1=10\text{cm}$ 的空气柱，此时环境温度 $T_1=300\text{K}$，把容器放入温度为 $T_2=320\text{K}$ 的热水中，稳定后水银柱下端与容器接口之间空气柱长度变为 $l_2=20\text{cm}$。实验过程中大气压强 $p_0=76\text{cmHg}$ 且不变，求：

（1）温度为 T_1 时封闭气体的压强 p_1；

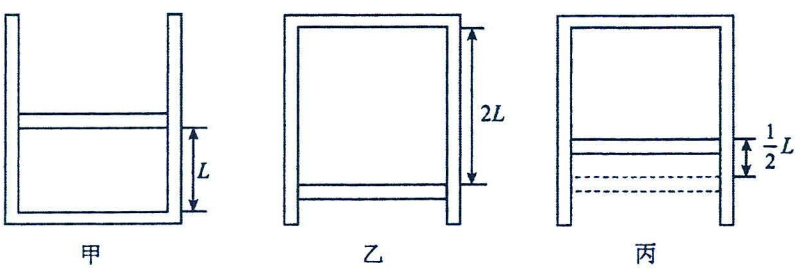
（2）这个不规则容器的容积 V。



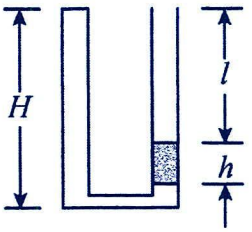
3．如图甲所示，导热良好的固定直立圆筒开口朝上，内有一个活塞封闭着一定质量的理想气体，活塞能无摩擦滑动，面积为 S，此时活塞到筒底的距离为 L。将圆筒缓慢旋转 180°后固定，如图乙所示，稳定后活塞到缸底的距离为 2L。已知大气压强恒为 p_0，当地的重力加速度为 g，环境的热力学温度始终为 T_1。求

(1)求活塞的质量 m；

(2)接着改变周围环境的温度，使活塞缓慢上升 $\frac{1}{2}L$，如图丙所示。求再次稳定周围环境的热力学温度 T_2。



4．如图，两侧粗细均匀、横截面积相等、高度均为$H=18\text{cm}$的U型管，左管上端封闭，石管上端开口。右管中有高$h_0=4\text{cm}$的水银柱，水银柱上表面离管口的距离$l=12\text{cm}$。管底水平段的体积可忽略。环境温度为288K。大气压强$p_0=76\text{cmHg}$。现从右侧端口缓慢注入水银（与原水银柱之间无气隙），恰好使水银柱下端到达右管底部。此时封闭气体的压强为_____cmHg；要使封闭气体在回到原来的体积，应将气体温度升高到_____K。

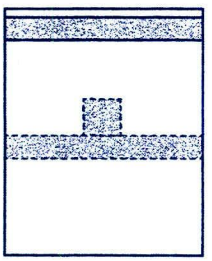


5．如图所示，导热的气缸内用一活塞封有一定质量的理想气体，活塞质量m=10kg，横截面积S=10cm^2，活塞与气缸壁无摩擦且不漏气。此时缸内气体的温度为27°C，活塞正位于气缸顶部，整个装置处于静止状态。现将一重物轻放在活塞上面，气体的长度变为原来的一半。再给缸内气体加热，使活塞重新回到气缸顶部并静止。已知大气压强恒为$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，重力加速度为g=10m/s^2。求：

(1)放重物前封闭气体的压强；

(2)重物的质量；

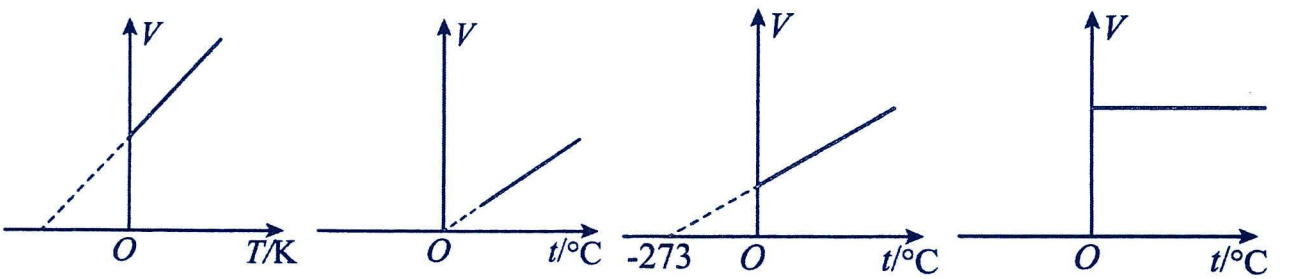
(3)活塞重新回到气缸顶部时气体的温度。



题型二：等压图像

【精选例题】

【例1】下图中能正确表示盖—吕萨克定律的是（　　）



A　　B　　C　　D

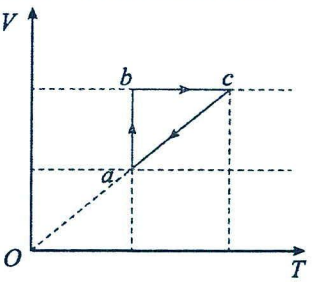
【例 2】一定质量的理想气体从状态 a 开始，经历 a→b→c→a 过程，$V-T$ 图像如图所示，下列说法正确的是（　　）

A．a 状态的压强小于 b 状态的压强

B．b 状态的压强大于 c 状态的压强

C．a 状态的压强等于 c 状态的压强

D．c 状态每个分子的动能都比 a 状态的大

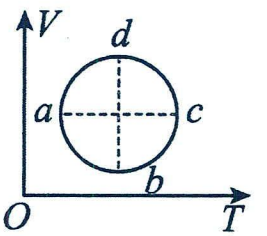


【跟踪训练】

1．（多选题）如图所示，表示一定质量的理想气体沿途径 $a\to b\to c\to d\to a$ 发生状态变化的过程，则该气体压强的变化情况是（　　）

A．从状态 c 到状态 d，压强减小　　B．从状态 d 到状态 a，压强增大

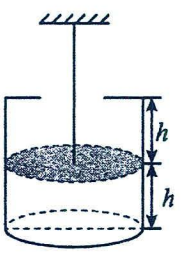
C．从状态 a 到状态 b，压强增大　　D．从状态 b 到状态 c，压强不变



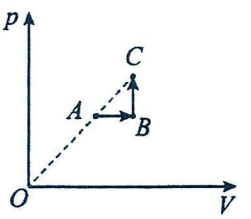
2．（多选题）如图甲所示，质量为 M、半径为 R 的圆柱形汽缸（上端有卡扣）用活塞封闭一定质量的理想气体，活塞用细线连接并悬挂在天花板上。初始时封闭气体的热力学温度为 T_0，活塞和容器上、下部相距均为 h，现让封闭气体的温度缓慢升高，气体从初始状态 A 经状态 B 到达状态 C，其 $p-V$ 图像如图乙所示，已知外界大气压恒为 p_0，O、A、C 三点共线，活塞光滑且气密性良好，重力加速度大小为 g，则理想气体在状态（　　）

A．B 的热力学温度为 $2T_0$　　B．B 的压强为 $p_0+\dfrac{Mg}{\pi R^2}$

C．C 的压强为 $\dfrac{3p_0}{2}-\dfrac{3Mg}{2\pi R^2}$　　D．C 的热力学温度为 $4T_0$

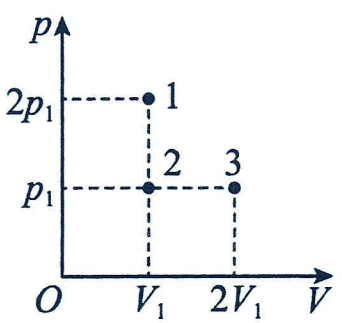


甲



乙

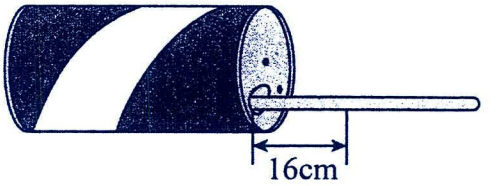
3．如 p-V 图所示，1、2、3 三个点代表某容器中一定量理想气体的三个不同状态，对应的内能分别是 E_1、E_2、E_3。用 N_1、N_2、N_3 分别表示这三个状态下气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的次数，则 E_2_____E_3，N_2_____N_3。（填“>”，“<”或“=”）



题型三：实际问题中得等压变化

【精选例题】

【例 1】如图所示，某兴趣小组用废弃的铝制饮料罐制作简易温度计，粗细均匀、透明的薄吸管与饮料罐之间密封性良好，管里面有一段很短很短的油柱。已知饮料罐内气体可视为理想气体，饮料罐的容积为 $296cm^3$，吸管的横截面积为 $0.25cm^2$，当温度为 27℃时，油柱离罐口 16cm，不考虑大气压强变化，热力学温度与摄氏温度的关系为 T=（t+273）K，下列说法正确的是（　　）



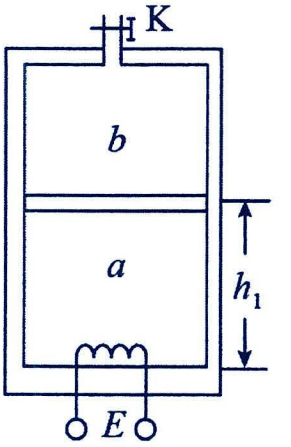
A．若环境温度不变把吸管缓慢向饮料罐内推进一小段，则油柱到罐口的距离减小

B．若在吸管上标注等差温度值，则刻度不均匀

C．该装置所测环境温度最低为 23℃

D．若该装置所测环境温度能达到 35℃，则罐外细管的长度至少为 46cm

【例 2】研究表明，新冠病毒耐寒不耐热，温度在超过 56℃时，30 分钟就可以灭活。如图所示，含有新冠病毒的气体被轻质绝热活塞封闭在粗细均匀的绝热汽缸下部 a 内，汽缸顶端有一绝热阀门 K，汽缸底部接有电热丝 E，汽缸的总高度 $h=90cm$。a 缸内被封闭气体初始温度 $t_1=27℃$，活塞与底部的距离 $h_1=60cm$，活塞和汽缸间的摩擦不计。若阀门 K 始终打开，电热丝通电一段时间，稳定后活塞与底部的距离 $h_2=66cm$ 关于上述变化过程，下列说法正确的是（　　）



A．b 汽缸中逸出的气体占原 b 汽缸中气体的 $\frac{1}{6}$

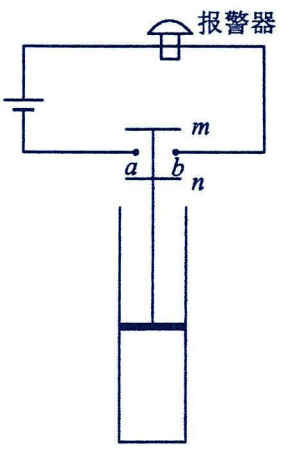
B．a 汽缸中的气体吸收热量，压强增大

C．稳定后，a 汽缸内的气体温度为 50℃

D．稳定后，保持该温度不变再持续 30 分钟，a 汽缸内新冠病毒能够被灭活

【例 3】某食品工厂储物间的温度要求控制在 17～37℃范围，东东为其设计了一款温度报警装置，如图，导热良好的气缸通过可以自由移动的轻质活塞封闭一定质量的理想气体，活塞与轻质绝缘细杆连接，轻杆上端固定两块不计质量的金属片 m 和 n，m、n 间有合适间距。储物间的温度为 27℃时，活塞与气缸底部间距为 $h_1=15cm$，当储物间的温度为：37℃时，金属片 n 恰好与 a、b 两固定触点接触，电路接通，报警器报警，当储物间的温度为 17℃时，金属片 m 恰好与 a、b 接触，报警器同样报警，外界大气压强为 $p_0=1.0\times10^5Pa$，活塞面积 $S=3\times10^{-4}m^2$，T=（t+273）K，不计一切摩擦。求：（1）储物间的温度为 37℃时，活塞与气缸底部的间距；

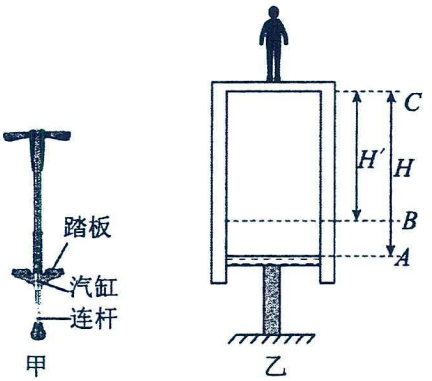
（2）金属片 m、n 之间的间距。



【例 4】如图甲为一气压型弹跳杆，其核心部分可简化为由连杆、活塞及竖直倒立的、导热性良好的圆柱形汽缸组成。如图乙，连杆一端与水平地面接触，另一端与面积为 S 的活塞连接，汽缸内密封有一定质量的气体（可视为理想气体），初始气体压强为 p_1。没有站人时，活塞位于 A 处与缸底的距离为 H；当人踩在踏板上稳定时（静止在汽缸顶端），活塞位于 B 处与缸底的距离为 $H',H'<H$。已知大气压强为 p_0，$p_1=p_0$，外界温度为 27℃，人的质量 $m=\frac{p_0S}{6g}$，重力加速度为 g，汽缸始终保持竖直，忽略汽缸质量与厚度，不计其与活塞间的摩擦。

（1）求活塞位于 B 处与缸底的距离 H'；

（2）人静止在踏板上，通过热传递使活塞回到 A 处，求气体升高的温度 ΔT。



【跟踪训练】

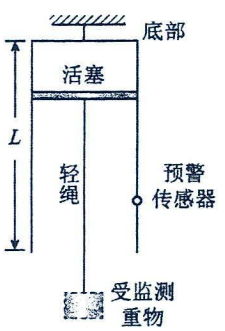
1．（多选题）图为一超重报警装置示意图，高为 L、横截面积为 S、质量为 m、导热性能良好的薄壁容器竖直倒置悬挂，容器内有一厚度不计、质量为 m 的活塞，稳定时正好封闭一段长度为 $\frac{L}{5}$ 的理想气柱。活塞可通过轻绳连接受监测重物，当活塞下降至离容器底部 $\frac{4L}{5}$ 处的预警传感器处时，系统可发出超重预警。已知初始时环境热力学温度保持为 T_0，大气压强为 p_0，重力加速度为 g，不计摩擦阻力，下列说法正确的是（　　）

A．刚好触发超重预警时所挂重物的质量为 $M=\frac{3p_0S}{4g}+\frac{3}{4}m$

B．刚好触发超重预警时所挂重物的质量为 $M=\frac{3p_0S}{4g}-\frac{3}{4}m$

C．刚好触发超重预警时，若环境温度缓慢降低 5%，活塞上升至位于离容器底部 0.65L

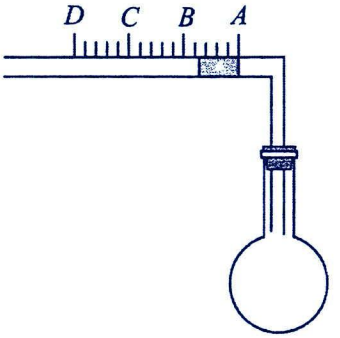
D．刚好触发超重预警时，若环境温度缓慢降低 5%，活塞上升至位于离容器底部 0.76L



2．如图为某同学自制简易温度计的示意图，温度计由一固定的导热容器瓶和一横截面积为S且标有刻度的“L”形细玻璃管组成，容器瓶内封闭一定质量的理想气体。细玻璃管的一端穿过橡皮塞插入容器瓶内，另一端和外界相通。细玻璃管的水平部分内装有一小段有色水柱、当外界温度发生变化时，有色水柱将移动，测得环境温度为T_0时，有色水柱的右侧恰好对准刻度线A。

(1)当环境温度升高时，细玻璃管内有色水柱向左还是向右移动？请简要说明原因；

(2)通过计算说明A,D间的温度刻度是否均匀分布？请写出一种可以提高该温度计灵敏度的方法。



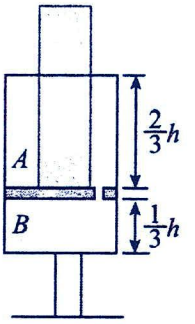
3．自行车减震系统常用到的气弹簧装置，除去外面弹簧，其简化模型如图所示。假设装有氮气的封闭汽缸竖直固定在水平地面上，一光滑活塞将汽缸分成A、B两部分，活塞上有一个透气的小孔将汽缸中两部分气体连通在一起，活塞上固定一个圆柱形连杆。已知活塞与连杆的总质量为m，活塞横截面积为S，连杆横截面积为$\frac{S}{2}$。初始时刻活塞静止在汽缸内某处，此时A部分气体高度为$\frac{2}{3}h$，B部分气体高度为$\frac{1}{3}h$。已知大气压强为p_0，重力加速度为g，气体可看作理想气体，汽缸与连杆之间无摩擦且密封良好、

(1)求初始时刻汽缸内气体压强p_1；

(2)若汽缸导热性能良好，此时温度为T_1，汽缸受到外部热源影响，缸内温度升高，活塞缓慢上升$\frac{1}{6}h$时，求缸内气体温度T_2。



甲

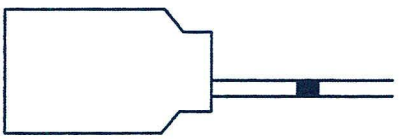


乙

4．今年暑假高温少雨，老师向同学们布置了一份特殊的实践作业。如图所示，小明在家中找到一个闲置的瓶子，向其中插入一根透明吸管，接口处用蜡密封，在吸管内引入一小段油柱（长度可以忽略）并在吸管上标刻温度。如果不计大气压的变化，这就是一个简易“气湿计”。李同学已测量好自己使用的瓶子容积是297cm^3，吸管内部粗细均匀，横截面积为0.2cm^2，吸管的有效长度为30cm，当室内温度为27℃时，油柱离管口左右均为15cm。

(1)请推理分析：吸管上标刻温度时，刻度是均匀的还是非均匀的？

(2)试求：小明的“气温计”测量的最低温度和最高温度（结果以“℃”为单位）。



考点五：气体等容变化

解题要点：

	查理定律
内容	一定质量的某种气体，在体积不变的情况下，压强与热力学温度成正比
表达式	$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$；拓展：$\Delta p=\frac{p_1}{T_1}\Delta T$
微观解释	**一定质量**的某种理想气体，**体积保持不变**时，分子的数密度保持不变； 温度升高时，分子的平均动能增大，气体的压强增大
图像	
关系	①等容变化中，压强与热力学温度成正比例关系； ②p-T 成正比例关系，图像延长线必过原点； ③利用图像比较体积：$p=\frac{C}{V}\cdot T$，斜率 $k=\frac{C}{V}$，即斜率越大，体积越小，得 $V_4<V_3<V_2<V_1$

题型一：查理定律

【精选例题】

【例 1】将氧气瓶由寒冷的室外搬到温暖的室内，并放置一段时间，瓶内氧气（　　）

A．分子热运动的平均动能变小，压强变小

B．分子热运动的平均动能变小，压强变大

C．分子热运动的平均动能增大，压强变小

D．分子热运动的平均动能增大，压强变大

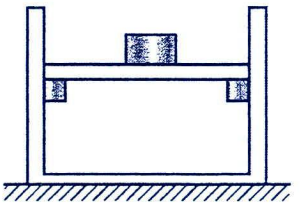
【例 2】查理定律的正确说法是一定质量的气体，在体积保持不变的情况下（　　）

A．气体温度每升高1℃，增加的压强等于它原来压强的$\frac{1}{273}$　　B．气体的压强跟摄氏温度成正比

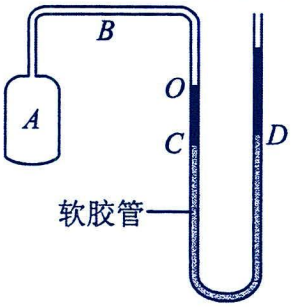
C．气体温度每降低1℃，减小的压强等于它原来压强的$\frac{1}{273}$　　D．以上说法都不正确

【例 3】如图所示，一内壁光滑的导热圆柱形汽缸静止在地面上。汽缸内部有卡环，卡环上方放有一质量$M=3\text{kg}$的活塞和一个质量$m=1\text{kg}$的物块，汽缸的横截面积为20cm^2，汽缸内封闭有体积为600cm^3的一定质量的理想气体，气体的温度为300K时，卡环对活塞的支持力为60N，（大气压强$p=1.0\times10^5\text{Pa}$，重力加速度$g=10\text{m/s}^2$），求：(1)此时汽缸内气体压强为多少？

(2)现对汽缸缓慢加热，当缸内气体温度上升到多少K时，活塞恰好离开卡环？

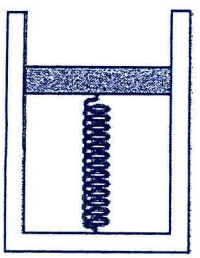


【例 4】气体温度计结构如图所示，玻璃测温泡A内充有理想气体，通过细玻璃管B和水银压强计相连。开始时A处于冰水混合物中，左管C中水银面在O点处，右管D中水银面高出O点$h_1=14\text{ cm}$，后将A放入待测恒温槽中，上下移动D，使C中水银面仍在O点处，测得D中水银面高出O点$h_2=44\text{cm}$。已知外界大气压相当于76 cmHg。求恒温槽的温度。



【例 5】如图所示，横截面积$S=100\text{cm}^2$的容器内，有一个用弹簧和底面相连的活塞，活塞的气密性良好，当容器内气体的温度$T_1=300\text{K}$时，容器内外的压强均为$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，活塞和底面相距$L_1=10\text{cm}$，弹簧的劲度系数$k=100\text{N/m}$；在活塞上放物体甲后，活塞最终下降$d=2\text{cm}$后保持静止，容器内气体的温度仍为$T_1=300\text{K}$。活塞质量及活塞与容器壁间的摩擦均不计，取$g=10\text{m/s}^2$。求：(1)求物体甲的质量$m_1$；

(2)在活塞上再放上物体乙，若把容器内气体加热到$T_2=330\text{K}$，系统平衡后，活塞保持放上物体甲平衡后的位置不变，求物体乙的质量m_2。



【跟踪训练】

1．一定质量的理想气体，在体积保持不变的条件下，若气体热力学温度值升高到原来的 2 倍，则（　　）

A．气体的压强增大到原来的 2 倍　　B．气体的压强减小到原来的一半

C．气体的压强可能不变　　D．气体压强与体积的乘积不变

2．玻璃杯中装入半杯热水后拧紧瓶盖，经过一段时间后发现瓶盖很难拧开。原因是（　　）

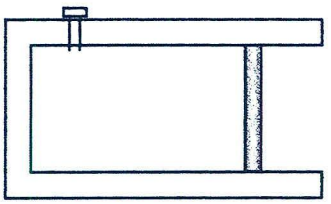
A．瓶内气体压强变小　　B．瓶内气体分子热运动的平均动能增加

C．瓶内气体速率大的分子所占比例增大　　D．瓶内气体分子单位时间内撞击瓶盖的次数增加

3．如图所示，带有气嘴、导热性能良好的汽缸固定在水平地面上，横截面积为 S、厚度不计的活塞与汽缸底部之间封闭有一定质量的气体，气体压强与大气压强 p_0 相同，活塞距气缸底部的距离为 L，环境温度为 T_0，大气压强恒为 p_0，活塞与汽缸之间的最大静摩擦力为 $\frac{1}{4}p_0S$，现用以下两种方式使活塞移动：

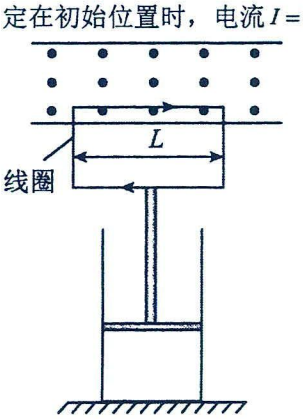
(1)封闭气嘴，缓慢加热气体，求气体温度加热到多大时活塞开始移动；

(2)打开气嘴，保持环境温度不变，将压强为 p_0 的气体充入汽缸，求充入气体的体积为多大时活塞开始移动。



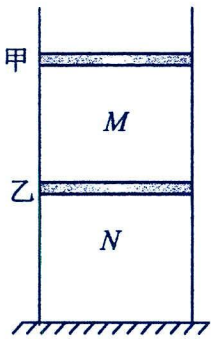
4．某物理实验小组设计了一个能测量温度的装置，如图为该装置的原理图。导热汽缸的下端固定，上端开口，并用活塞封闭一定质量的空气，活塞横截面积 $S=10\text{cm}^2$，活塞上固定一绝缘轻杆，轻杆上端固定一匝数 $n=1000$ 匝的矩形线圈，线圈处于竖直平面内，线圈上、下两边水平且长度均为 $L=20\text{cm}$，线圈、轻杆和活塞总质量 $m=2\text{kg}$。线圈上边处于匀强磁场中，磁场的磁感应强度大小 $B=0.5\text{T}$，方向垂直于纸面向外。初始时线圈内没有通入电流，汽缸所在环境温度 T_1=300K。已知外界大气压强 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，且始终保持不变，重力加速度 g 取 10m/s^2。变化过程中活塞始终不会从汽缸脱落，线圈上边始终在磁场内，下边始终在磁场外，封闭的空气可视为理想气体，不计活塞与汽缸壁间的摩擦。求：(1)求初始时汽缸内气体的压强 p_1；

(2)当将汽缸放置于待测环境内时，活塞向上运动，在线圈内通入顺时针方向的大小可调的电流，当活塞重新稳定在初始位置时，电流 $I=0.6\text{A}$，求待测环境的温度 T_2。



5．将一横截面为圆形的气缸开口向上固定在水平面上，如图所示，用两个质量和厚度不计的绝热活塞甲、乙将缸内的理想气体分为M、N两部分，当两部分气体的温度均为t_1=27℃时，M、N两部分气体达到平衡状态后的长度分别为L_1=0.4m，L_2=0.2m，现在活塞甲上施加一竖直向下的力，使活塞甲向下缓慢地移动6cm，且保持M、N两部分气体的温度恒为t_1=27℃，经一段时间两部分气体再次达到平衡状态。忽略一切摩擦，大气压强为p_0=1.0×10^5Pa。求：(1)两部分气体再次平衡时，活塞乙向下移动的距离以及N部分气体的压强分别为多少？

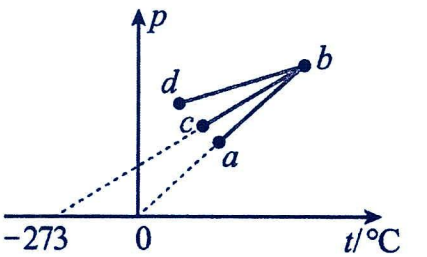
(2)当两部分气体再次平衡时，将活塞甲固定，保持M部分气体的温度不变，对N部分气体加热，当N部分气体的温度升高多少摄氏度时，N部分气体的长度恢复到原来的0.2m？（结果保留两位小数）



题型二：等容图像

【精选例题】

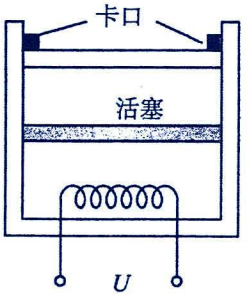
【例1】（多选题）如图所示，各实线分别表示一定质量的理想气体经历的不同状态变化过程，其中气体体积减小的过程为（　　）

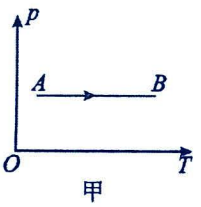


A．a→b　　B．b→a

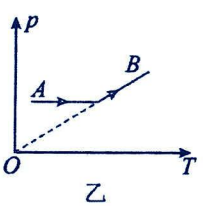
C．b→d　　D．d→b

【例2】如图所示，光滑的绝热汽缸内有一质量为m的绝热活塞，活塞下方封闭一定质量的理想气体，初始时气体状态为A。现用电热丝对汽缸内气体缓慢加热至某一状态B，停止加热前，活塞已经与卡口接触。下列图像能反映封闭气体状态变化的是（　）

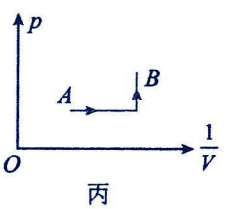




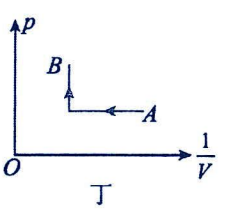
甲



乙



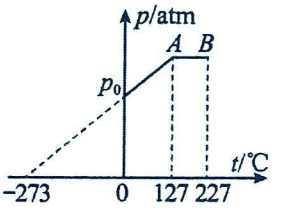
丙



丁

A．甲和丙　　B．甲和丁　　C．乙和丙　　D．乙和丁

【例 3】（多选题）0.3mol 的某种气体的压强和温度的关系图像（$p-t$ 图像）如图所示。P_0 表示 1 个标准大气压，标准状态（0℃，1 个标准大气压）下气体的摩尔体积为 $22.4L\cdot mol^{-1}$。下列说法正确的是（　　）

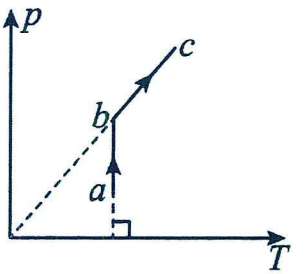


A．状态 A 时气体的体积为 6.72L　　B．状态 A 时气体的体积为 7.72L

C．状态 B 时气体的体积为 1.2L　　D．状态 B 时气体的体积为 8.4L

【跟踪训练】

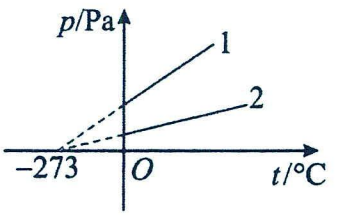
1．一定质量的理想气体，其状态经历 $a\to b\to c$ 的变化，$p-T$ 图线如图所示，在该过程中气体体积（　）



A．先不变后增大　　B．先增大后不变

C．先不变后减小　　D．先减小后不变

2．如图所示为一定质量的某种气体等容变化的图线，下列说法中正确的是（　　）



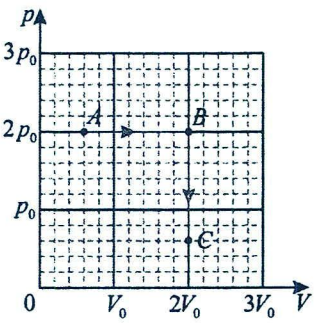
A．不管体积如何，图线只有一条

B．图线 1 和图线 2 体积不同且有 $V_1>V_2$

C．两图线气体体积 $V_2>V_1$

D．两图线必不会交于 t 轴上的同一点

3．如图所示，一定量的理想气体从状态 A 开始，经历两个过程，先后到达状态 B 和 C。有关 A、B 和 C 三个状态温度 T_A、T_B 和 T_C 的关系，正确的是（　　）



A．$T_A>T_B$，$T_B>T_C$　　B．$T_A<T_B$，$T_B>T_C$

C．$T_A=T_C$，$T_B=T_C$　　D．$T_A<T_C$，$T_B<T_C$

题型三：实际问题中得等容变化

【精选例题】

【例 1】汽车轮胎压力表的示数为轮胎内部气体压强与外部大气压强的差值。一汽车在平原地区行驶时，压力表示数为 $2.6p_0$（p_0 是 1 个标准大气压），轮胎内部气体温度为 315K，外部大气压强为 p_0。该汽车在某高原地区行驶时，压力表示数为 $2.5p_0$，轮胎内部气体温度为 280K。轮胎内部气体视为理想气体，轮胎内体积不变且不漏气，则该高原地区的大气压强为（　　）

A．$0.6p_0$　　B．$0.7p_0$　　C．$0.8p_0$　　D．$0.9p_0$

【例 2】如图所示，如果热水瓶中的热水未灌满就盖紧瓶塞，而瓶塞与瓶口的密封程度很好，经过一段时间后，要拔出瓶塞会变得很吃力。假设开始时瓶内水温为87℃，经过一段时间，温度降到47℃，热水瓶口的截面积为$10cm^2$，手指与瓶塞的动摩擦因数为 0.15。已知瓶内气体可视为理想气体，大气压强 $p_0=1.0\times10^5Pa$，不考虑瓶塞的重力及瓶塞与瓶口间的摩擦力，则两手指至少要用多大的压力作用在瓶塞上才能拔出瓶塞（　　）

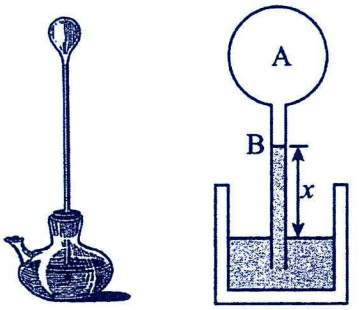


A．74N　　B．37N　　C．3.7N　　D．7.4N

【例 3】图甲是伽利略根据气体压强随温度的变化制造出的气体温度计，图乙是其模型示意图。玻璃泡 A 内封有一定量气体，与 A 相连的 B 管插在水银槽中，管内水银面的高度 x 即可反映泡内气体的温度（即环境温度），并可由 B 管上的刻度直接读出。玻璃泡 A 体积较大，B 管的体积与玻璃泡 A 的体积相比可忽略不计。

(1)在标准大气压下对 B 管进行温度刻度标注（标准大气压相当于 76cm 高的水银柱所产生的压强）。当温度 t_1 为 27℃时，管内水银面高度为 x_1=16cm，此高度即为 27℃的刻度线。问 t 为 47℃的刻度线在 x_2 为多少厘米处？

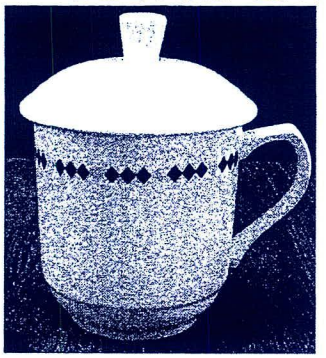
(2)若大气压为 74cmHg 时，利用该测温装置测量温度时所显示读数为 27℃，此时的实际温度为多少？



甲　　乙

【例 4】如图，刚经过高温消毒的茶杯和杯盖，从消毒碗柜里取出后，茶杯放置在水平桌面上并立刻盖上杯盖，茶杯内密封温度为 87℃、压强等于外界大气压强 p_0 的气体。已知杯盖的质量为 m，杯口面积为 S，重力加速度为 g，过一会儿茶杯内气体降温至室温 27℃。求：（1）降温后杯子内气体的压强；

（2）杯盖对茶杯的压力大小。

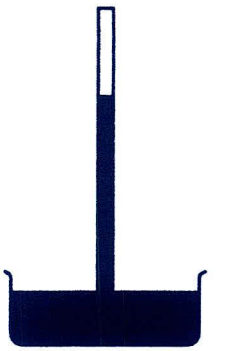


【例 5】如图所示为水银气压计的原理简图。气压计中混入的气泡上升到水银柱的上方，使水银柱上方不再是真空。当实际大气压为 768mmHg 时，这个水银气压计的示数只有 750mm，此时管中的水银面到管顶的距离为 80mm，环境温度为 27℃。不考虑细玻璃管中水银柱的升降对水银槽中液面的影响。

(1)若升高环境温度，大气压保持不变，长时间后气体增加的内能_____（选填“大于”、“小于”或“等于”）气体吸收的热量；

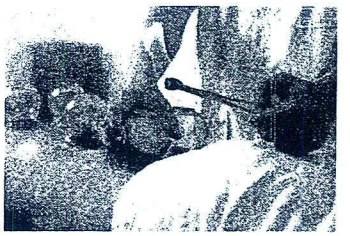
(2)若环境温度保持不变，气压计的示数减小了 10mm，求大气压改变了多少？

(3)若环境温度升高了 15℃，气压计的示数未变，求大气压改变了多少？



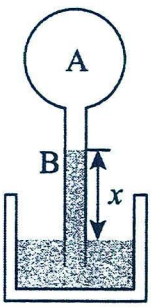
【跟踪训练】

1．“拔火罐”是我国传统医学的一种治疗手段。操作时，医生用点燃的酒精棉球加热一个小罐内的空气，随后迅速把小罐倒扣在需要治疗的部位，冷却后小罐便紧贴在皮肤上（如图）。设加热后小罐内的空气温度为80℃，当时的室温为20℃，大气压为标准大气压，不考虑因皮肤被吸入罐内导致空气体积变化的影响。小罐开口部位的直径请按照片中的情境估计，当罐内空气变为室温时，小罐内气体对皮肤的作用力最接近的是（　　）



A．2N　　B．20N　　C．2×10^2N　　D．2×10^3N

2．小明同学设计了一种测温装置，用于测量室内的气温（假设室内的气压为一个标准大气压且保持不变），结构如图所示，大玻璃泡A内有一定量的气体，与A相连的B管插在水银槽中，管内水银面的高度x可反映泡内气体的温度，即环境温度，B管的体积与大玻璃泡A的体积相比可忽略不计，已知高山上大气压小于一个标准大气压。则以下说法正确的是（　　）



A．B管上所刻的温度刻度上端稀疏、下端密集

B．室内的气压越大，B管上所刻的温度刻度越密集

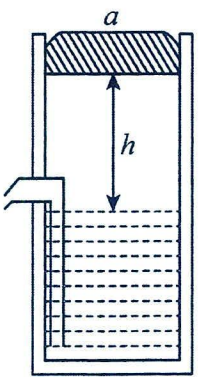
C．若把这个已经刻好温度值的装置移到高山上，测出的温度比实际偏低

D．为了在高山上准确测量温度，需将AB整体适当下移，不需要重新刻刻度

3．如图所示是某气压式柱形保温瓶的结构示意简图，活塞只在受到压力时才向下移动，倒入热水后，活塞a的下表面与液体相距h，两者间密闭有一定质量的气体，密闭气体的压强等于外界大气压强p_0.

①刚倒入热水时，瓶内空气温度为T_1，经过一段时间温度降至T_2，此时瓶内气体的压强多大？

②当温度降至T_2时，要把瓶中的水压出瓶外，活塞a至少下降多少距离？（设压活塞过程中气体温度不变）.



4．一瓶500mL的矿泉水，在室温为27℃时小明将它喝了一半后盖好瓶盖放入冰箱（矿泉水瓶未变形且不漏气）。冰箱中的温度计示数为3℃，冰箱内的温度可认为不变，外界大气压强恒为$p_0=1\times10^5$Pa，摄氏温度t与热力学温度的关系是$T=t+273$K。求：(1)较长一段时间后，求瓶内气体压强；

(2)若矿泉水瓶受挤压而变形，降温后瓶内气体压强等于外界大气压强，求在3℃时瓶内气体的体积。

5．一种新型的气垫运动鞋能有效为运动员的脚提供缓冲保护。运动鞋气垫内封闭着一定质量的气体（可视为理想气体），温度为 T_0 时，压强为 p_0。

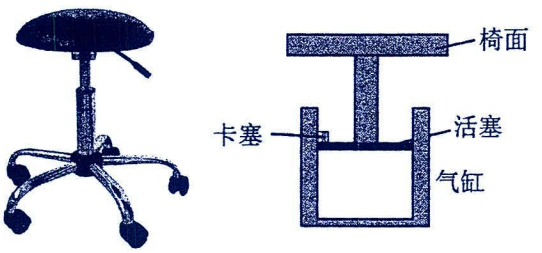


（1）缓慢踩压气垫，气垫内气体温度可视为不变，当气垫内气体压强变为 $1.25p_0$ 时，该气体的体积变为原来的几倍；

（2）某次跑步过程中，气垫内气体被反复压缩、扩张，最终气垫内气体恢复初始体积，温度变为 $1.08T_0$，求此时气垫内气体压强 p。

6．如图为气压升降椅及核心部件模型简图。活塞横截面积为 S，气缸内封闭一定质量的理想气体，该气缸导热性能良好，忽略一切摩擦。调节到一定高度，活塞上面有卡塞，活塞只能向下移动，不能向上移动。已知室内温度为 27℃，气缸内封闭气体压强为 p，稳定时气柱长度为 L，此时活塞与卡塞恰好接触且二者之间无相互作用力，重力加速度为 g。求：（1）当室内温度升高 15℃时，求气缸内封闭气体增加的压强；

（2）若室内温度保持 27℃不变，将一质量为 M 的物体缓慢放在椅面上，求稳定后活塞向下移动的距离。



考点六：理想气体

解题要点：

1.理想气体

(1)宏观模型：在在任何温度、任何压强下始终遵守气体实验定律的气体。

注意：实际气体在压强不太大、温度不太低的条件下，可视为理想气体。

(2)微观模型：理想气体的分子间除碰撞外无其他作用力，即分子间无分子势能。

(3)一定质量的某种理想气体的内能仅由温度决定。

题型一：理想气体的特点

【精选例题】

【例 1】（多选题）关于理想气体的性质，下列说法正确的是（　　）

A．理想气体是一种假想的物理模型，实际并不存在

B．理想气体的存在是一种人为规定，它是一种严格遵守气体实验定律的气体

C．一定质量的理想气体，平均动能增大，其温度一定升高

D．氦气是液化温度最低的气体，任何情况下均可当作理想气体

【例 2】关于理想气体的内能，下列说法正确的是（　）

A．理想气体存在分子势能　　B．理想气体的内能是分子平均势能和平均动能的总和

C．一定质量的理想气体内能仅跟体积有关　　D．一定质量的理想气体内能仅跟温度有关

【跟踪训练】

1．（多选题）关于理想气体的认识，下列说法正确的是（　　）

A．它是一种能够在任何条件下都能严格遵守气体实验定律的气体

B．它是一种从实际气体中忽略次要因素，简化抽象出来的理想模型

C．在温度不太高、压强不太小的情况下，气体可视为理想气体

D．被压缩的气体，不能视为理想气体

2．（多选题）关于理想气体，下列说法正确的是（　　）

A．理想气体能严格遵守气体实验定律

B．实际气体在温度不太高、压强不太大的情况下，可看成理想气体

C．实际气体在温度不太低、压强不太大的情况下，可看成理想气体

D．所有的实际气体在任何情况下，都可以看成理想气体

题型二：理想气体方程

解题要点：

1.理想气体状态方程：质量一定的理想气体，满足：$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$或$\frac{pV}{T}=C$。(C 为常数)

2.理想气体状态方程与气体实验定律的关系

$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ 温度不变：$p_1V_1=p_2V_2$　玻意耳定律；体积不变：$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}$　查理定律；压强不变：$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}$　盖-吕萨克定律

3.重要推论

①查理定律的推论：$\Delta p=\frac{p_1}{T_1}\Delta T$

②盖-吕萨克定律的推论：$\Delta V=\frac{V_1}{T_1}\Delta T$

4.拓展：克拉铂龙方程：

①同态表达式：pV=nRT；

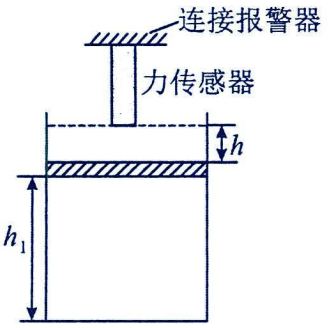
②变形表达式：$\frac{p}{\rho}=RT\frac{1}{M}\rightarrow pM=\rho RT$

③分态式方程：$\frac{p_0V_0}{T_0}=\frac{p_1V_1}{T_1}+\frac{p_2V_2}{T_2}+\cdots$

【精选例题】

【例 1】小明自制了一个自动火情报警装置，其原理如图所示。一导热性能良好的汽缸固定在水平面上，汽缸开口向上，用质量 m = 1 kg、横截面积为 5 cm^2 的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞可沿汽缸壁无摩擦地滑动。当外界的温度为 27°C 时，活塞下表面距汽缸底部的距离 h_1 = 18 cm，活塞上表面距固定的力传感器的距离 h = 2 cm。当出现火情且环境温度上升至 127°C 时，触发报警器工作。已知外界大气的压强 $p_0 = 1 \times 10^5$ Pa 且始终保持不变，重力加速度 g 取 10 m/s^2。求：(1)活塞刚接触力传感器时气体的温度。（结果保留整数）

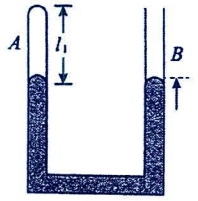
(2)环境温度为 127°C 时力传感器的示数。



【例 2】如图所示为粗细均匀、一端封闭一端开口的 U 形玻璃管。当 t_1=31℃，大气压强为 p_0=76cmHg 时，两管水银面相平，这时左管被封闭的理想气体气柱长 l_1=8cm。当温度升高到 t_2 时，左管气柱长 l_2 为 9cm，求：

（1）此时封闭的理想气体的压强 p_2；

（2）t_2 等于多少摄氏度。

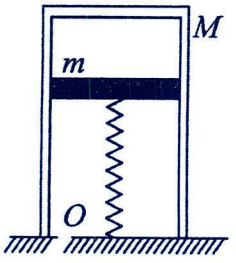


【例 3】一汽缸竖直放在水平地面上，缸体质量 M =10kg，活塞质量 m = 4kg，活塞横截面积 $S = 2\times10^{-3}m^2$，活塞上面的汽缸内封闭了一定质量的理想气体，下面有气孔 O 与外界相通，大气压强 p_0=1.0×10^5Pa，活塞下面与劲度系数 $k = 2\times10^3$ N / m 的轻弹簧相连，当汽缸内气体温度为127°C时弹簧为自然长度，此时缸内气柱长度 L_1=20cm，已知缸体总深度 L_2=32cm，重力加速度 g 取 10m/s^2，活塞不漏气且与缸壁无摩擦。求：

（1）此时缸内气体的压强为多少？

（2）缓慢升高缸内气体温度，当缸体对地面压力刚好为 0 时，缸内气体的温度为多少 K？

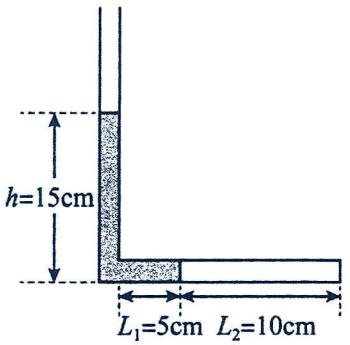
（3）要使活塞与汽缸不分离，缸内气体温度不超过多少 K？



【例 4】如图所示为一粗细均匀内径很小的 L 型玻璃管，其中竖直管开口且足够长，水平管右端封闭。现在向竖直管中缓慢注入水银，在水平管中封闭了一定质量的理想气体，相关数据如图所示。已知大气压强 p_0=75cmHg，环境温度 T_1=300K。不计水银的热胀冷缩．求：（1）封闭气体的压强 p_1；

（2）缓慢均匀加热封闭气体，当水平管中的水银全部进入竖直管时气体的温度 T_2；

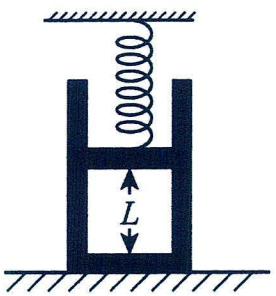
（3）继续缓慢均匀加热封闭气体直到温度达到 T_3=570K，整个加热过程竖直管中水银面上升的总高度 H。



【例 5】如图所示，竖直放置在粗糙水平面上的绝热汽缸，汽缸里封闭一部分理想气体。其中缸体质量 $M=4\text{kg}$，活塞质量 $m=4\text{kg}$，横截面积 $S=2\times10^{-3}\text{m}^2$，大气压强 p_0=1.0×10⁵Pa，活塞的上部与劲度系数为 $k=2\times10^2\text{N/m}$ 的弹簧相连，挂在某处。当汽缸内气体温度为 227℃时，弹簧的弹力恰好为零，此时缸内气柱长为 $L=80\text{cm}$。求：

(1)当缸内气体温度为多少 K 时，汽缸对地面的压力为零；

(2)当缸内气体温度为多少 K 时，汽缸对地面的压力为 160N。（g 取 10m/s^2，活塞不漏气且与汽缸壁无摩擦）

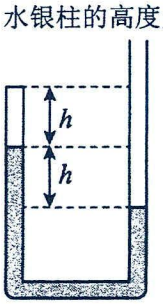


【跟踪训练】

1．如图所示，粗细均匀的玻璃管放置在水平面上，右端开口左端封闭，一段理想气体被水银柱封闭在左端左上方，稳定时理想气体的温度为 T_0=300K，左右液面的高度差为 $h=19\text{cm}$，理想气体的高度也为 $h=19\text{cm}$，已知大气压强为 p_0=76cmHg，求：

（1）若缓慢的升高封闭气体的温度，当左右液面的高度相同时，气体的温度为多少？

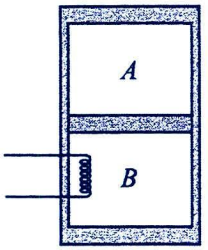
（2）若从开口端向管内添加一定量的水银，稳定后左右液面的高度相同，气体的温度仍为 T_0=300K，则添加的水银柱的高度为多少？



2．如图所示，竖直汽缸中间放置一可上下移动的绝热活塞，将汽缸分为A、B两部分，且A部分导热良好，B部分绝热。汽缸内横截面积为S，高度为$2h$，活塞的厚度可忽略。初始时刻，汽缸竖直放置，活塞位于汽缸中间位置，A、B内气体的压强分别为p_0、$1.5p_0$，气体温度均为T_0。忽略一切摩擦，重力加速度为g。

(1)求活塞质量m。

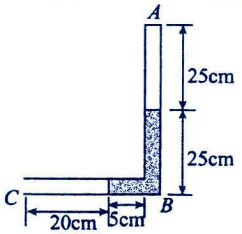
(2)若利用充气装置给A部分充入等量的相同状态气体，且通过B部分的电阻丝改变气体温度，最终A、B部分的高度比为2：1，求最终B中气体的温度T。



3．如图，粗细均匀的L形导热细玻璃管固定在竖直面内，竖直部分AB顶端封闭，长为55cm，通过水银柱在管内封闭一段长为30cm的理想气体，水平部分BC左端开口，管内的水银柱总长为30cm，水银柱左侧面到C端的距离为20cm，已知大气压强为75cmHg，环境温度为300K。

（1）若温度缓慢升高，发现水银柱左侧面向左移动的距离为10cm，求此时环境温度；

（2）若保持（1）中环境温度不变，将玻璃管C端用活塞封闭，并缓慢向右推动活塞，当AB中水银柱回到初始高度时，求此时竖直管内气体的压强。



4．如图所示，水银柱将一定质量的理想气体封闭在竖直放置的上端开口的玻璃管内，玻璃管上粗下细，粗管横截面积是细管的3倍，上半部分足够长，水银柱的上表面正好与细管上端口齐平。大气压强为p_0，封闭气体的压强为$2p_0$，水银柱的长度为L，封闭气体的长度也为L，封闭气体的温度为T_0，缓慢地给封闭气体加热，当水银柱刚好全部进入粗管中时，求：

(1)此时封闭气体的压强p_1；

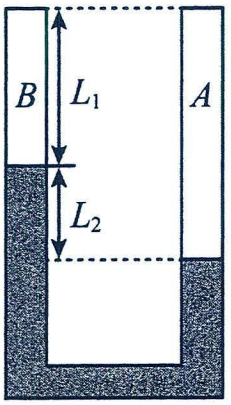
(2)此时封闭气体的温度T_1。



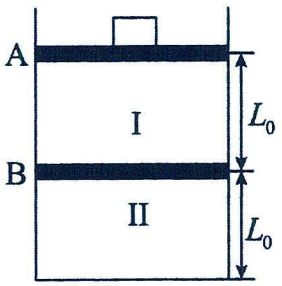
5．如图所示，竖直面内有一粗细均匀的 U 形玻璃管。初始时，U 形管右管上端封有压强 p_0=75cmHg 的理想气体 A，左管上端封有长度 $L_1=7.5\text{cm}$ 的理想气体 B，左，右两侧水银面高度差 $L_2=5\text{cm}$，其温度均为 280K。

（1）求初始时理想气体 B 的压强；

（2）保持气体 A 温度不变，对气体 B 缓慢加热，求左右两侧液面相平时气体 B 的温度。



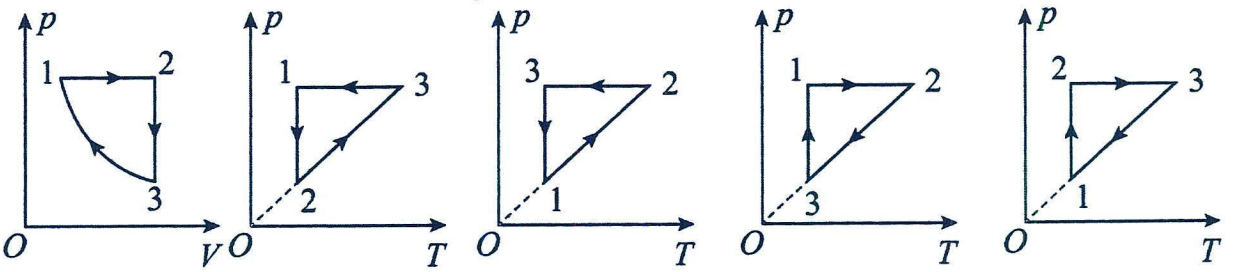
6．如图所示，一开口向上的汽缸固定在水平地面上，质量均为 m、厚度不计、横截面积均为 S 的活塞 A、B 将缸内气体分成I、II两部分，在活塞 A 的上方放置一质量也为 m 的物块，整个装置处于静止状态，此时I、II两部分气体的长度均为 L_0，I气体温度 $T_1=T_0$。已知大气压强 $p_0=\dfrac{2mg}{S}$，气体可视为理想气体，II气体温度始终保持不变，不计一切摩擦，汽缸足够高。当把活塞 A 上面的物块取走时，活塞 A 将向上移动，系统重新达到静止状态，I气体温度 $T_1'=\dfrac{27}{40}T_0$，求此过程活塞 A 上升的高度。



题型三：理想气体方程的图像问题

【精选例题】

【例 1】如图表示一定质量的理想气体从状态 1 出发经过状态 2 和 3，最终又回到状态 1，其中从状态 3 到状态 1 图线为双曲线的一部分。那么，在下列 p-T 图像中，反映了上述循环过程的是（　　）



A　　B　　C　　D

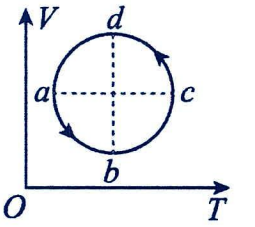
【例 2】如图所示为一定质量的理想气体体积 V 随热力学温度 T 变化的图像，则下列说法正确的是（　　）

A．从状态 a 到状态 c，气体分子密度先减小后增大

B．从状态 a 到状态 c，气体分子的平均速率先增大后减小

C．在状态 d 时与在 b 状态时相比，单位时间内与器壁单位面积碰撞的分子数少

D．气体在状态 a 的压强大于气体在状态 b 的压强



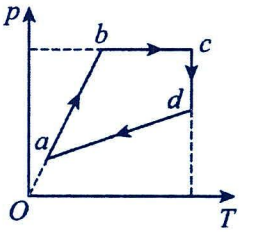
【例 3】（多选题）图示描述了一定质量的理想气体状态变化过程中的四个状态，图中 ab 的延长线过原点，则下列说法正确的是（　　）

A．$a \to b$ 的过程，气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的平均次数不变

B．$b \to c$ 的过程，气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的平均次数减小

C．$c \to d$ 的过程，气体分子的数密度增大

D．$d \to a$ 的过程，气体分子数密度增大，分子的平均速率减少



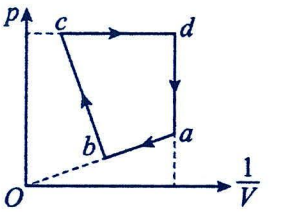
【例 4】（多选题）一定质量的理想气体经历一系列状态变化，其 $p-\frac{1}{V}$ 图线如图所示，变化顺序为 $a \to b \to c \to d \to a$，图中 ab 段延长线过坐标原点，cd 线段与 p 轴垂直，da 线段与 $\frac{1}{V}$ 轴垂直。则（　）

A．状态 $a \to b$，压强减小、温度不变、体积增大

B．状态 $b \to c$，压强增大、温度降低、体积减小

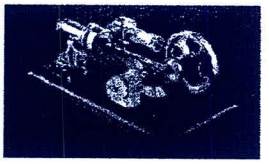
C．状态 $c \to d$，压强不变、温度降低、体积减小

D．状态 $d \to a$，压强减小、温度升高、体积不变

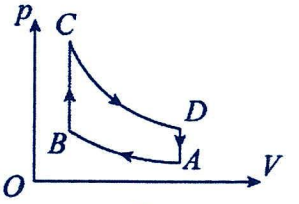


【跟踪训练】

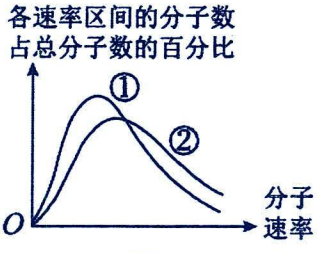
1．网上热卖的一科普小制作——斯特林发动机如图甲所示，它是通过汽缸内的气体经过冷却、压缩、吸热、膨胀为一个周期的循环来输出动力的，因此又被称为热气机。如图乙所示，在斯特林循环的 p—V 图像中，一定质量的理想气体从状态 A 依次经过状态 B、C 和 D 后再回到状态 A，整个过程由两个等温过程和两个等容过程组成，状态 A 和状态 D 的气体分子热运动速率的统计分布图像如图丙所示。则下列说法正确的是（　　）



甲



乙



丙

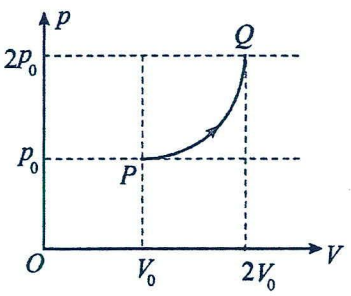
A．状态 B→状态 C 的过程中，单位体积中的气体分子数目增大

B．状态 B 气体的温度大于状态 D 气体的温度

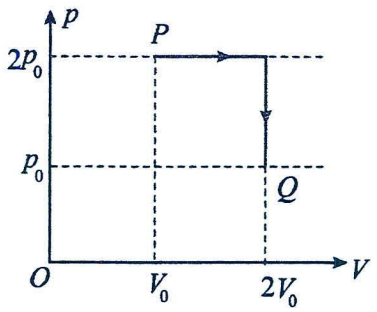
C．状态 A 对应的是图丙中的图线①

D．状态 C 中每个气体分子的动能都比状态 A 中的大

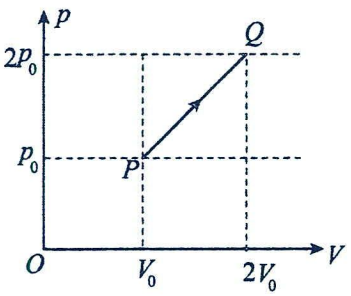
2．n mol理想气体经过一个缓慢的过程，从状态 P 沿抛物线到达状态 Q，其V（体积）–T（绝对温度）图如图所示。已知此过程中当$V=\frac{3}{2}V_0$时，温度达到最大值$T_{max}=\frac{9}{4}\frac{p_0V_0}{nR}$（其中$p_0$和$V_0$分别是状态 P 的压强和体积，$R$是普适气体常量）。若状态 P 和 Q 的温度$T_P$和$T_Q$都等于$\frac{2p_0V_0}{nR}$，则该过程的 p（压强）-V 图为（　）



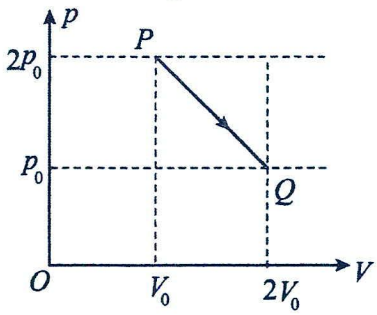
A



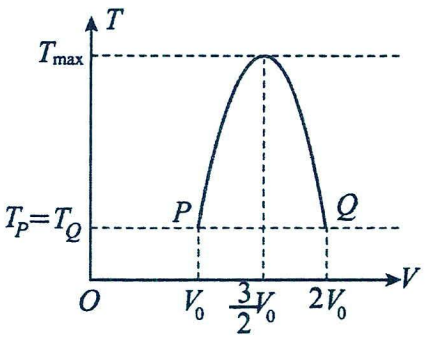
B



C



D

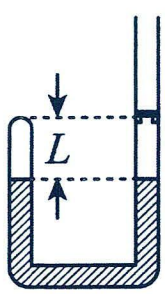


题型三：理想气体方程的综合应用

【精选例题】

【例 1】如图所示，均匀薄壁 U 形玻璃管，左管上端封闭，右管上端开口且足够长，管内装有一定量的某种液体。右管内有一轻活塞，与管壁间无摩擦且不漏气。活塞与管内液体在左、右管内密封了两段空气柱（可视为理想气体）。当温度为 T_0 时，左、右管内液面等高，两管内空气柱长度均为 L。已知大气压强为 P_0，玻璃管横截面积为 S，不计轻活塞重力。现将左右两管理想气体缓慢升高相同的温度，使两管液面高度差为 L，左管压强变为原来的 1.2 倍。求：(1)理想气体温度升高到多少时两管液面高度差为 L？

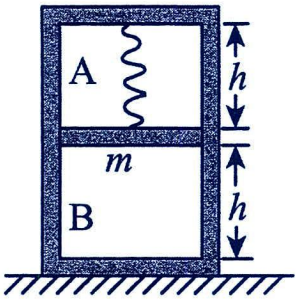
(2)温度升高过程中，　右管内的轻活塞上升的距离为多少？



【例 2】如图所示，密封良好的圆柱形容器竖直放置在水平地面上，其顶部固定且导热良好，其他部分绝热。质量为 0.5kg 的绝热活塞将理想气体分为 A 和 B 两部分，活塞横截面积为 $0.01\,m^2$，厚度不计，能无摩擦地滑动，活塞上表面和容器顶部与轻弹簧连接。初始时容器内两部分气体的温度相同，气柱的高度均为 0.5 m，气体 A 的压强为 $1.0\times10^4\,Pa$，弹簧处于原长状态。加热气体 B 一段时间（加热装置未画出且体积可忽略），活塞缓慢上升 0.1 m 后，系统再次平衡，此时气体 B 的温度为原来的 1.6 倍。重力加速度 g 取 $10m/s^2$，试求：

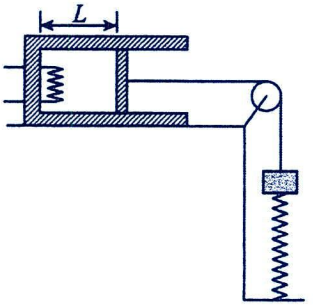
(1)再次平衡时容器气体 A 的压强 p_A'；

(2)弹簧的劲度系数 k。



【例 3】如图所示，封闭有一定质量理想气体的汽缸固定在水平桌面上，开口向右，活塞的横截面积为 S，活塞与质量为 m 的物块用跨过定滑轮上的轻绳连接，滑轮两侧的轻绳分别处于水平和竖直状态，劲度系数为 k 的竖直轻弹簧下端固定，上端与物块连接。开始时，活塞与汽缸底部的间距为 L，被封闭气体压强为 P_1、绝对温度为 T_1，弹簧处于拉伸状态且弹力大小 $F_1=mg$。已知大气压强 $p_0=np_1$（$n>2$，g 为重力加速度大小）。不计一切阻力，弹簧始终处于弹性限度内。后来对被封闭气体缓慢加热直至弹簧弹力大小为零，此时被封闭气体压强为 P_2，（结果用 m、k、n、L、g、T_1 表示）（i）求：$\frac{p_2}{p_1}=?$

（ii）求：封闭气体压强为 p_2 时的绝对温度 T_2；



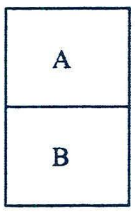
【跟踪训练】

1．如图所示，竖直放置的圆柱形汽缸，被厚度不计的绝热活塞分成A、B两气室，两气室充入温度相同的空气，活塞恰好位于汽缸中央。已知活塞的质量为m，面积为S，A、B两气室的温度为T_0，A气室中的压强为p_0，重力加速度为g，不计活塞和汽缸间的摩擦。(1)求A、B中空气的分子数之比；

(2)为使A、B的体积比为2:1，可以采取以下措施：

①．若保持B的温度不变，使A的温度缓慢升高，求A最终的温度；

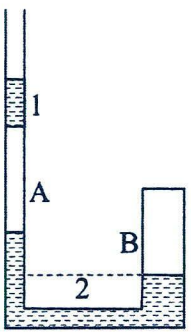
②．若保持A、B的温度不变，使整个装置向上做匀加速直线运动，求加速度大小。



2．如图所示，导热良好的U形管竖直放置，足够长的左管开口向上，封闭的右管直径是左管的2倍。管中有两段水银柱1、2，在管内封闭两段气柱A、B，两段气柱长均为10cm，水银柱1长为5cm，水银柱2在左管中液面比右管中液面高5cm。大气压为p0=75cmHg，环境温度为300K，现要使水银柱2在左、右管中液面相平，求：（结果均可用分式表示）

（1）若通过缓慢降低环境温度使水银柱2在左、右管中液面相平，则液面相平时环境温度为多少？

（2）若保持环境温度300K不变，通过向左管中缓慢倒入水银，使水银柱2在左、右管中液面相平，则从左管口倒入的水银柱长为多少，水银柱1下降的高度为多少？



第三讲：固体：液体

考点一：固体

解题要点：

1.分类：固体分为晶体和非晶体两类；晶体又分为单晶体和多晶体。

2.晶体和非晶体的比较

分类 比较	晶体		非晶体
	单晶体	多晶体	
外形	有规则的几何形状	无确定的几何形状	无确定的几何外形
熔点	确定	确定	不确定
物理性质	各向异性	各向同性	各向同性
原子排列	有规则	晶粒的排列无规则	无规则
典型物质	石英、云母、明矾、食盐	各种金属	玻璃、橡胶、蜂蜡、松香、沥青
转化	晶体和非晶体在一定条件下可以相互转化		

注意：多晶体没有规则外形，多晶体中每个小晶体间的排列无规则。

3.晶体和非晶体的理解

(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)凡是具有各向异性的物体必定是晶体，且是单晶体。

(3)单晶体具有各向异性，但不是在各种物理性质上都表现出各向异性。

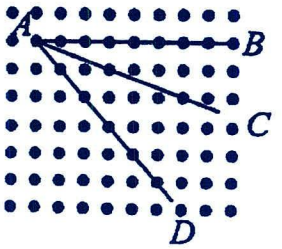
(4)晶体和非晶体在一定条件下可以相互转化。

4.拓展：各向异性的微观解释

如图所示的是在一个平面上晶体物质微粒的排列情况。

从图中可以看出，在沿不同方向所画的等长直线 AB、AC、AD 上物质微粒的数目不同；直线 AB 上物质微粒较多，直线 AD 上较少，直线 AC 上最少。

因为在不同方向上物质微粒的排列情况不同，所以这才引起晶体在不同方向上物理性质的不同。



题型一：晶体与非晶体

【精选例题】

【例 1】下列物质不属于晶体的是（　　）

A．金刚石　　B．玻璃　　C．明矾　　D．雪花

【例 2】固体可分为晶体和非晶体，下列说法正确的是（　　）

A．玻璃是晶体　　B．晶体具有确定的熔点

C．非晶体有规则的外形　　D．晶体都具有各向异性

【例 3】关于晶体和非晶体，下列说法正确的是（　　）

A．晶体在物理性质上一定是各向异性的

B．只要是不具有确定的熔点的固体就必定是非晶体

C．由同一种化学成分形成的物质只能以一种晶体结构的形式存在

D．在熔化过程中，晶体要吸收热量，但温度保持不变，内能也保持不变

【例 4】（多选题）关于晶体和非晶体，下列说法中正确的是（　　）

A．同种物质不可能呈现晶体和非晶体两种不同的形态

B．晶体中原子（或分子、离子）都按照一定规则排列，具有空间上的周期性

C．单晶体和多晶体都具有各向异性的物理性质

D．单晶体具有规则的外形是由于它的微粒按一定规律排列

【例 5】（多选题）关于晶体与非晶体，正确的说法是（　　）

A．固体可以分为晶体和非晶体两类，晶体、非晶体是绝对的，是不可以相互转化的

B．多晶体是许多单晶体杂乱无章地组合而成的，所以多晶体没有确定的几何形状

C．晶体沿不同方向的导热或导电性能相同，但沿不同方向的光学性质一定相同

D．单晶体有确定的熔点，非晶体没有确定的熔点

E．有的物质在不同条件下能够生成不同晶体，是因为组成它们的微粒能够按照不同规则在空间分布

【例 6】晶体熔化过程中所吸收的热量主要用于（　　）

A．破坏空间点阵结构，增加分子势能　　B．破坏空间点阵结构，增加分子势能，同时增加分子动能

C．破坏空间点阵结构，增加分子动能　　D．破坏空间点阵结构，增加分子势能，但不增加分子动能和内能

【跟踪训练】

1．对下列几种固体物质的认识，正确的是（　　）

A．石墨和金刚石的物理性质不同，是由于组成它们的物质微粒排列结构不同

B．烧热的针尖接触涂有蜂蜡薄层的云母片背面，熔化的蜂蜡呈椭圆形，说明蜂蜡是晶体

C．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

D．玻璃是晶体，它有固定的熔点

2．晶体具有各向异性的特点是由于（　　）

A．晶体在不同方向上物质微粒的排列情况不同　　B．晶体在不同方向上物质微粒的排列情况相同

C．晶体内部结构的无规则性　　D．晶体内部结构的有规则性

3．2024年4月25日北京大学科研团队公布了我国在光学晶体理论方面的原创性突破一菱方氮化硼晶体，这是目前已知最薄的光学晶体。下列关于晶体的说法正确的是（　　）

A．单晶体有固定的熔点，多晶体没有固定的熔点　　B．晶体熔化过程中，分子平均动能不变

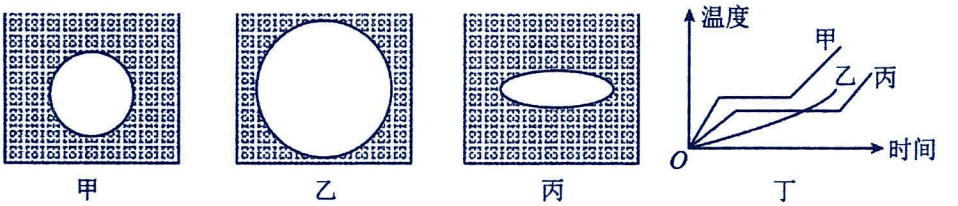
C．晶体熔化过程中，分子平均势能不变　　D．单晶体的光学性质一定各向异性

4．（多选题）金属玻璃是由传统的金属晶体经过急冷处理制得的一种非晶体合金，下列说法正确的是（　　）

A．传统金属没有固定的熔点　　B．金属玻璃内部的原子排列是规则的

C．金属玻璃的物理性质具有各向同性　　D．晶体与非晶体在一定条件下可以相互转化

5．在甲、乙、丙三块固体薄片上涂上蜡，用烧热的针尖接触其背面一点，蜡熔化的范围如图甲、乙、丙所示。而三块固体在熔化过程中温度随加热时间变化的关系如图丁所示，则下列说法中正确的是（　　）



A．甲一定是非晶体　　B．乙可能是金属薄片

C．丙在一定条件下可能转化成乙　　D．丙熔化过程中，吸收热量，则分子平均动能增加

6．石英制成的传感器，其受压时表面会产生大小相等、符号相反的电荷——压电效应。如图所示，石英晶体上下表面间的压电效应与对应侧面间的不同。则对于石英晶体下列说法正确的是（　）

A．石英是非晶体

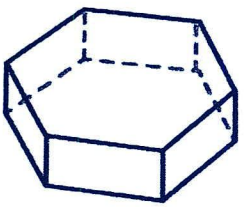
B．石英没有确定的熔点

C．石英内部分子按照一定的规律排列，具有空间上的周期性

D．其导热性在不同表面也一定不同

E．石英晶体是各向同性的

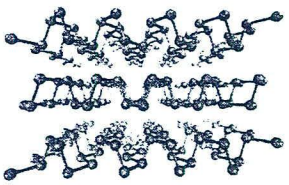
F．可制成测定压力大小的传感器



题型二：晶体的微观结构

【精选例题】

【例 1】已知黑磷是有黑色金属光泽的半导体，是白磷在很高压强和较高温度下转化形成的。图为黑磷的微观结构，下列说法正确的是（　　）

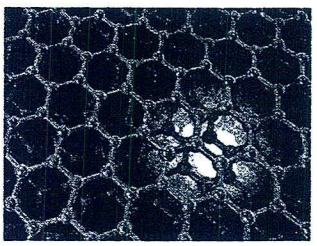


A．黑磷是晶体材料　　B．黑磷和白磷是同位素

C．黑磷没有固定的熔点

D．黑磷的微观结构各层都不同，每层内部结构松散

【例 2】（多选题）石墨中分离出的新材料，其中碳原子紧密结合成单层六边形晶格结构，如图所示，则（　　）



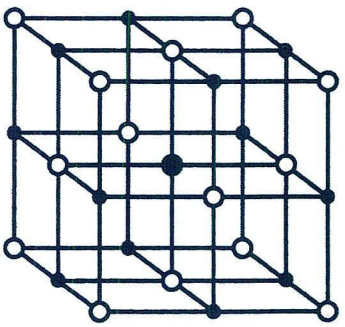
A．石墨是晶体

B．石墨研磨成的细粉末就是石墨烯

C．单层石墨烯的厚度约 3 μm

D．碳原子在六边形顶点附近不停地振动

【例 3】食盐是生活中不可缺少的调味品，右图是食盐中氯离子和钠离子的分布示意图。则（　　）



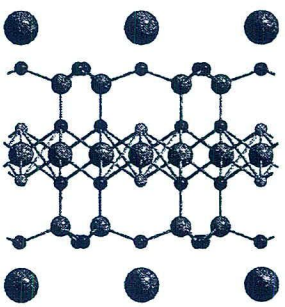
A．氯离子和钠离子是静止不动的

B．离子的空间点阵分布特点说明食盐是晶体

C．盐粒受潮粘在一起形成的盐块是非晶体

D．食盐加热熔化过程中分子平均动能增加

【例 4】中国科学技术大学团队利用纳米纤维与合成云母纳米片研制出一种能适应极端环境的纤维素基纳米纸材料。如图所示为某合成云母的微观结构示意图，在该单层云母片涂上薄薄的石蜡并加热时，融化的石蜡呈现椭圆状，则该合成云母（　　）

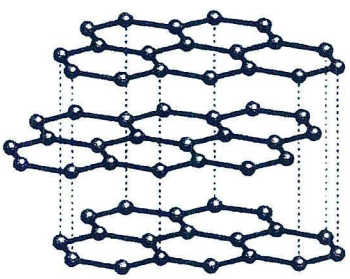


A．没有规则的外形　　B．有固定的熔点

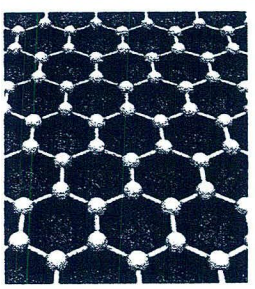
C．各原子都保持静止不动　　D．是多晶体

【跟踪训练】

1．石墨是碳原子按图甲排列形成的，其微观结构为层状结构。图乙为石墨烯的微观结构，单碳层石墨烯是单层的石墨，厚 1 毫米的石墨大概包含大约三百万层石墨烯。石墨烯是现有材料中厚度最薄、强度最高、导热性最好的新型材料。则（　　）



甲



乙

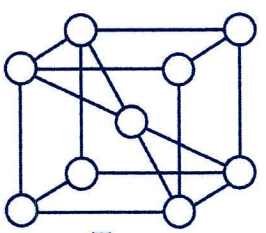
A．石墨中的碳原子静止不动

B．碳原子的直径大约为 3×10^{-9}m

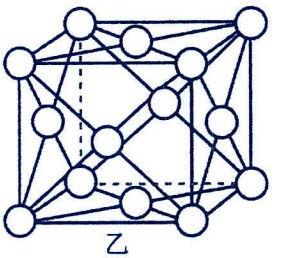
C．石墨烯碳原子间只存在分子引力

D．石墨烯的熔解过程中，碳原子的平均动能不变

2．同一种原子可以形成不同空间结构的晶体，比如在常压下α铁具有体心立方结构（图甲），而γ铁则具有面心立方结构（图乙），这称为铁的同素异形体。关于铁的两种同素异形体，下列说法正确的是（　）



甲



乙

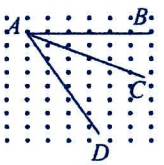
A．由甲图可知，由α铁组成的物体一定具有各向异性

B．由乙图可知，由γ铁组成的物体没有固定的熔点

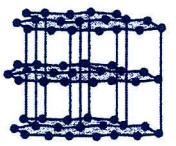
C．由甲、乙两图可知，纯铁由α铁转化为γ铁时体积会缩小

D．由甲、乙两图可知，由α铁和γ铁组成的物体硬度相同

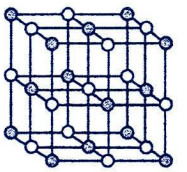
3．（多选题）关于下列四幅图中所涉及晶体微观结构及其解释的论述中，不正确的是（　　）



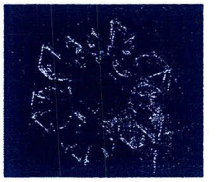
甲



乙



丙



丁

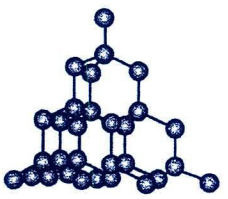
A．图甲中，晶体中沿不同的方向上微粒排列的情况不同，故晶体在不同的方向上会表现出不同的物理性质

B．图乙为金刚石中碳原子形成的一种紧密结构，相互之间作用力很强，所以金刚石十分坚硬，可制造玻璃刀和钻头

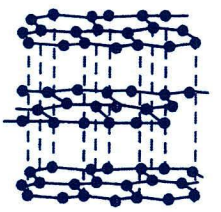
C．图丙为食盐晶体的点阵结构，晶体的许多特性都与点阵结构有关

D．图丁为雪花的微观结构，雪花是晶体，当雪化成水后，水也是晶体

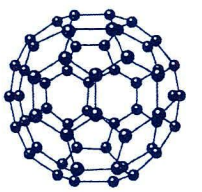
4．观察对比图中金刚石、石墨、富勒烯和石墨烯的微观结构，判断下列几种说法的正误，并说明原因。



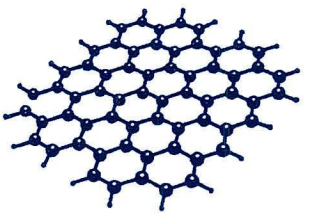
金刚石



石墨



富勒烯



石墨烯

（1）它们的物理性质有很大的差异。

（2）金刚石是单晶体，富勒烯是多晶体。

（3）它们是同一物质，只是内部微粒的排列不同。

考点二：液体

题型一：液体微观结构

解题要点：

1.液体的微观结构的三个特点

(1)分子间距离很小——只比固体分子间距离大 3%-4%；

(2)液体分子间相互作用力很大；

(3)液体分子热运动表现为振动与移动相结合。

2.非晶体微观结构与液体非常相似，所以严格讲，只有晶体才是固体，非晶体是黏滞性极大的液体。

【精选例题】

【例 1】关于液体的微观结构，下列说法正确的是(　　)

A．液体分子在振动，但无确定的平衡位置

B．液体分子间距离很大，相互作用力很弱

C．液体分子在杂乱无章地运动，无任何规律性

D．液体分子排列整齐，在确定的平衡位置附近振动

【例 2】液体与固体具有的相同特点是

A．都具有确定的形状

B．体积都不易被压缩

C．物质分子的位置都确定

D．物质分子都在固定位置附近振动

【跟踪训练】

【例 1】关于液体，下列说法正确的是

A．液体的性质介于气体和固体之间，更接近气体

B．小液滴成球状，说明液体有一定形状和体积

C．液面为凸形时表面张力使表面收缩，液面为凹形时表面张力使表面伸张

D．液体的扩散比固体的扩散快

【例 2】（多选题）关于液体和固体，下列说法正确的是（　　）

A．液体分子间的相互作用比固体分子间的相互作用强

B．液体分子同固体分子一样，也是密集在一起的

C．液体分子的热运动没有长期固定的平衡位置

D．液体分子间的相互作用可以忽略，故液体具有流动性

【例 3】（多选题）关于液体与固体具有的相同特点，下列说法不正确的是（　　）

A．都具有确定的形状

B．体积都不易被压缩

C．物质分子的位置都确定

D．物质分子都在固定位置附近振动

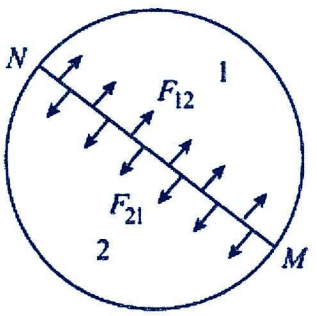
E．它们的分子都不停地做无规则运动

题型二：分子表面张力

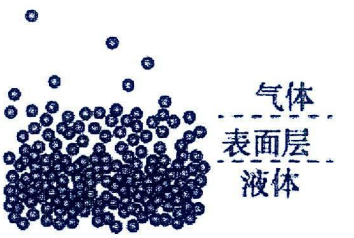
解题要点：

1.液体表面张力的理解

定义	如果在液体表面任意画一条线 MN（如图甲所示），线两侧的液体之间的作用力是引力，它的作用是使液体表面绷紧，所以叫作液体的表面张力。
形成原因	如图乙所示，在液体内部，分子间距离在 r_0 左右；在表面层，由于蒸发现象，分子比较稀疏，分子间距大于 r_0，因此分子间的作用表现为引力，
表面特性	表面层分子间的引力使液面产生了表面张力，使液体表面好像一层绷紧的弹性薄膜
表面张力的方向	和液面相切，垂直于液面上的各条分界线
表面张力的大小	①液体边界线长度越长，表面张力越小；②液体的温度越高，表面张力越小；③液体中溶有杂质时，表面张力变小；④液体的密度越大，表面张力越大。
表面张力的效果	表面张力使液体表面具有收缩趋势，使液体表面积趋于最小；而在体积相同的条件下，球形的表面积最小，如露珠。



甲



乙

【精选例题】

【例 1】水杯倒满水后水面会高出杯口一点儿而不会溢出，这是因为液体表面存在表面张力，产生表面张力的原因是（　　）

A．液体表面的分子距离较小，分子力体现为引力　　B．液体表面的分子距离较小，分子力体现为斥力

C．液体表面的分子距离较大，分子力体现为引力　　D．液体表面的分子距离较大，分子力体现为斥力

【例 2】下列现象不是由于液体的表面张力而引起的是（　　）

A．液体与固体、气体不同，它在不同容器内，尽管形状不同，但体积相同

B．荷叶上的两个水珠相互接触，立即合并到一起

C．新的棉织品水洗后往往会缩水

D．小昆虫能在水面上自由爬动

【例 3】（多选题）下列现象中，由于液体的表面张力造成的是（　）

A．船浮于水面上　　B．硬币或钢针浮于水面上

C．绸布伞有缝隙但不漏雨水　　D．锋利的玻璃片，用酒精灯烧一段时间后变钝了

【跟踪训练】

1．南湖公园里的荷花竞相绽放，荷叶上有很多露珠，下列说法正确的是（　　）

A．露珠呈球形是因为露珠受到重力

B．在露珠表面层，水分子间的作用力表现为引力

C．在露珠表面层，水分子间的作用力为0

D．在露珠表面层，水分子间的作用力表现为斥力

2．雨后的树叶上聚集了大量的水珠，则水珠表面层的水分子（　　）

A．比内部密集，水分子势能小于在平衡位置时的势能

B．比内部密集，水分子势能大于在平衡位置时的势能

C．比内部稀疏，水分子势能小于在平衡位置时的势能

D．比内部稀疏，水分子势能大于在平衡位置时的势能

3．下列现象不是液体的表面张力造成的是（　　）

A．两滴水银相接触，立即合并到一起

B．熔化的蜡从燃烧的蜡烛上流下来，冷却后呈球形

C．用熔化的玻璃制成各种玻璃器皿

D．水珠在荷叶上呈球形

题型三：分子表面张力现象分析

【精选例题】

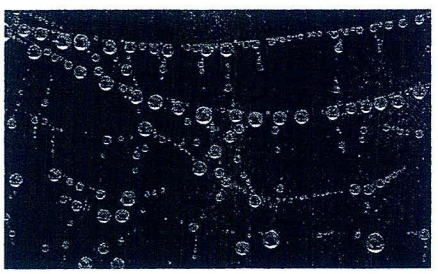
【例1】如图所示，蜘蛛网的主干纤维上分布着许多纤维凸起，可作为水蒸气凝结为水珠的凝结核，在朝阳下宛如珍珠项链。下列说法正确的有（　　）

A．清晨的露珠格外明亮，这是阳光照射进小水珠后的折射现象

B．由于露珠受到重力作用，所以露珠呈现的是上小下大的近似球状的水滴，与表面张力无关

C．水珠悬挂在蜘蛛网上，说明水可以浸润蜘蛛丝

D．露珠内部水分子热运动的平均动能不随温度变化而变化



【例2】“唯有牡丹真国色，花开时节动京城”，2024年4月7日，第33届“菏泽国际牡丹花会”盛大开幕，花会的宗旨是“以花为媒、广交朋友、文化搭台、经贸唱戏、开发旅游、振兴经济”，充分体现了菏泽“牡丹之乡”的特点。下列说法正确的是（　）

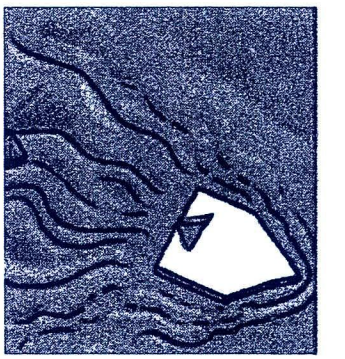
A．水黾能站立在牡丹园内池塘水面上，是因为它受到了水的浮力作用

B．牡丹仙子的雕塑是用汉白玉制作，汉白玉、橡胶、石墨、食盐和石英都是晶体

C．牡丹园内花香四溢是分子扩散运动的结果

D．一定质量的牡丹油，温度升高时，所有分子的热运动速率都会增加

【例 3】如图所示，某兴趣小组，设计了一种“肥皂动力小船”，将小船静置在水中，用滴管在小船的尾部开口处滴入一滴肥皂水，小船即可快速向前运动。已知肥皂可以减小液体的表面张力，下列说法正确的是（　）



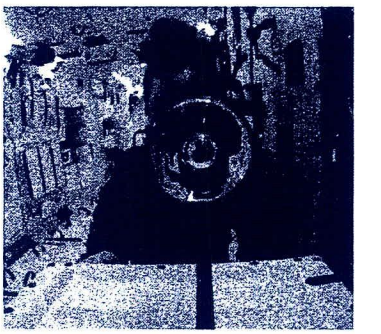
A．小船静置在水中时，不会受到液体表面张力的作用

B．表面层中分子密度大于液体内部分子密度

C．小船之所以会运动，是因为滴在小船尾部的肥皂水对小船施加了向前的推力

D．小船之所以会运动，是因为水的表面张力对船有向前的作用力

【例 4】如图所示是在空间站里演示的“水球气泡”，航天员让水球悬在空中，在水球中注入气体形成气泡。下列说法中正确的是（　　）



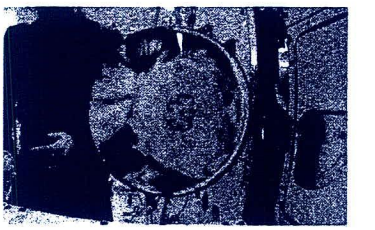
A．水球外表面分子间的作用力表现为引力

B．与气泡接触的水球内表面分子间的作用力表现为斥力

C．气泡内气体压强为零

D．气泡内速率大的分子比例随温度升高而减小

【例 5】太空授课中航天员做了一个“水球开花”实验，将纸做的小花轻放在水球表面，纸花迅速绽放，下列说法正确的是（　　）



A．纸花所受的合外力为零

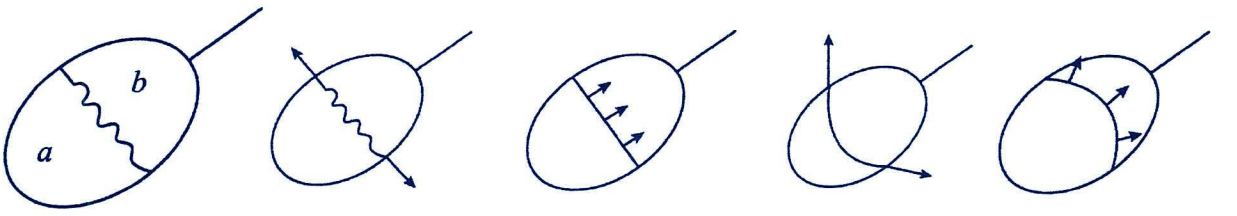
B．“开花”过程中水面对小花做负功

C．水球表面上水分子间的作用力表现为斥力

D．表面层水分子间的平均距离比内部分子间的平均距离大

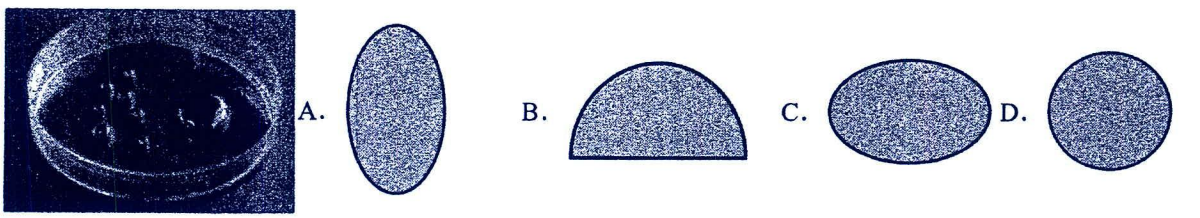
【跟踪训练】

1．如图所示，把一条细棉线的两端系在铁丝环上，使环上布满肥皂液的薄膜，这时膜上的棉线是松弛的，用烧热的针刺破 a 侧的薄膜，观察到棉线的形状以及受力正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

2．如图所示，在玻璃的蒸发皿中，较小的水银滴接近球形，较大的水银呈扁平形。那么在处于完全失重的宇宙飞船中，一大滴水银呈现的形状可能是（　）



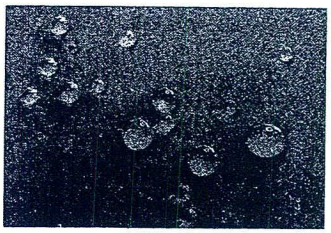
3．防风雨衣采用表面经过特殊涂层处理的织物来制成防水布料，下列说法正确的是（　）

A．图中水滴表面层内分子比水滴的内部稀疏

B．水滴和防水布料发生了浸润现象

C．水滴是否浸润防水布料仅由防水布料性质决定

D．水珠呈球状是因为表面张力方向垂直于液面向里



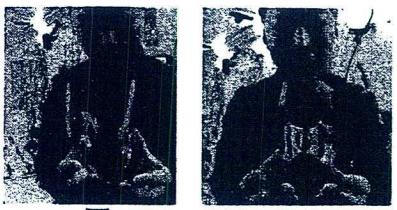
4．天宫授课中宇航员王亚萍为我们展示了“液桥”演示实验。将水分别“粘”在两块“液桥板”上，将两板慢慢靠近，形成了一座中间细、两头粗的“桥”，如图甲所示；再将两个“液桥板”拉远，“液桥”变得更细、更长，仍然没有断开，如图乙所示。下列说法正确的是（　　）

A．“液桥”的表面层分子之间的作用力为斥力

B．形成“液桥”而没有断开是因为水的表面张力的作用

C．“液桥”内部分子间距离大于“液桥”表面层分子间距离

D．若在地面上进行同样的实验，由于重力的影响，“液桥”无法形成



甲　　乙

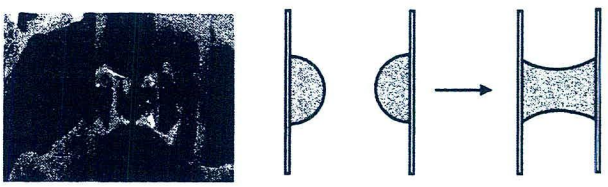
5．如图在中国空间站中，宇航员将两块带有半个水球的板慢慢靠近，直到水球融合在一起，再把两板缓慢拉开，水在两块板间形成了一座“水桥”，放开双手后，两板吸引到了一起。下列说法正确的是（　　）

A．两块板在缓慢拉开的过程中，水分子之间只有引力

B．两块板在缓慢拉开的过程中，水分子总势能减少

C．两板吸引到了一起的过程中，分子力做负功

D．靠近前两板上的水形成半球状是因为水表面存在张力



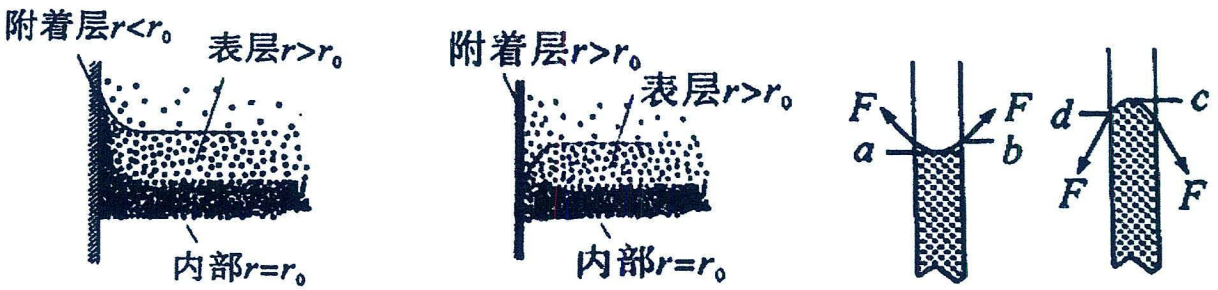
题型四：浸润与不浸润

解题要点：

1.浸润

(1)定义：一种液体会润湿某种固体容器壁并附着在固体表面上的现象，如图甲所示。

(2)产生原因：液体分子因受到固体分子的吸引力相当强，附着层内的液体分子比液体内部密集，附着层内与跟侧壁接触的液体分子间表现为相互排斥的力，表现为扩展的趋势，形成浸润现象。



甲　　乙　　丙

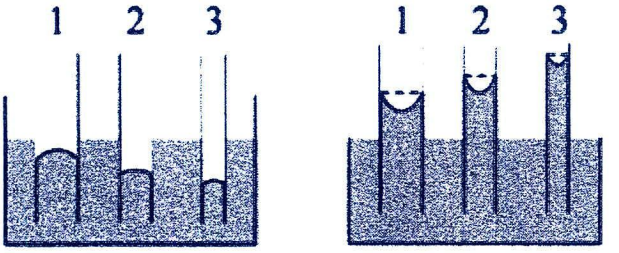
2.不浸润

(1)定义：一种液体不会润湿某种固体容器壁，也就不会附着在这种固体表面的现象，如图乙所示。

(2)产生原因：因受到固体分子的吸引力比较弱，附着层内的分子比液体内部稀疏，附着层内与固体侧壁接触的液体分子就表现出表面张力相似的收缩力，这时附着层有缩小的趋势，形成不浸润现象。

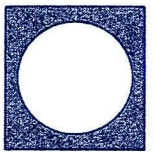
3.毛细现象：毛细现象是指浸润液体在细管中上升的现象，以及不浸润液体在细管中下降的现象，如图丙所示。

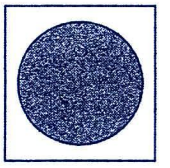
特点：毛细管越细，毛细现象越明显。

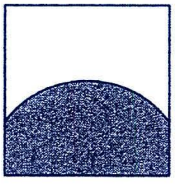


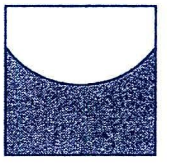
【精选例题】

【例 1】水能够浸润玻璃。向正方形的玻璃鱼缸内注入一定体积的水（图中阴影区域），然后盖上玻璃板，完全密封。如果把这个鱼缸放置在天宫空间站，即处于完全失重的环境中，则稳定后鱼缸内水的形状可能是（　）

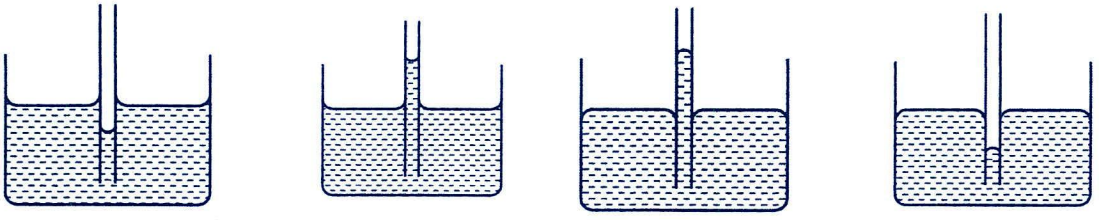
A. 

B. 

C. 

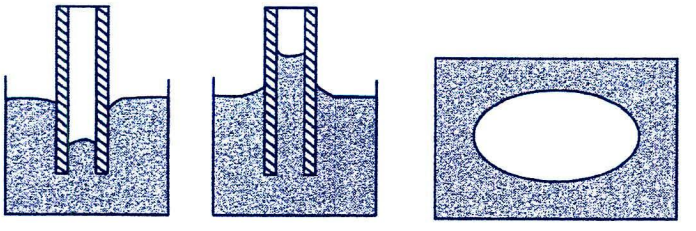
D. 

【例 2】水能浸润玻璃，将两端开口的玻璃细管插入盛有水的开口玻璃容器中，细管内外液面稳定后，能看到的现象是（　　）



A　　B　　C　　D

【例 3】关于热学现象，下列说法正确的是（　　）



甲　　乙　　丙

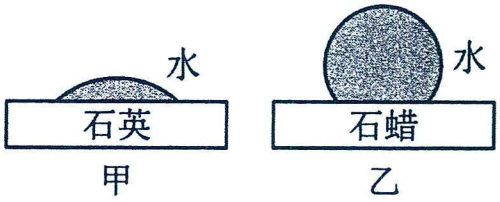
A．呈现各向同性的固体一定是非晶体

B．不同材料制作的细管竖直插入水中，现象如甲、乙图所示，则应用乙图材料制作防水雨衣

C．表面张力产生的原因是液体表面层的分子稀疏，具有收缩的趋势

D．热针尖接触涂有蜂蜡的云母片背面，蜂蜡熔化区域的形状如图丙，说明蜂蜡具有各向异性

【例 4】液体的浸润和不浸润现象取决于液体分子和与之接触的固体分子之间的相互作用力的大小，相互接触的区域称之为“附着层”。液体的表面与空气接触的薄层叫作“表面层”，关于液体表面张力和浸润现象的微观解释，下列说法正确的是（　　）



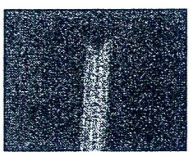
A．液体表面张力产生的原因是液体表面层分子比较密集，分子间引力大于斥力

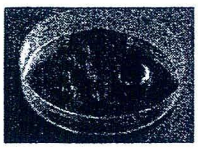
B．液体表面张力产生的原因是液体表面层分子比较稀疏，分子间斥力大于引力

C．图甲是浸润现象，浸润原因是附着层里的分子比液体内部更加稀疏，附着层分子间表现为斥力

D．图乙是不浸润现象，附着层里的分子受到固体分子的吸引，吸引力较弱，附着层里分子比液体内部稀疏，在附着层里出现液体分子相互吸引的力，跟固体接触的液体表面有缩小的趋势，形成不浸润现象

【例 5】（多选题）下列相关的物理现象说法正确的是（　）


图甲


图乙



图丙


图丁

A．如图甲所示，把玻璃管的裂口放在火焰上烧熔，它的尖端会变钝，这是由于液体表面张力的作用

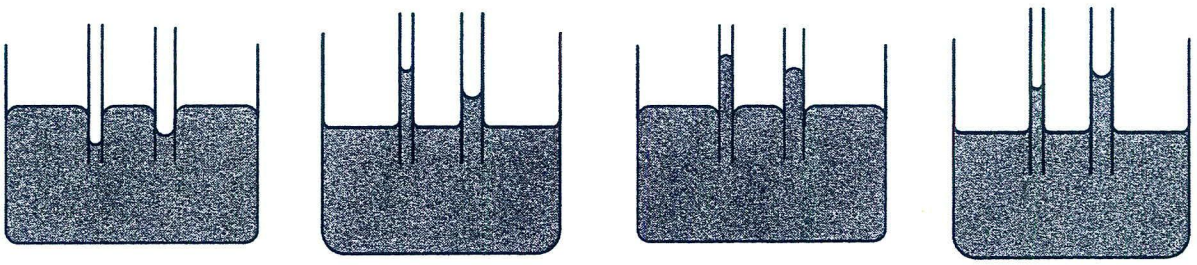
B．如图乙所示，在玻璃蒸发皿中，较小的水银滴接近球形，较大的水银滴呈现扁平形，若将一大滴水银置于失重状态的宇宙飞船中，将呈现椭球形

C．如图丙所示，通过棉纱布实现植物的长期“自动浇水”，该装置的设计利用了毛细现象的相关知识

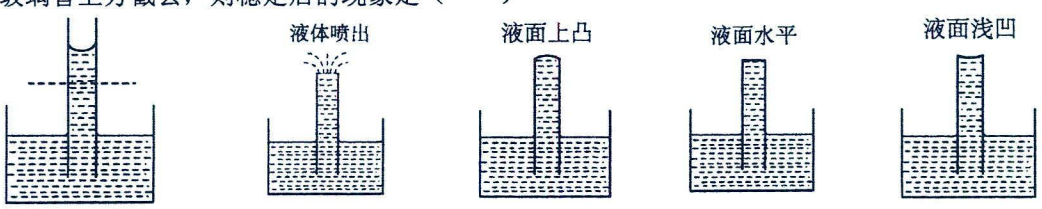
D．如图丁所示，该装置由融化之后的石英制成，融化之后再凝固的水晶仍属于晶体

【跟踪训练】

1．将粗细不同的两端开口的玻璃细管插入盛有某种液体的玻璃容器里，下列各图中可能正确的是（　　）

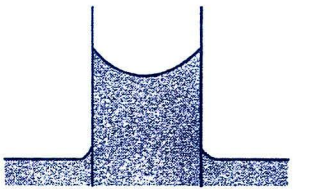

A　　B　　C　　D

2．如图所示，两端开口的细玻璃管竖直插入水中，由于毛细现象管中水会沿管上升一段高度。如果沿虚线处将玻璃管上方截去，则稳定后的现象是（　　）



A　　B　　C　　D

3．将两端开口的玻璃管竖直插在水中，现象如图所示，则（　　）



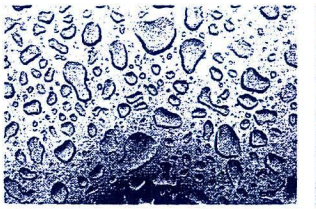
A．水不浸润玻璃

B．现象与液体的表面张力无关

C．换成直径更小的玻璃管，管内外液面的高度差将变大

D．水分子与玻璃分子间的相互作用比水分子之间的相互作用弱

4．如图所示，水滴在洁净的玻璃面上扩展形成薄层，附着在玻璃上；在蜡面上可来回滚动而不会扩展成薄层。下列说法正确的是（　　）



甲　玻璃面



乙　蜡面

A．水不浸润石蜡仅由石蜡的性质决定，与水的性质无关

B．石蜡上的水有表面张力，玻璃面上的水没有表面张力

C．蜡面上水分子间作用力表现为引力

D．水与玻璃的相互作用比水分子间的相互作用弱

5．关于固体、液体，下列说法正确的是（　　）

A．单晶体所有的物理性质都各向异性

B．液晶只有晶体的各向异性，没有液体的流动性

C．液体表面层内分子势能小于液体内部分子势能

D．毛细现象是液体的浸润（或不浸润）与表面张力现象共同作用的结果

题型五：液晶

解题要点：

1.液晶

（1）定义：有些化合物像液体一样具有流动性，而其光学性质与某些晶体相似，具有各向异性，人们把处于这种状态的物质叫液晶。

（2）液晶的特点

①液晶具有液体的流动性；

②液晶具有晶体的光学各向异性；

③液晶的物理性质很容易在外界条件（如电场、压力、光照、温度等）的影响下发生改变；

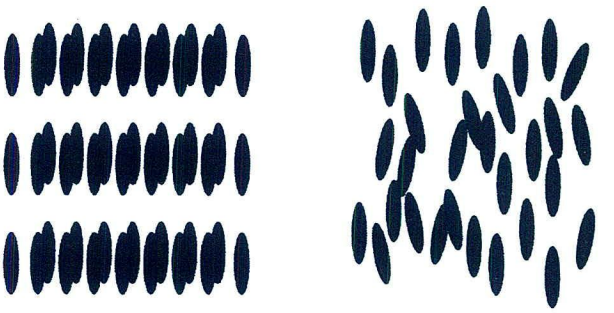
④从某个方向上看，液晶分子的排列比较整齐；但是从另一个方向上看，液晶分子的排列是杂乱无章的；

⑤并不是所有物质都有液晶态，通常棒状分子、碟状分子和平板状分子的物质容易具有液晶态。

（3）液晶的应用：液晶在医学、电子工业、航空航天工业、日常生活等方面都有重要的应用。如：液晶显示器、彩色显示器、生物薄膜等。

【精选例题】

【例 1】在不同温度下某物质材料的分子排列如图所示，甲图对应的温度为T_1，乙图对应的温度为T_2。则（　　）



甲 结晶态　　乙 液晶态

A．$T_1>T_2$

B．甲、乙两图中的分子都在做热运动

C．甲图中沿不同方向单位长度上的分子数相同

D．乙图中沿不同方向单位长度上的分子数相同

【跟踪训练】

1．下列关于固体和液体性质的说法正确的是（　　）

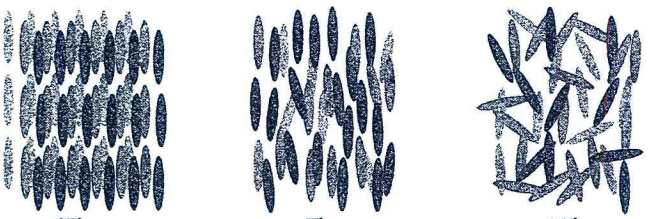
A．彩色液晶显示器利用了液晶的光学性质具有各向同性的特点

B．液体表面张力产生的原因是液体表面层分子间距离比较大，分子力表现为斥力

C．非晶体的物理性质具有各向同性而晶体的物理性质都是各向异性

D．农民使用“松土保墒”进行耕作，通过把地面的土壤锄松，破坏土壤里的毛细管，使得土壤下面的水分不容易被输送到地表，从而保存地下的水分

2．下图为某种液晶材料在不同条件下的分子排列示意图，下列说法不正确的是（　　）



甲　　乙　　丙

A．图甲为温度较低时液晶凝固成的结晶态，分子取向有序，分子的重心位置也有序

B．图乙是液晶态，分子在某些方向的排列比较整齐，具有各向异性

C．图丙是液晶态，分子进入无序状态，具有液体的流动性

D．液晶态既有液体的流动性，又具有晶体的各向异性

考点三：饱和汽与饱和汽压

题型一：物态变化

解题要点：

1.熔化和凝固

熔化：物质从固态变成液态的过程。

凝固：物质从液态变成固态的过程。

2.熔化热：某种晶体在熔化过程中所需的能量与其质量之比，称作这种晶体的熔化热。

3.汽化和液化

汽化：物质从液态变成气态的过程。

液化：物质从气态变成液态的过程。

4.汽化热：某种液体汽化成同温度的气体时所需的能量与其质量之比，称作这种物质在这个温度下的汽化热。

5.物态变化与内能变化的关系

①温度是分子平均动能的标志，温度不变，分子平均动能不变；

②抓住物态变化中的宏观特征是吸热还是放热，再由能量守恒的观点，分析内能的变化情况；

③若物体的体积变化明显，如液体汽化时分子吸收能量，不只用于增加分子势能，还用于体积膨胀时克服外界气压做功。

【精选例题】

【例 1】一块冰在标准大气压下熔化成水的过程中（　　）

A．放出热量，温度不变，内能减小　　B．吸收热量，温度升高，内能不变

C．吸收热量，温度不变，内能增加　　D．因为温度为 0℃，所以没有内能

【例 2】江河、湖、海、湿地、森林和草原等在调节水平衡中发挥着重要作用。关于地球水循环，下列说法正确的是（　　）

A．地表水和海水放出热量后，汽化成水蒸气

B．部分上升的水蒸气与冷空气接触，会液化成小水滴

C．小水滴遇到更冷的气流时吸收热量，凝华成小冰珠

D．小冰珠在降落过程中放出热量，熔化成雨水

【例 3】（多选题）我国古代历法中的“二十四节气”反映了古人的智慧，有人还将其写成了一首节气歌：春雨惊春清谷天，夏满芒夏暑相连，秋处露秋寒霜降，冬雪雪冬小大寒。下列与节气有关的物理现象，正确的（　　）

A．冬天里，一定质量的冰融化为同温度水的过程中，分子势能增加

B．夏天气温比春天高，忽略分子间作用力，则一定质量的大气的内能在夏天比春天大

C．夏天感觉比冬天闷热是因为夏天同温度下的大气的绝对湿度比冬天的大

D．秋天夜晚温度降低，大气的饱和汽压减小，水蒸气容易在草上形成露水

【例 4】（多选题）下列说法中正确的是（　　）

A．非晶体从固态到液态，温度不变，吸收的热量用于增加分子的势能

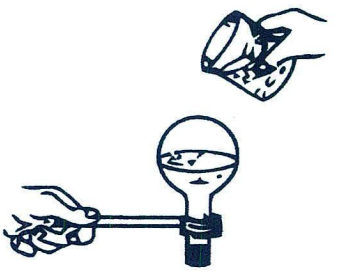
B．晶体从固态到液态，温度不变，吸收的热量用于增加分子的势能

C．在路面的积雪上撒盐，可降低冰雪的熔点，使冰雪快速融化

D．白天感觉干燥的空气，到夜间却能发现路边小树的叶子上有露珠，这说明降低温度，可使原来的不饱和气体变成饱和气体

【跟踪训练】

1．将烧瓶中的水加热至沸腾，将酒精灯移走，停止沸腾后用烧瓶塞将烧瓶口堵住，倒扣烧瓶，往烧瓶上浇冷水，发现水再次沸腾，下列说法正确的是（　　）



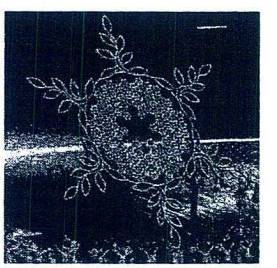
A．往烧瓶上浇冷水，烧瓶中的气体温度降低，内能不变

B．往烧瓶上浇冷水，烧瓶中的气体内能减少，压强增大

C．烧瓶冷却后，瓶塞可以更轻松地拔出

D．海拔高的地方水的沸点比较低与上述现象涉及的原理相同

2．2022 年北京冬奥会的雪花形主火炬由 96 块小雪花和 6 块橄榄枝组成。关于雪花，下列说法正确的是（　　）



A．雪花是水蒸气凝华时形成的晶体

B．一片雪花大约由 5000 个水分子组成

C．雪花融化过程温度不变，内能不变

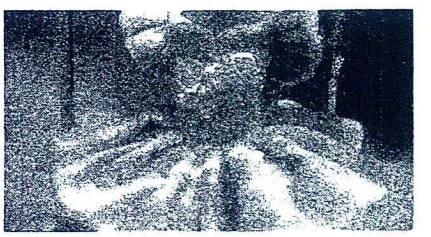
D．没有两片雪花是相同的，因此雪花属于非晶体

3．某工厂要制造一种特殊用途的钢铝罐，钢罐内表面要压接一层 0.25mm 厚的铝膜，一时难住了焊接和锻压专家。后经技术人员的联合攻关解决了这一难题：他们先把铝膜紧贴到钢罐内表面，再往钢罐内灌满水，插入冷冻管后密封，使水结冰然后铝膜与钢罐内表面就压接在一起了。其原因是（　　）

A．钢罐内的水把它们冻牢了　　B．钢罐内的冰把它们冻牢了

C．水结冰时放出的热量把它们焊牢了　　D．水结冰时膨胀产生的巨大压力把它们压牢了

4．将一件裙子放进死海，3 年后成了一件精美的艺术品（如图）。其形成原因是海水中的盐，不断在衣服表面结晶所产生的。根据这一现象下列说法不正确的是（　　）



A．结晶过程看似是自发的，其实要受到环境的影响

B．结晶过程是无序向有序转变的过程

C．盐在溶解的过程中熵是增加的

D．这件艺术品被精心保存在充满惰性气体的密闭橱窗里，可视为孤立系统，经过很长时间后，该艺术品的熵可能减小

题型二：饱和汽压

解题要点：

1.汽化的两种方式：物质从液态变成气态的过程叫作汽化，汽化的两种方式分别是蒸发与沸腾。

2.蒸发：发生在液体表面，即液体分子由液体表面跑出去的过程。

3.影响蒸发量的三种主要因素

①表面积：由于蒸发发生在液体表面，所以表面积越大，蒸发越快；

②温度：温度越高，液体分子热运动的平均动能越大，能够跑出液体表面的分子数就越多，蒸发越快；

③通风：液面上方通风情况好，可以促使从液体中跑出来的分子更快地向外扩散，减少它们重新返回液体的机会，因而蒸发就会加快。

4.沸腾：在一定大气压下，加热液体到某一温度时在液体表明和内部同时发生的剧烈的汽化现象，其对应的温度叫作沸点。大气压越高，沸点越高。

5.饱和汽与未饱和汽

(1)饱和汽与未饱和汽：在密闭容器中的液体不断地蒸发，液面上的蒸汽也不断地液化，当这两个同时存在的过程达到动态平衡时，宏观的蒸发也停止了，这种与液体处于动态平衡的蒸汽叫作饱和汽；没有达到饱和状态的蒸汽叫作未饱和汽。

(2)饱和汽压与其影响因素

饱和汽压：在一定温度下，饱和汽的分子数密度是一定的，因而饱和汽的压强也是一定的，这个压强叫作这种液体的饱和汽压。

影响因素：饱和汽压随温度的升高而增大;饱和汽压与蒸汽所占的体积无关，与该体积中有无其他气体无关。

(3)饱和汽压对沸点的影响

液体沸腾的条件就是饱和汽压和外部压强相等。沸点就是饱和汽压等于外部压强时的温度；因为饱和汽压必须增大到和外部压强相等时才能沸腾，所以沸点随外部压强的增大而升高。

(4)湿度

绝对湿度：空气的湿度可以用空气中所含水蒸气的压强 p 来表示，这样表示的湿度叫作空气的绝对湿度

相对湿度：我们常用空气中水蒸气的压强 p 与同一温度时水蒸气的饱和汽压 p_s 之比来描述空气的潮湿程度，并把这个比值叫作空气的相对湿度，即相对湿度 $=\frac{\text{水蒸气的实际压强}}{\text{同温下水的饱和气压}}=\frac{p}{p_s}\times 100\%$

(5)湿度计及其工作原理：空气的相对湿度常用湿度计来测量，常用的湿度计有干湿泡湿度计、毛发湿度计和湿度传感器等。

①干湿泡湿度计：干湿泡湿度计由两个相同的温度计组成，其中一支温度计的玻璃泡外包着纱布，纱布的另一端浸在水中.由于蒸发吸热，湿泡显示的温度小于干泡显示的温度.蒸发的快慢与空气的湿度有关，也与气温有关。读出干、湿两支温度计的读数，在湿度计木架上的表格中可以查到当时空气的相对湿度，这种湿度计准确、可靠但使用时不太方便。

②毛发湿度计：头发脱脂后可以吸收水分，吸水后伸长，干燥后缩短.把头发的长短变成指针的转动，就制成了毛发湿度计。

③现代湿度计：利用传感器测量湿度。这种湿度传感器的工作原理是在基片上涂着能够吸收水分的导电物质，当空气湿度变化时，导电物质中的水分增加或减少，导致元件的电阻发生变化，从而影响电路中的电流.市场上

与电子钟装在一起的大多是这种湿度计。

(6)夏季中暑的三个临界点：

①气温 30℃-31℃，相对湿度大于 85%；

②气温 38℃-40℃，相对湿度大于 50%；

③气温 40℃及以上，相对湿度大于 30%.

理想舒适的气候环境：夏季：24℃-29℃，冬季：16℃-22℃，相对湿度 40%-60%。

【精选例题】

【例 1】关于饱和汽压和湿度，下列说法中正确的是（　　）

A．温度相同的不同液体的饱和汽的饱和汽压都相同　　B．在温度不变的情况下，饱和汽压不随体积变化

C．在相对湿度相同的情况下，夏天比冬天的绝对湿度小　　D．绝对湿度越大，人感觉越潮湿

【例 2】液体的饱和汽压随温度的升高而增大，是因为（　　）

A．其规律遵循查理定律

B．饱和汽的质量随温度的升高而增大

C．饱和汽的体积随温度的升高而增大

D．饱和汽的分子的数密度和分子的平均速率都随温度的升高而增大

【例 3】关于液体的饱和汽压下列说法正确的是（　　）

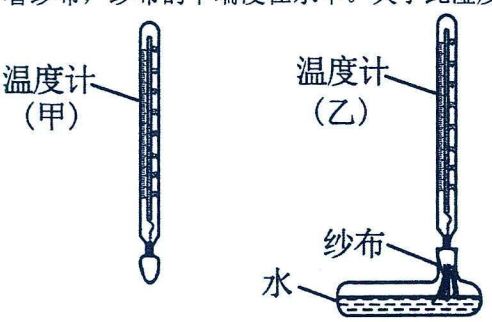
A．饱和汽的压强一定大于非饱和汽的压强

B．当水面上的水蒸气达到饱和状态时，水中将不会有水分子飞出水面

C．饱和汽压与体积无关，只与温度有关，温度越低饱和汽压越低

D．密闭容器中某种蒸汽开始若是饱和的，保持温度不变增大容器的体积，蒸汽仍是饱和的

【例 4】（多选题）如图是干湿泡湿度计示意图。温度计(甲)的玻璃泡暴露在空气中，温度计(乙)的玻璃泡外包着纱布，纱布的下端浸在水中。关于此湿度计，下列说法正确的是____



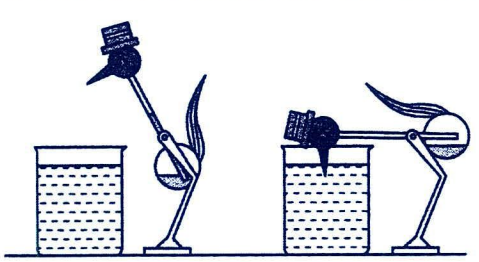
A．甲的示数增大，则空气中水的饱和汽压增大

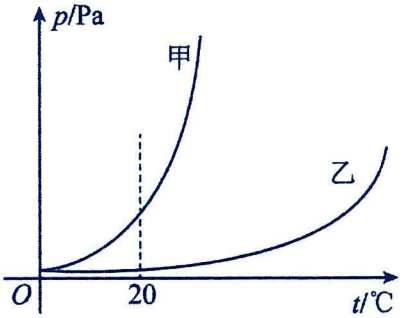
B．乙的示数增大，则空气中水的饱和汽压增大

C．甲示数一定时，若乙示数减小，则空气的相对湿度减小

D．甲示数一定时，若乙示数减小，则空气中水蒸气的压强增大

【例 5】下图所示的“饮水鸟”是一种神奇的玩具，只要面前放一杯水，小鸟就可以不停地“喝水”。小鸟体内装有某种纯液体，鸟的头部和腹部液面上方只有该液体处于“饱和”状态的蒸汽。已知该液体为甲、乙中的一种，液体甲和乙处于饱和状态的蒸汽的压强随温度变化如下图所示。下列说法不正确的是（　　）





A．饮水鸟体内应该填充液体甲

B．饮水鸟处于直立状态时，头部温度一定低于腹部

C．饮水鸟做功所需的能量主要来源于面前水的内能

D．饮水鸟“喝水”时，颈部液体回流，重心降低，使得小鸟重新直立起来

【跟踪训练】

1．（多选题）关于饱和汽压和相对湿度，下列说法中正确的是（　　）

A．温度相同的不同饱和汽的饱和汽压都相同　　B．温度升高时，饱和汽压增大

C．在相对湿度相同的情况下，夏天比冬天的绝对湿度大　　D．饱和气压和相对湿度都与体积无关

E．水蒸气的实际压强越大，人感觉越潮湿

2．（多选题）下列对饱和汽、未饱和汽、饱和汽压以及湿度的认识，正确的是（　）

A．饱和汽压与温度有关，而与体积无关　　B．增大压强一定可以使未饱和汽变成饱和汽

C．降低温度一定可以使未饱和汽变成饱和汽　　D．空气中所含水蒸气的压强越大，空气的绝对湿度越大

E．干湿泡湿度计的干、湿两支温度计的示数差越小，空气的相对湿度越大

3．关于相对湿度和饱和汽压，下列说法中正确的是（　　）

A．相对湿度过小对人不会有影响

B．对于干湿泡湿度计，空气的相对湿度越小，两支温度计指示的温度差就越小

C．密闭容器中装有某种液体及其饱和蒸汽，若温度升高，同时增大容器的容积，饱和汽压可能会增大

D．密闭容器中某种蒸汽开始时是饱和的，若保持温度不变，只减小容器的容积，饱和汽压一定会增大

4．（多选题）关于干湿泡温度计，下列说法正确的是（　　）

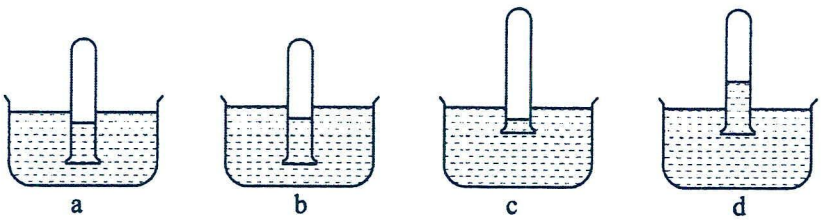
A．湿泡所显示温度正常都高于干泡显示温度

B．干泡所示温度正常都是高于湿泡所显示温度

C．在同等温度下，干湿泡温度差别越大，说明该环境越干燥

D．在同等温度下，干湿泡温度差别越大，说明该环境越潮湿

5．（多选题）如图，四个相同的绝热试管分别倒立在盛水的烧杯 a、b、c、d 中，平衡后烧杯 a、b、c 中的试管内外水面的高度差相同，烧杯 d 中试管内水面高于试管外水面。已知四个烧杯中水的温度分别为t_a、t_b、t_c、t_d，且$t_a<t_b<t_c=t_d$。水的密度随温度的变化忽略不计。下列说法正确的是（　　）



A．a 中水的饱和气压最小

B．a、b 中水的饱和气压相等

C．c、d 中水的饱和气压相等

D．a、b 中试管内气体的压强相等

E．d 中试管内气体的压强比 c 中的大

第四讲：热力学定律

考点一：热力学第一定律

知识概述：

1.绝热过程：既不从外界吸收热量，也不向外界放出热量；但不一定为等温过程。

2.焦耳实验

(1)内容：焦耳热功当量实验；利用电流热效应给水加热实验。

(2)现象：对同一系统，绝热过程中，只要做功相等，系统温度上升数值相等，系统状态变化相同。

(3)结论：各种不同绝热过程，要使系统状态发生变化，做功数值上只由过程始末的状态决定，与做功方式无关。

3.系统内能：

(1)只依赖于系统自身状态的物理量，且两个状态差值大于绝热过程外界对系统做功，该物理量称为系统的内能。

(2)系统 T/V 变化，内部分子动能，分子势能也将改变，所以内能也改变。

4.功与内能的关系

(1)绝热过程中内能增量等于外界对系统做的功：$\Delta U=W$。

(2)做功情况看体积：气体体积缩小，外界对气体做功，$W>0$，内能增加；

气体体积增大，气体对外界做功，$W<0$，内能减小；

气体在真空中自由膨胀或气体体积不变，$W=0$，内能不变。

5.热与内能

(1)传热：温度不同的物体接触时，高温物体温度降低，低温物体温度升高，直至热平衡。

(2)实质：能量的转移，转移的能量用热量（Q）度量。

(3)方式：热传导、热辐射、热对流。

(4)热与内能的关系：$\Delta U=Q$

(5)改变物体内能的两种方式：做功和传热是等效的。

题型一：热力学第一定律

解题要点：

1.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所做的功的和。

(2)表达式：ΔU＝Q＋W。

(3)在一般情况下，如果物体跟外界同时发生做功和热传递的过程，那么外界对物体所做的功 W 加上物体从外界吸收的热量 Q 等于物体内能的增量△U。

(4)物理意义：热力学第一定律是能量的转化与守恒定律在改变物体内能这一特定过程中的具体体现。

(5)表达式中的正、负号法则：

物理量	＋	－
W	外界对物体做功	物体对外界做功
Q	物体吸收热量	物体放出热量
ΔU	内能增加	内能减少

(6)对于一定质量理想气体的内能变化、吸热还是放热及外界对气体如何做功等问题，可按下面的方法判定：

做功情况看体积：气体体积缩小，外界对气体做功，W＞0；

气体体积增大，气体对外界做功，W＜0；

气体在真空中自由膨胀或气体体积不变，W＝0。

一定质量的理想气体的内能只与温度有关：温度升高，内能增加，△U＞0；

温度降低，内能减少，△U＜0；

温度不变，△U＝0.

吸热、放热一般由题中给出，或通过热力学第一定律△U＝Q+W 计算，以确定 Q 的正负，即吸热或放热。

3.热力学第一定律的理解

(1)内能的变化常用热力学第一定律进行分析。

(2)做功和热传递在改变系统内能上是等效的。

(3)做功过程是系统与外界之间的其他形式能量与内能的相互转化。

(4)热传递过程是系统与外界之间内能的转移。

(5)做功情况看气体的体积：体积增大，气体对外做功，W 为负；体积缩小，外界对气体做功，W 为正。

(6)如果研究对象是理想气体，因理想气体忽略分子势能，所以当它的内能变化时，体现在分子动能的变化上，从宏观上看就是温度发生了变化。

4.三种特殊情况

过程	含义	内能变化	物理意义
绝热	Q＝0	ΔU＝W	外界(物体)对物体(外界)做的功等于物体内能的增加(减少)
等容	W＝0	ΔU＝Q	物体吸收(放出)的热量等于物体内能的增加(减少)
等温	ΔU＝0	W＝－Q	外界(物体)对物体(外界)做的功等于物体放出(吸收)的热量

【精选例题】

【例 1】下列关于分子动理论和热力学定律的表述，正确的是（　）

A．若已知阿伏加德罗常数和物质的质量，就一定能算出该物质的分子质量

B．在布朗运动实验的某次观察记录中，画出的折线是固体颗粒的运动轨迹，它反映了液体（或气体）分子的无规则运动

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

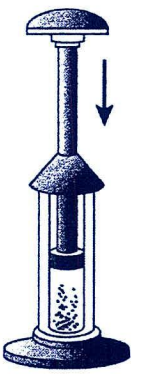
D．一个热力学系统的内能变化量等于外界向它传递的热量和它对外界做功之和

【例 2】下列关于热量的描述中，正确的是（　　）

A．热量就是指物体具有多少的内能　　B．温度越高的物体，具有的热量越大

C．热量是指物体在热传递过程中内能的改变量　　D．热量是从内能大的物体传给内能小的物体

【例 3】如图所示的实验装置，把浸有乙醚的一小块棉花放在厚玻璃筒内底部，快速压下活塞时，棉花燃烧起来，此实验说明（　　）



A．做功使管内气体热量增加　　B．热传递不能改变物体的内能

C．做功改变了管内气体的内能　　D．热传递改变了管内气体的热量

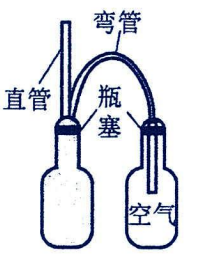
【例 4】某同学制作了一个小型喷泉装置，如图甲所示两个瓶子均用瓶塞密闭，两瓶用弯管连通，左瓶插有两端开口的直管。左瓶装满水，右瓶充满空气。用沸水浇右瓶时，左瓶直管有水喷出，如图乙所示，水喷出的过程中，装置内的气体（　　）

A．内能比浇水前大

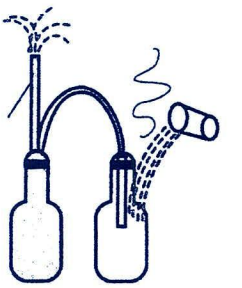
B．压强与浇水前相等

C．所有分子的动能都比浇水前大

D．对水做的功等于水重力势能的增量



图甲


图乙

【跟踪训练】

1．根据热力学定律，下列说法正确的是（　　）

A．气体被缓慢压缩时，内能可能不变

B．对能源的过渡消耗使自然界的能量不断减少，形成“能源危机”

C．一定质量的理想气体，在压强减小、体积增大时，一定从外界吸收热量

D．一定质量的理想气体，在温度降低、体积增大时，一定从外界吸收热量

2．关于系统的内能及其变化，下列说法中正确的是（　　）

A．系统的温度改变时，其内能必定改变

B．系统对外做功，其内能不一定改变；向系统传递热量，其内能不一定改变

C．对系统做功，系统内能必定改变；系统向外传出一定热量，其内能必定改变

D．若系统与外界不发生热交换，则系统的内能必定不改变

3．车辆减震装置中的囊式空气弹簧由橡胶气囊和密闭在其中的压缩空气组成，当车辆剧烈颠簸时，气囊内的气体体积快速变化，以降低车辆的振动幅度。若上述过程可视为绝热过程，气囊内的气体可视为理想气体，在压缩气体的过程中，下列说法正确的是（　　）

A．气体温度保持不变　　B．每个气体分子动能都增大

C．气体分子对单位面积的器壁压力减小　　D．单位时间内单位面积上气体分子碰撞器壁次数增多

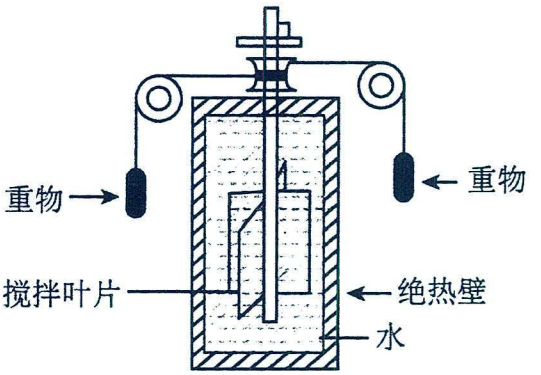
4．（多选题）如图所示为焦耳实验装置图，用绝热性能良好的材料将容器包好，重物下落带动叶片搅拌容器里的水，引起水温升高。关于这个实验，下列说法正确的是（　　）

A．只要重力做功相同，水温上升的数值就相同

B．做功增加了水的热量

C．做功增加了水的内能

D．功和热量是完全等价的，无区别



题型二：定性判断

【精选例题】

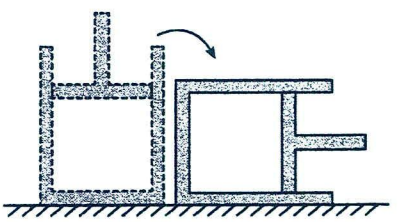
【例 1】游客去高海拔景区旅游时，多数会出现高原反应，而通过吸氧可以缓解高原反应。如图是一种便携式氧气罐，某游客按压该氧气罐喷出气体过程中（假定罐内气体可视为理想气体且温度保持不变），下列说法正确的是（　　）



A．罐内气体的平均动能减小　　B．罐内气体的压强减小

C．外界对罐内气体做功　　D．罐内气体放出热量

【例 2】如图所示，内壁光滑的绝热汽缸内用绝热活塞封闭一定质量的理想气体，初始时汽缸开口向上放置，活塞处于静止状态，将汽缸缓慢转动90°过程中，缸内气体（　　）



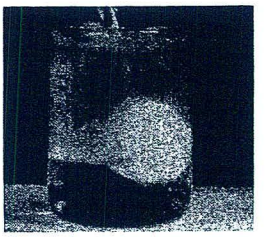
A．内能增加，外界对气体做正功

B．内能减小，气体压强增加

C．温度降低，速率大的分子数占总分子数比例减少

D．温度升高，速率大的分子数占总分子数比例增加

【例 3】（多选题）在打乒乓球时如果不小心把乒乓球压瘪了，但还不漏气，可以把被压瘪的乒乓球放进杯子里，再往杯子里倒入热水，过一会儿乒乓球就可以复原。如图，压瘪的乒乓球内气体的体积为30mL，气体的压强为1.12×10^5 Pa，温度为27℃，倒入热水复原后球内气体的体积为32mL，温度为87℃，球内气体可视为理想气体。则下列说法正确的是（　　）



A．乒乓球内气体温度升高后，每个气体分子的动能都增大

B．乒乓球复原过程中外界对球内气体做功

C．乒乓球复原过程中球内气体吸收热量

D．乒乓球复原后球内气体的压强为1.26×10^5 Pa

【例 4】如图所示，这是中国传统玩具饮水鸟。在鸟的面前放上一杯水，用手把鸟嘴浸到水里，小鸟“喝”了一口后，又直立起来。之后，无需人的干预，小鸟直立一会儿就会自己俯下身去使鸟嘴浸入水中“喝”水，然后又会直立起来。就这样周而复始，小鸟不停地点头“喝”水，则下列说法正确的是（　　）



A．饮水鸟上下运动的能量来源于周围空气的内能

B．水杯中的水干了之后，小鸟还能点头“喝”水

C．这种玩具饮水鸟是一架永动机

D．此现象违背了热力学第一定律

【跟踪训练】

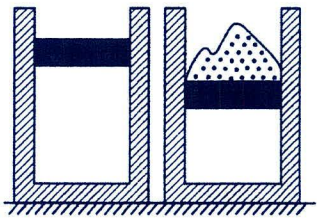
1．（多选题）某古老点火器原理如图所示，用牛角做套筒，木制推杆前端粘着艾线，猛推推杆，艾线就会燃烧起来。在此压缩过程中（　　）



A．气体温度升高，压强不变　　B．气体温度升高，压强变大

C．气体对外界做正功，气体内能增加　　D．外界对气体做正功，气体内能增加

2．如图所示，汽缸内封闭一定质量的理想气体。现缓慢地向活塞上倒一定质量的细沙，忽略环境的温度变化，在此过程中，关于汽缸内气体的状态变化，下列说法正确的是（　　）



A．如果汽缸、活塞导热良好，汽缸内气体的内能必增大

B．如果汽缸、活塞导热良好，汽缸内气体向外放热

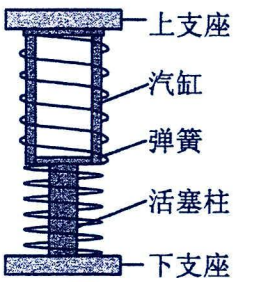
C．如果汽缸、活塞绝热良好，汽缸内气体分子的平均动能不变

D．如果汽缸、活塞绝热良好，汽缸内所有气体分子的运动速率都变大

3．如图甲所示是一种由汽缸、活塞柱、弹簧和上下支座构成的汽车氮气减震装置，简化示意图如图乙所示，汽缸内封闭了一定质量的氮气（可视为理想气体），汽缸导热性和气密性良好，环境温度不变。不计一切摩擦，汽缸内封闭氮气被缓慢压缩的过程中，封闭氮气（　　）



甲

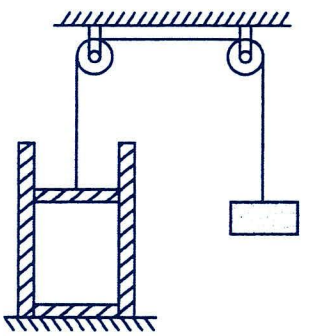


乙

A．温度升高　　B．内能增大

C．对外界做正功　　D．向外界放出了热量

4．（多选题）如图所示，导热汽缸开口向上，用光滑轻质活塞封闭一定量的理想气体。细绳连接质量为m的重物跨过定滑轮与活塞相连。初始时环境温度为T_1，钩码静止，气体处于状态 1。环境温度缓慢上升至T_2，钩码缓慢下降H后静止，气体处于状态 2。此过程气体吸收热量为Q。重力加速度大小为g，外界大气压强不变。由状态 1 到状态 2 的过程，下列说法正确的是（　　）



A．气体压强不变，内能增加

B．气体内能的变化量为$Q+mgH$

C．分子热运动的平均速率增大，气体分子单位时间内撞击单位面积器壁的次数增加

D．分子热运动的平均速率增大，气体分子单位时间内撞击单位面积器壁的次数减少

题型三：定量计算

【精选例题】

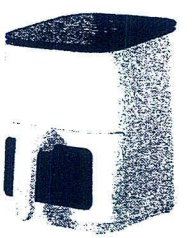
【例 1】空气炸锅是利用高温空气循环技术加热食物。图为某型号空气炸锅简化模型图，其内部有一气密性良好的内胆，封闭了质量、体积均不变可视为理想气体的空气，已知初始气体压强为 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，温度为 $t_0=27\,℃$，加热一段时间后气体温度升高到 $t=147\,℃$，此过程中气体吸收的热量为 $5.2\times10^3\text{J}$，热力学温度与摄氏温度的关系是 $T=t+273\text{K}$，则（　）

A．升温后内胆中所有气体分子的动能都增大

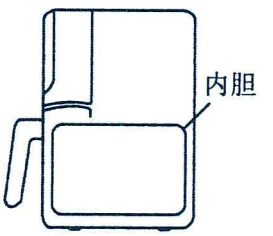
B．升温后内胆中气体的压强为 $1.4\times10^5\text{Pa}$

C．此过程内胆中气体的内能增加量大于 $5.2\times10^3\text{J}$

D．此过程内胆中气体分子单位时间内撞击内壁的次数不变

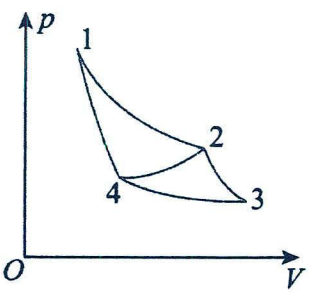


甲



乙

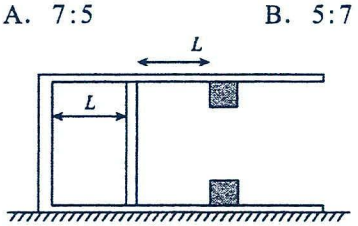
【例 2】密闭容器内封闭一定质量的理想气体，能在 1、2、3、4 四个状态间转化，$p-V$ 图像如图。已知 $1\to2$ 过程和 $3\to4$ 过程图像均为双曲线的一部分，$2\to3$ 过程和 $4\to1$ 过程绝热，气体在 $1\to2\to4\to1$ 过程对外所做的功为 W_1，在 $2\to3\to4\to2$ 过程对外所做的功为 W_2，且 $1\to2\to4\to1$ 过程和 $2\to3\to4\to2$ 过程中气体对外所做的功与吸热过程气体吸收热量的比值相同。则气体在 $1\to2$ 过程中吸收的热量为（　　）



A．$\dfrac{W_1W_2}{W_1+W_2}$　　B．$\dfrac{W_1^2}{W_1+W_2}$　　C．$\dfrac{W_1W_2}{W_1-W_2}$　　D．$\dfrac{W_1^2}{W_1-W_2}$

【例 3】1mol 的气体温度变化 ΔT 时，若其吸收或放出的热量为 Q，则该气体的摩尔热容为 $c_\text{m}=\dfrac{Q}{\Delta T}$，$c_\text{m}$ 与气体经历的变化过程有关，常用的有定压摩尔热容 (c_p) 和定容摩尔热容 (c_V) 两种。如图所示，截面积为 S 的密封良好的活塞在汽缸内封闭着一定质量的理想气体，稳定时气体压强与大气压强相同，均为 p_0，此时活塞到汽缸底部距离为 L，活塞右侧 L 处有一固定卡环，活塞可在汽缸内无摩擦滑动。现使汽缸内气体温度缓慢升高为初始的 2 倍，这个过程气体内能升高了 $2.5p_0LS$，之后再使气体温度升高为初始的 3 倍。已知理想气体内能与温度成正比，则该气体的定压摩尔热容和定容摩尔热容之比为（　）

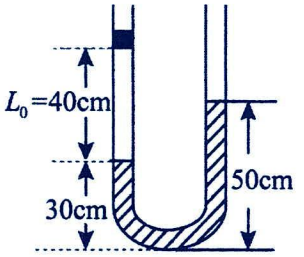
A．7:5　　B．5:7　　C．1:1　　D．5:2



【例 4】如图所示一 U 形玻璃管竖直放置，右端开口，左管用光滑活塞和水银封闭一段空气柱。外界大气压为 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，封闭气体的温度 $t_0=27℃$，玻璃管的横截面积为 $S=5.0\text{cm}^2$，管内水银柱及空气柱长度如图所示。已知水银的密度为 $\rho=13.6\times10^3\text{kg/m}^3$，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$；封闭气体的温度缓慢降至 $t_1=-3℃$。求：

(1)温度 $t_1=-3℃$ 时空气柱的长度 L；

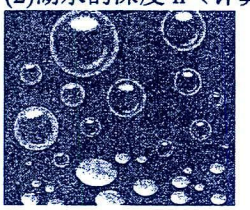
(2)已知该过程中气体向外界放出 6.0J 的热量，气体内能的变化量。（结果保留两位有效数字）



【例 5】在深度为 h 的湖泊底部产生一直径为 $d=0.4\text{cm}$ 的球形气泡，气泡由水底上升 $\Delta h=10\text{m}$ 时，直径变为 $D=0.44\text{cm}$，若该过程中气体膨胀对外做的功为 W，气泡内的气体可视为理想气体，忽略气泡上升过程中的温度变化，气泡内气体的压强始终等于气泡外水的压强，大气压强恒为 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，水的密度恒为 $\rho=1.0\times10^3\text{kg}/\text{m}^3$，重力加速度 $g=10\text{m}/\text{s}^2$。求：

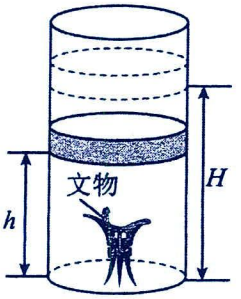
(1)气泡上升 10m 的过程中，气泡内的气体与湖水交换的热量 Q；（用字母表示）

(2)湖水的深度 h（计算结果保留整数）。



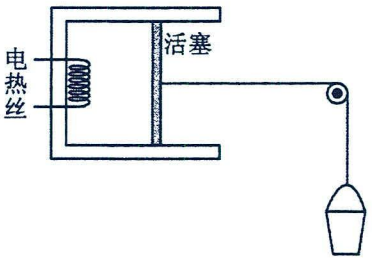
【例 6】如图所示，一个导热良好的圆柱形气缸开口向上竖直放置于水平面上，缸内有一形状不规则的文物，且封闭有一定质量的理想气体.初始时刻，气体的温度为 7℃，质量为 m、横截面积为 S 的活塞到气缸底部的距离为 h.现环境温度缓慢升高到 27℃时，活塞离气缸底部的距离变为 H，此过程中缸内气体吸收的热量为 Q。已知大气压恒为 p_0，重力加速度大小为 g，热力学温度 T 与摄氏温度 t 之间的数量关系为 $T=(t+273)\text{K}$，活塞与气缸壁密封良好且不计摩擦，忽略文物热胀冷缩的影响。求：(1)气缸内放置的文物的体积；

(2)该过程中气体增加的内能。



【跟踪训练】

1．如图所示，开口向右的绝热汽缸，用绝热光滑活塞封闭一定质量的理想气体。轻绳左端连接活塞，活塞横截面积为S，另一端跨过光滑定滑轮连接质量为m的小桶，小桶静止，气体处于状态1。现接通电热丝一段时间后断电，活塞缓慢向右移动L后静止，气体处于状态2，由状态1到状态2电热丝放出的热量为Q。重力加速度大小为g，外界大气压强不变。下列说法正确的是（　）



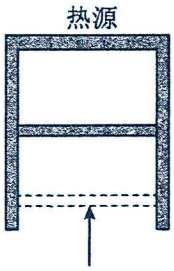
A．状态2相比状态1，气体压强减小

B．状态2相比状态1，气体压强增大

C．由状态1到状态2，气体内能变化为$\Delta U=Q-(p_0S-mg)L$

D．由状态1到状态2，气体内能变化为$\Delta U=Q-(p_0S+mg)L$

2．（多选题）如图所示，导热良好的固定直立圆筒内，用面积为S，重力为$0.01p_0S$的活塞封闭一定质量的理想气体，活塞能无摩擦滑动。圆筒与温度为$3T_0$的热源接触，平衡时圆筒内的气体处于状态A，此时体积为$6V_0$。缓慢推动活塞使气体达到状态B，此时体积为$5V_0$。固定活塞，升高热源温度，气体达到状态C，此时压强为$1.4p_0$。从状态A到状态C，气体从外界吸收热量Q；从状态B到状态C，气体内能增加ΔU。已知大气压强为$1.01p_0$，下列说法正确的是（　　）



A．气体从状态A到状态B，其分子平均动能不变，圆筒内壁单位面积受到的压力增大

B．气体在状态A的压强为$1.2p_0$

C．气体在状态C的温度为$3.6T_0$

D．气体从状态A到状态B过程中外界对系统做的功W＝ΔU－Q

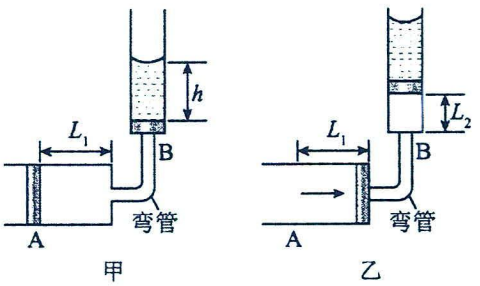
3．（多选题）气压传动是工业中常见的传动方式。导热良好、气密性良好、不计摩擦的气缸中有面积为2S的轻活塞A和面积为S的轻活塞B，活塞重力均可忽略不计。初始状态如图甲所示，活塞A与气缸右端相距L_1，处于平衡状态。现用力缓慢向右移动活塞A，最终如图乙所示，活塞B和液体上升L_2。已知大气压强为p_0，液体密度为ρ、高度为h，弯管中的气体体积可忽略，下列说法正确的是（　　）

A．初始时封闭气体压强大于p_0

B．图中液体浸润竖直管道

C．最终活塞上升的高度为$L_2=\dfrac{2p_0L_1}{p_0+\rho gh}$

D．该过程中外界对封闭气体做功W，则$W=(2p_0+\rho gh)\left(L_1-\dfrac{1}{2}L_2\right)S$



4．如图所示，测定一个形状不规则小块固体体积，将此小块固体放入已知容积为 V_0 的导热效果良好的容器中，开口处竖直插入两端开口的薄玻璃管，其横截面积为 S，接口用蜡密封。容器内充入一定质量的理想气体，并用质量为 m 的活塞封闭，活塞能无摩擦滑动，稳定后测出气柱长度为 l_1，将此容器放入热水中，活塞缓慢竖直向上移动，再次稳定后气柱长度为 l_2、温度为 T_2。已知 $S=4.0\times10^{-4}m^2$，m=0.1kg，$l_1=0.2$ m，$l_2=0.3$m，$T_2=350K$，$V_0=2.0\times10^{-4}m^3$，大气压强 $p_0=1.0\times10^5Pa$，环境温度 $T_1=300K$。

（1）在此过程中器壁单位面积所受气体分子的平均作用力_____（选填“变大”“变小”或“不变”），气体分子的数密度_____（选填“变大”“变小”或“不变”）；

（2）求此不规则小块固体的体积 V；

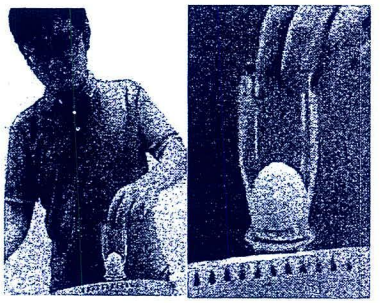
（3）若此过程中气体内能增加 10.3 J，求吸收热量 Q。



5．如图所示，川中王老师给同学们演示如何解救鸡蛋，当时室内温度27°C，室内大气压强1.0×10^5Pa，倒置玻璃瓶，让鸡蛋卡住瓶口。已知瓶内气体视为质量一定的理想气体。然后王老师用滚烫的开水给瓶内气体加热，最后成功将鸡蛋解救出来，在此过程中，王老师有疑惑需要同学们帮忙解决：

（1）当瓶内气体温度加热到47°C时，此时瓶内气体压强是多少？

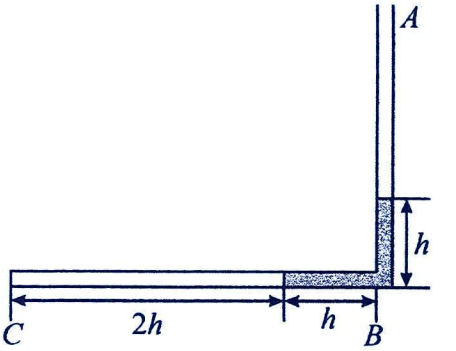
（2）若从开始加热到鸡蛋刚要向下滑动时，瓶内气体吸收热量为 120J，此过程瓶内气体的内能变化了多少？



6．如图，将粗细均匀的“L”形、导热性能良好的特制细玻璃管固定在竖直面内，BC 水平放置，AB 与 BC 相互垂直，A 端开口、C 端封闭。水银柱封闭着一段理想气体，某次实验中，初始时，实验温度为 T，封闭气柱长为 $2h$，水银柱总长为 $2h$。大气压强始终保持不变且数值上等于 $2\rho gh$（ρ 为水银密度，g 为重力加速度），T 为热力学温度。（1）求初始时气柱的压强 p_1；

（2）若温度升高，BC 管内水银柱往右移动且未完全进入竖直管，该过程封闭气体对外做功为 W，吸收热量为 Q，求封闭气体的内能改变量 ΔU；

（3）若实验温度缓慢升高到 $4T$ 时，水银柱全部进入竖直管并上升一段距离，求水银柱上表面升高的高度 H。



题型四：热力学第一定律的应用——图像问题

解题要点：

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.气体的做功情况、内能变化及吸、放热关系可由热力学第一定律分析

(1)由体积变化分析气体做功的情况：体积膨胀，气体对外做功；气体被压缩，外界对气体做功

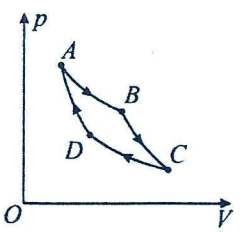
(2)由温度变化判断气体内能变化：温度升高，气体内能增大；温度降低，气体内能减小

(3)由热力学第一定律ΔU＝W＋Q判断气体是吸热还是放热

(4)在p－V图像中，图像与横轴所围面积表示气体对外界或外界对气体整个过程中所做的功

【精选例题】

【例1】（多选题）如图所示为卡诺循环过程的图像，该箱环可以简化为一定质量理想气体由A→B、C→D两个等温过程和B→C、D→A两个绝热过程组成，下列说法正确的是（　　）



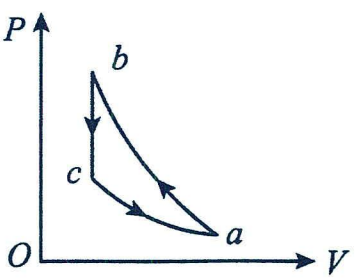
A．B→C过程气体温度升高

B．B→C过程气体对外界做功

C．B→C过程气体单位体积内分子数增多

D．在A→B→C→D→A的过程中，气体从外界吸收热量

【例2】一定质量的理想气体经历如图所示的循环过程，$a\to b$过程气体与外界无热量交换，$b\to c$过程为等容过程，$c\to a$过程为等温过程。下列说法正确的是（　　）



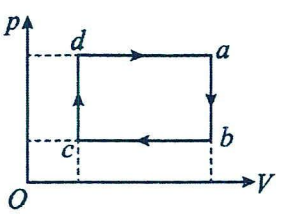
A．$a\to b$过程，气体压强和体积的乘积减小

B．$b\to c$过程，气体从外界吸收的热量等于内能的增加量

C．$c\to a$过程，气体从外界吸收的热量全部用于对外做功

D．$a\to b\to c\to a$过程，气体向外界放出的热量等于从外界吸收的热量

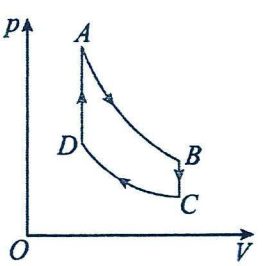
【例3】（多选题）如图所示，一定质量的理想气体从状态a依次经过状态b、c和d后再回到状态a，则（　）



A．a到b过程，气体内能减少　　B．b到c过程，气体对外界做正功

C．c到d过程，气体从外界吸收热量　　D．经过一次循环过程，气体从外界吸收热量

【例4】下图是一台热机的循环过程，工作物质为理想气体，它由两个等容过程和两个等温过程组成，$A\to B$温度为T_1，$C\to D$温度为T_2，关于该循环，下列判断正确的是（　　）



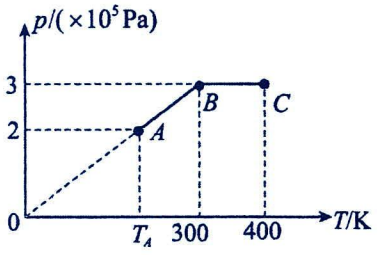
A．温度T_1小于温度T_2

B．$B\to C$放出的热量等于$D\to A$吸收的热量

C．$A\to B$气体对外做功等于$C\to D$外界对气体做功

D．气体分子在状态A时的平均动能大于在状态B时的平均动能

【例 5】一定质量的理想气体由状态 A 经过状态 B 变为状态 C，其 $p-T$ 图像如图所示。已知气体在状态 C 时的体积为 0.6m^3。下列说法正确的是（　）



A．气体在状态 A 时的温度为 300K、体积为 0.45m^3

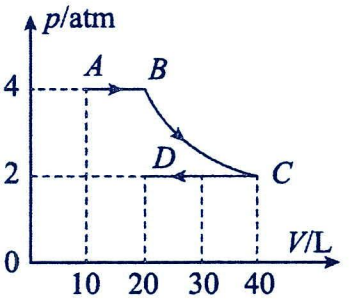
B．从状态 A 到状态 B 的过程中，单位时间内与单位面积器壁碰撞的分子数可能不变

C．从状态 B 到状态 C 的过程中，分子数密度减小，单个分子对器壁的平均撞击力不变

D．从状态 A 到状态 C 的过程中，气体从外界吸收的热量大于 45000J

【跟踪训练】

1．一定质量的理想气体按图中箭头所示的顺序进行状态变化，图中 BC 段是以纵轴和横轴为渐近线的双曲线，则下列说法正确的是（　）



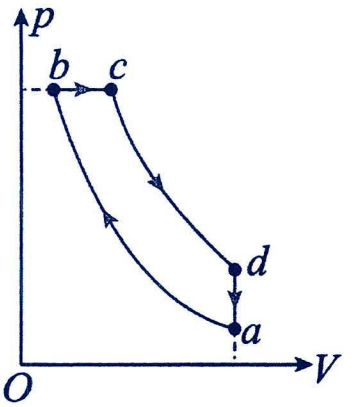
A．$A\to B$ 过程，气体体积增大，温度降低

B．$B\to C$ 过程，气体体积增大，温度不变，每个气体分子的动能都不变

C．$C\to D$ 过程，气体体积减小，温度降低，气体分子的平均动能减小

D．气体沿不同的途径从状态 D 变化到状态 A 的过程对外界做的功都相同

2．迪塞尔循环是一种热力学循环，常用在柴油引擎中。该循环由两个绝热过程、一个等压过程和一个等容过程组成。如图所示 $a\to b\to c\to d\to a$ 为一定质量的理想气体经历的迪塞尔循环，则（　　）



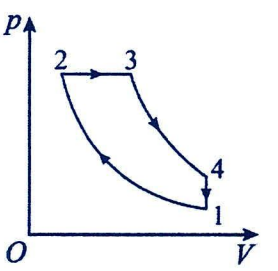
A．在 $a\to b$ 过程中，气体的温度降低

B．在 $b\to c$ 过程中，气体对外界做的功小于气体吸收的热量

C．在 $c\to d$ 过程中，气体分子的平均速率增加

D．在 $d\to a$ 过程中，气体的内能增大

3．一定质量理想气体经历了如下的循环过程：1→2 和 3→4 为绝热过程，2→3 为等压过程，4→1 为等容过程，其 $p-\text{V}$ 图像如图所示。下列说法正确的是（　　）



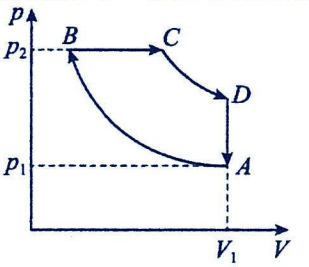
A．1→2 过程中，外界对气体做功，气体内能增加

B．2→3 过程中，气体对外界做功，气体内能减小

C．3→4 过程中，气体内能减小，所有分子的运动速率都减小

D．4→1 过程中，气体内能增加

4．（多选题）如图所示为某一定质量的理想气体循环过程的 $p-V$ 图像。B→C 为等压过程，D→A 为等容过程，A→B 和 C→D 为等温过程。关于该循环过程中，下列说法正确的是（　）



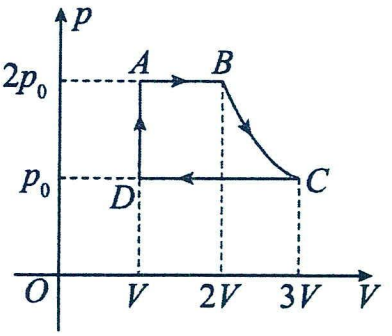
A．A 状态气体的温度高于 C 状态

B．C→D 过程气体向外界放出热量

C．整个循环过程中，B 状态单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数最多

D．从 A 状态开始，经过一个顺时针循环再回到 A 状态，气体要从外界吸收热量

5．（多选题）一定质量的理想气体从 A 状态开始，经过 A→B→C→D→A，最后回到初始状态 A，各状态参量如图所示。下列说法正确的是（　　）



A．A 状态到 C 状态气体吸收热量

B．B 状态到 C 状态气体分子的平均动能减小

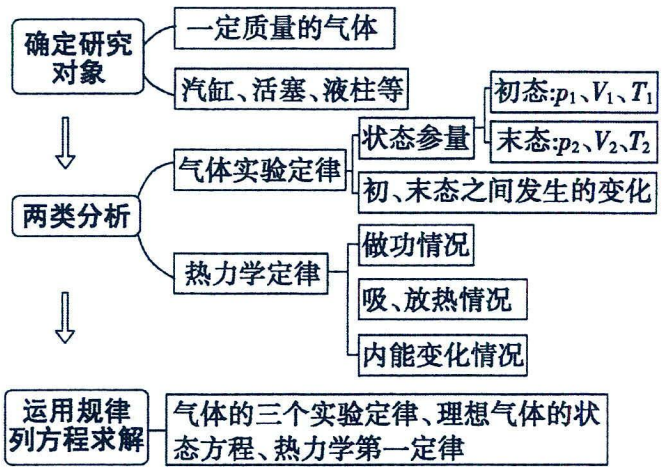
C．B→C 过程气体对外做功大于 C→D 过程外界对气体做功

D．气体在整个过程中从外界吸收的总热量可以用 ABCD 的面积来表示

题型五：热力学第一定律与气体实验定律综合应用

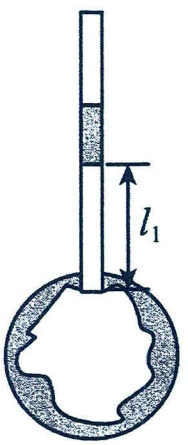
解题要点：

求解气体实验定律与热力学定律的综合问题的一般思路



【精选例题】

【例 1】如图所示，一导热性能良好的球形容器内部不规则，某兴趣小组为了测量它的容积，在容器上插入一根足够长、两端开口的长玻璃管，接口用蜡密封。玻璃管内部横截面积为 $S=0.2\text{cm}^2$，玻璃管内一长为 $h=15\text{cm}$ 的静止水银柱封闭着长度为 l_1=10cm 的空气柱，此时外界温度为 t_1=27℃。现把容器浸在温度为 t_2=77℃的热水中，水银柱缓慢上升，当水银柱重新静止时下方玻璃管内的空气柱长度变为 l_2=110cm，实验过程中认为大气压没有变化，大气压 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$（相当于 75cm 高水银汞柱压强），（0℃的热力学温度值为 273K，忽略水银柱与玻璃管壁之间的阻力）

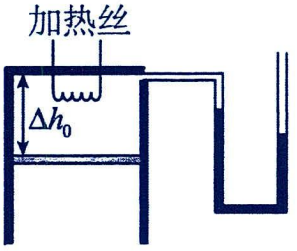


(1)放入热水后容器内气体分子平均速率_____（填“增大”或“减小”）；

(2)求容器的容积 V；

(3)若实验过程中管内气体内能增加了 5.6J，请判断气体从外界吸收热量还是向外界放出热量，并计算热量的大小。

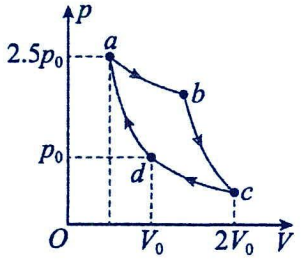
【例 2】如图所示，筒高为 h 的汽缸倒立，活塞在汽缸内封闭一定质量的理想气体，活塞与汽缸间的摩擦可忽略不计，活塞、汽缸均绝热，活塞下部空间与外界连通，汽缸底部连接一“U”形细管，细管右端口与大气连通，内部装有部分水银（管内气体的体积忽略不计）。初始时，封闭气体的温度为 T_0，活塞位于汽缸中央，细管内两侧水银柱的高度差为Δh_0，大气压强为 p_0，活塞横截面积为 S，厚度不计，水银的密度为ρ，重力加速度为 g，求：(1)汽缸内气体的压强；(2)通过加热装置缓慢提升气体温度，使活塞恰好到达汽缸开口处，求此时汽缸内气体的温度；此加热过程中，若气体吸收的热量为 Q，求气体内能的变化量。



【例 3】卡诺热机是只有两个热源（一个高温热源和一个低温热源）的简单热机，其循环过程的 $p-V$ 图像如图所示，它由两个等温过程（a→b 和 c→d）和两个绝热过程（b→c 和 d→a）组成。若热机的工作物质为理想气体，高温热源温度为 T_1，低温热源温度为 $0.8T_1$，p-V 图像中 a、b、c、d 各状态的参量如图所示。求：

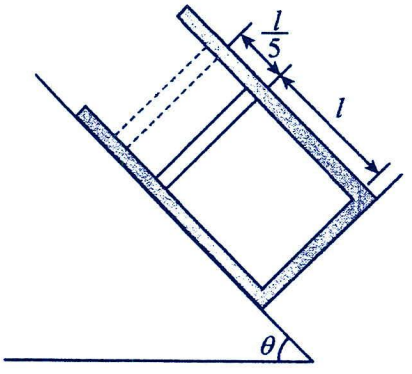
(1)气体处于状态 c 的压强 P_c；(2)气体处于状态 a 的体积 V_a；

(3)若过程 a→b 热机从高温热源吸热 Q_1，过程 c→d 热机向低温热源放热 Q_2，求热机完成一次循环对外做的功 W。



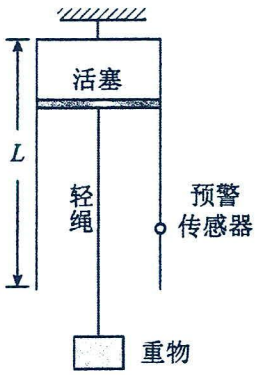
【例 4】如图所示，上端开口的圆柱形容器固定在倾角为θ的斜面上，其内用质量为 m 的活塞密封一部分理想气体，活塞的横截面积为 S，能无摩擦地滑动。初始时容器内气体的温度为 T_0，气柱的长度为 l。当容器内气体从外界吸收一定热量后，活塞缓慢沿斜面上升$\frac{1}{5}l$后再次平衡。已知容器内气体的内能变化量$\triangle U$与温度变化量ΔT的关系式为$\Delta U = C\Delta T$，C 为已知常数，大气压强恒为 p_0，重力加速度大小为 g，所有温度为热力学温度。求：

(1)再次平衡时容器内气体的温度；(2)此过程中容器内气体吸收的热量。



【例 5】一超重预警装置示意图如图所示，高为L、横截面积为S、质量为m、导热性能良好的薄壁容器竖直倒置悬挂，容器内有一厚度不计、质量也为m的活塞，稳定时活塞正好封闭一段长度为$\frac{L}{3}$的理想气柱。活塞通过轻绳连接一重物后恰好下降至预警传感器处，触发超重预警。已知初始时环境的热力学温度为T_0，预警传感器到容器底部的距离为$\frac{6L}{7}$，大气压强$p_0=\frac{10mg}{S}$，重力加速度为g，容器内气体内能与热力学温度的关系为$U=kT$,k为常量，不计一切摩擦阻力。求：(1)求所挂重物的质量；

(2)若在刚好触发超重预警后，外界温度缓慢降低为$\frac{T_0}{6}$，求在该过程中，容器内气体向外界放出的热量。

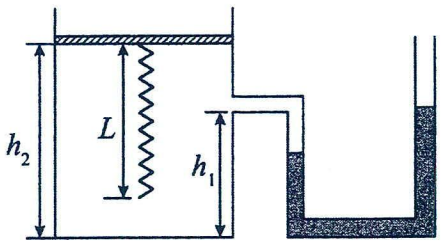


【跟踪训练】

1．如图所示，一个质量为$m=1\text{kg}$的活塞在气缸内封闭一定量的理想气体，活塞下方悬挂一个劲度系数为$k=500\text{N/m}$的轻质弹簧，弹簧原长为$L=16\text{cm}$，活塞体积可忽略不计，距气缸底部$h_1=12\text{cm}$处连接有一右端开口的U形细管（管内气体的体积忽略不计），初始时，封闭气体温度为$T_1=330\text{K}$，活塞距离气缸底部为$h_2=20\text{cm}$，U形细管两边水银柱存在高度差。已知大气压强为$p_0=1\times10^5\text{Pa}$，气缸横截面积为$S=1\times10^{-3}\text{m}^2$，重力加速度为$g=10\text{m/s}^2$，不计活塞与气缸内壁的摩擦。

（1）通过制冷装置缓慢降低气体温度，当温度为多少时两边水银面恰好相平；

（2）从开始至两水银面恰好相平的过程中，若封闭气体向外界放出的热量为5J，求气体内能的变化量ΔU。

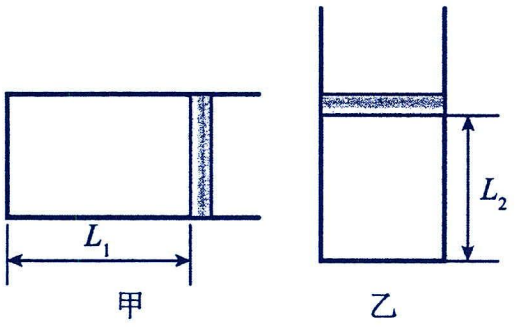


2．导热良好的圆筒形容器水平放置，用横截面积为$S=0.01\text{m}^2$的光滑活塞密封了一定质量的理想气体，如图甲所示，活塞到底面的距离L_1为102cm。现在将容器缓慢转到竖直，如图乙所示，此时活塞到底面的距离变为$L_2=100\text{cm}$，设大气压$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，热力学温度T与摄氏温度t的关系取$T=t+273$（K），重力加速度$g=10\text{m/s}^2$。求：(1)求活塞的质量

(2)若原先的环境温度为27℃，现在要通过改变环境温度使活塞回到原先的位置，则

①应使环境温度变为多少？

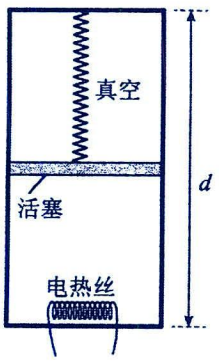
②理想气体的内能与温度的关系为$U=aT$，此理想气体$a=25\text{J/K}$，在（2）所述过程中气体是吸热还是放热？传递的热量是多少？



3．如图所示，竖直放置的密闭绝热汽缸被不导热的活塞分成上、下两部分，下方封闭着一定质量的理想气体，上方为真空，活塞与汽缸顶部用一根轻质弹簧连接。已知汽缸的高度为d，活塞的质量为m、横截面积为S，活塞厚度忽略不计，且与汽缸壁间无摩擦，弹簧的劲度系数为$\frac{2mg}{d}$，弹簧原长为$\frac{d}{2}$，气体的内能变化量ΔU与热力学温度变化量ΔT满足的关系式为$\Delta U=C\Delta T$（C为常数且已知），重力加速度为g。初始时，下方密封气体的热力学温度为T_0，活塞刚好位于汽缸正中间。

(1)求初始状态下，汽缸内下方密封气体的压强；

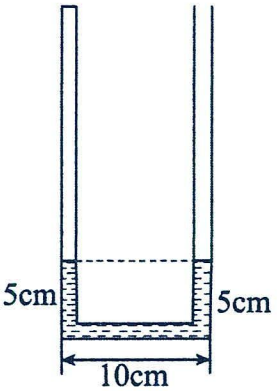
(2)若通过电热丝（体积可忽略）缓慢加热汽缸内下方密封气体，使活塞缓慢向上移动了$\frac{d}{4}$，求该过程中气体吸收的热量。



4．如图所示，左侧封闭、右侧开口的粗细均匀的 U 形玻璃管竖直放置，左右两竖直管等长，长度均为 65cm，底部长 10cm，玻璃管横截面积 $S=3\text{cm}^2$，用 20cm 长的水银柱密封一段空气柱，管中两侧水银柱高度均为 5cm，玻璃管导热良好，环境温度为 27℃，若取大气压强 $p_0=75\text{cmHg}=1.0\times10^4\text{Pa}$，不考虑玻璃管拐角处的影响。

（1）环境的热力学温度为多少时，水银柱恰好全部在竖直管内？

（2）当水银柱恰好全部在右侧竖直管内时，缓慢升高温度，直到水银柱上表面到达管口为止，此过程空气柱内能增加了 10J，求空气柱吸收或放出的热量。



考点二：热力学第二定律

解题要点：

1.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。(例如：机械能守恒)

(3)第一类永动机：不需要任何动力或燃料，却能不断地对外做功的机器。

(4)第一类永动机违背能量守恒定律，是不可能制成的。

2.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；（按照热传导的方向性来表述）

(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；（按照机械能与内能转化过程的方向性来表述的）

(3)两种表述的联系：

克劳修斯表述是按照热传导的方向性来表述的；

开尔文表述是按照机械能与内能转化过程的方向性来表述的。

两种表述是等价的，热力学第二定律的两种表述看上去似乎没有什么联系，然而实际上它们是等价的，即由其中一种表述可以推导出另一种表述。

(4)第二类永动机：从单一热源吸收热量，使之完全变成功，而不产生其他影响的机器。

(5)第二类永动机违背宏观热现象方向性，即不违背能量守恒定律，但违背热力学第二定律，也是不可能制成的。

3.热力学第二定律的理解

(1)“自发地”指明了热传递等热力学宏观现象的方向性，不需要借助外界提供能量。

(2)“不产生其他影响”的含义是指发生的热力学宏观过程只在本系统内完成，对周围环境不产生热力学方面的影响，如吸热、放热、做功等。在产生其他影响的条件下内能可以全部转化为机械能。

4.热力学第二定律的实质：热力学第二定律的每一种表述，都揭示了一切与热现象有关的宏观过程都具有方向性，进而使人们认识到自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性，即一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的。

①高温物体$\underset{\text{热量 } Q \text{ 不能自发传给}}{\overset{\text{热量 } Q \text{ 能自发传给}}{\rightleftharpoons}}$低温物体

②功$\underset{\text{不能自发地完全转化为}}{\overset{\text{能自发地完全转化为}}{\rightleftharpoons}}$内能

③气体体积 V_1（较小）$\underset{\text{不能自发收缩到}}{\overset{\text{能自发膨胀到}}{\rightleftharpoons}}$气体体积 V_2（较大）

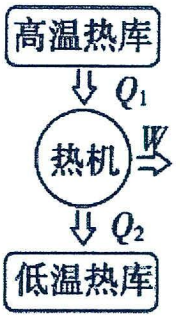
④不同气体 A 和 B $\underset{\text{不能自发分离成}}{\overset{\text{能自发混合成}}{\rightleftharpoons}}$混合气体 AB

5.热机

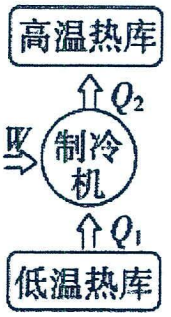
①定义：一种把内能转化为机械能的装置。

②原理：热机从高温热库吸收热量 Q_1，推动活塞做功 W，然后向低温热库(冷凝器或大气)释放热量 Q_2。

③效率：由能量守恒定律得 $Q_1=W+Q_2$，把热机做的功 W 和它从热库吸收的热量 Q_1 的比值叫作热机效率，用η表示，即 $\eta=\frac{W}{Q_1}\times 100\%$。



热机工作过程示意图



制冷机工作过程示意图

6.热力学第二定律的微观解释

(1)有序和无序、宏观态和微观态

①有序和无序：确定某种规则，符合这个规则的分布就是有序的，不符合确定的规则和要求的分布是无序的。

②宏观态和微观态

a）规定了某种规则，我们就规定了一个“宏观态”，这个“宏观态”可能包含一种或几种“微观态”，不同的“宏观态”对应的“微观态”的个数不同。如果一个“宏观态”对应的“微观态”比较多，就说这个“宏观态”是比较无序的。

b）我们把以系统的分子数分布而不区分具体的分子来捕写的系统状态叫热力学系统的宏观态；把以分子数分布并且区分具体的分子来描写的系统状态叫热力学系统的微观态。

(2)热力学第二定律的微观解释

①热力学第二定律的微观意义：一切自然过程总是沿着分子热运动无序性增大的方向进行。

②对热力学第二定律微观意义的理解

a)系统的热力学过程就是大量分子无序运动状态的变化在功转化为热的过程中，从微观上看，自然过程是大量分子从有序运动状态向无序运动状态转化的过程，但其逆过程不能自发地进行，即不可能由大量分子无规则的热运动自发转变为有序运动。

b)在热传递的过程中，从微观上看，自然过程是大量分子从无序程度小的运动状态向无序程度大的运动状态转化的过程，其逆过程不能自发进行。

c)大量分子无序运动状态变化的方向总是向无序性增大的方向进行，即一切自然过程总是沿着无序性增大的方向进行，这就是热力学第二定律的微观意义。

(3)熵增加原理

在任何自然过程中，一个孤立系统的总熵不会减小，这就是熵增加理论，也就是热力学第二定律的另一种表述。

①由熵的定义可知，熵较大的宏观状态就是无序程度较大的宏观状态，也就是出现概率较大的宏观状态。

在自然过程中熵总是增加的，并非因为有序是不可能的，而是因为通向无序的渠道要比通向有序的渠道多得多。把事情搞得乱糟糟的方式要比把事情做得整整齐齐的方式多得多。

②从微观的角度看，热力学第二定律是一个统计规律：一个孤立系统总是从小的状态向大的状态发展，而熵值较大代表着较为无序，所以自发的宏观过程总是向无序性增大的方向发展.若过程可逆，则不变；若过程不可逆，则熵增加。

一、单选题

1．下列关于能量守恒定律的认识，不正确的是（　　）

A．石子从空中落下，最后停止在地面上，说明石子的能量消失了

B．对物体做功，物体的内能可能减小

C．某个物体的能量减少，必然有其他物体的能量增加

D．某种形式的能量减少，一定存在其他形式的能量增加

2．下列对能量转化和守恒定律的认识错误的是（　　）

A．某种形式的能减少，一定存在其他形式的能增加

B．某个物体的能减少，必然有其他物体的能增加

C．不需要任何外界的动力而持续对外做功的机器——永动机是不可能制成的

D．石子从空中落下，最后静止在地面上，说明机械能消失了

3．下列说法中正确的是（　）

A．所有能量守恒的过程都能自发地发生

B．摩擦生热的过程是不可逆过程

C．空调机既能致热又能致冷，说明热传递不存在方向性

D．能的转化过程符合能量守恒定律，因此不会发生能源危机

4．下列说法正确的是（　　）

A．涉及热现象的宏观自然过程是可逆的

B．第二类永动机不可能制成是因为它违反了热力学第一定律

C．一定质量的理想气体保持压强不变，温度升高，单位时间内气体分子对单位面积容器壁的碰撞次数一定减少

D．在一定条件下，物体的温度可以降低到绝对零度

5．关于热力学定律，下列说法正确的是（　　）

A．绝对零度是可以达到的

B．热量不能从低温物体传递到高温物体

C．热机的效率可以提高但不能达到100%

D．不可能将从热源吸收的热量全部用来做功

6．对热力学第二定律理解，正确的是（　　）

A．热力学第二定律是从另一个侧面阐述能量守恒定律

B．若消除热机的漏气、摩擦和热量损耗，热机效率可以达到100%

C．第二类永动机不可能制成，说明机械能可以全部转化为内能，内能却不能全部转化为机械能

D．熵是系统内分子运动无序性的量度，一个孤立系统总是从熵小的状态向熵大的状态发展

7．对于孤立体系中发生的实际过程，下列说法中正确的是（　　）

A．系统的总熵只能减小，不可能增加

B．系统的总熵可能增大，可能不变，还可能减小

C．系统逐渐从比较有序的状态向更无序的状态发展

D．系统逐渐从比较无序的状态向更加有序的状态发展

8．下列对能量耗散的理解正确的是（　　）

A．能量耗散从能量角度反映出自然界的宏观过程没有方向性　　B．能量耗散遵守能量守恒定律

C．能量耗散说明能量不能凭空产生，但可以凭空消失　　D．能量耗散说明能量不断减少

9．下列关于热力学第二定律微观意义的说法正确的是（　　）

A．从微观的角度看，热力学第二定律是一个统计规律

B．一切自然过程总是沿着分子热运动无序性减小的方向进行

C．有的自然过程向着分子热运动无序性增大的方向进行，有的自然过程沿着分子热运动无序性减小的方向进行

D．在自然过程中，一个孤立系统的总熵可能减小

10．有人设想用降低海水温度的方法就可以得到大量的能量，相当于一个很好的永动机，关于这样的永动机，下列说法中正确的是（　）

A．这样做可以成功，因为它符合能量守恒定律　　B．这样做不能成功，因为它违反热力学第一定律

C．这样做可以成功，因为它符合热力学第二定律　　D．这样做不能成功，因为它违反热力学第二定律

11．关于能量的转化，判断下列说法中正确的是（　　）

A．尽管科技不断进步，热机的效率仍不能达到100%，制冷机却可以使温度降到–293°C

B．第一类永动机违背能量守恒定律，第二类永动机不违背能量守恒定律，随着科技的进步和发展，第二类永动机可以制造出来

C．空调机既能制热又能制冷，说明传热不存在方向性

D．热量不可能由低温物体传给高温物体而不发生其他变化

12．热力学第二定律表明（　　）

A．不可能从单一热源吸收热量使之全部变为有用功　　B．摩擦生热的过程是不可逆的

C．热机中，燃气的内能可全部用于对外做功　　D．热量不可能从温度低的物体传到温度高的物体

13．关于对永动机的认识，下列说法正确的是（　）

A．随着科技的不断发展，永动机是可以制成的

B．永动机指的是在摩擦力趋于零的条件下一直运动的机器，它不需要对外做功

C．两类永动机的实质和工作原理是相同的，都是人们的美好设想，是永远不会实现的

D．虽然第二类永动机不违反能量守恒定律，但仍不可制成

14．下列关于热力学定律说法正确的是（　　）

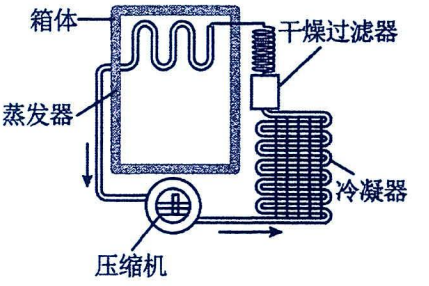
A．第一类永动机不可制成违背了热力学第一定律

B．第二类永动机不可制成违背了热力学第二定律

C．电冰箱的工作原理不违背热力学第二定律，但违背了热力学第一定律

D．从微观上可以这样理解热力学第二定律，热传导的自然过程总是从有序运动状态向无序状态转化的一个过程

15．如图所示为电冰箱的工作原理示意图，压缩机工作时，强迫制冷剂在冰箱内外的管道中不断循环。在蒸发器中制冷剂汽化吸收箱体内的热量，经过冷凝器时制冷剂液化，放出热量到箱体外。下列说法正确的是（　　）



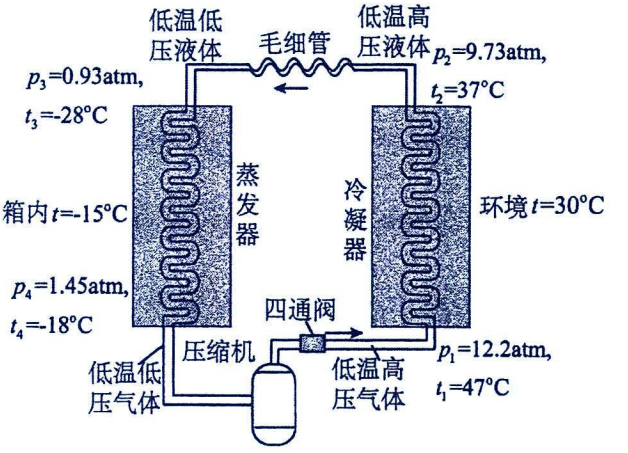
A．热量可以自发地从冰箱内传到冰箱外

B．在封闭的房间里打开冰箱一段时间后，房间温度会降低

C．电冰箱的工作原理不违反热力学第一定律

D．电冰箱的工作原理违反热力学第二定律

16．如图，电冰箱由压缩机、冷凝器、毛细管、蒸发器四个部分组成一个密闭的连通系统，制冷剂在连通系统内循环流经这四个部分。各部分的温度和压强如图所示，则下列说法正确的（　　）



A．冷凝器向环境散失的热量等于蒸发器从冰箱内吸收的热量

B．该过程实现了热量自发地从低温物体向高温物体传递

C．制冷剂在通过冷凝器的过程中分子势能和分子平均动能都降低

D．制冷剂在蒸发器中的状态可以看成理想气体

二、多选题

17．关于能及其转化，下列说法中正确的是（　　）

A．摩擦生热的过程是自发不可逆过程

B．每种形式的能都对应于某种形式的运动，各种形式的能是可以相互转化的

C．根据能的转化和守恒定律，可断定永动机是永远不可能被造出来的

D．随着人类对能源的不断开发和使用，地球上的总能量越来越少，造成了能源危机。

18．关于能量守恒定律与能源，下面说法正确的是（　）

A．人骑自行车是将生物质能转化为机械能

B．太阳能的利用一般为光电转换

C．只要有能量转移和转化，就一定遵从能量守恒定律

D．生物质能属于可再生能源，风能属于不可再生能源

19．下列关于晶体熔化的说法中正确的是（　　）

A．在晶体熔化的过程中，温度不变，分子热运动的平均速率不变，则无序程度不变

B．晶体熔化时，由分子的平衡位置在空间较为规则排列，变为无序排列，则无序度增大

C．在晶体熔化的过程中，熵将保持不变

D．在晶体熔化的过程中，熵将增加

20．关于热力学第二定律，下列说法正确的是（　　）

A．第二类永动机不可能制成是因为违背了热力学第一定律

B．自然界中进行的涉及热现象的宏观过程都具有方向性

C．热量不可能自发地从低温物体传递到高温物体

D．热机效率不可能达到 100%

21．根据热力学定律，下列说法正确的有（　　）

A．一切符合能量守恒定律的宏观过程都能发生

B．电冰箱的工作原理表明，热量可以从低温物体向高温物体传递

C．科技的不断进步使得人类有可能生产出单一热源的热机

D．能量耗散是从能量转化的角度反映出自然界中的宏观过程具有方向性

22．下列关于热力学第二定律的说法正确的是（　　）

A．所有符合能量守恒定律的宏观过程都能发生

B．一切与热现象有关的宏观自然过程都是不可逆的

C．机械能可以全部转化为内能，在不产生其他影响的情况下，内能无法全部用来做功而转化成机械能

D．气体向真空的自由膨胀是可逆的

23．关于热力学第二定律，下列说法正确的是（　　）

A．功转变为热的实际宏观过程是不可逆的

B．一切不违背能量守恒定律的物理过程都是可以实现的

C．由热力学第二定律可以判断物理过程能否自发进行

D．一切物理过程都不可能自发地进行

24．我们绝不会看到：一个放在水平地面上的物体，靠降低温度，可以把内能自发地转化为动能，使这个物体运动起来。对其原因，下列说法不正确的是（　　）

A．这违背了能量守恒定律

B．在任何条件下内能都不可能转化为机械能，机械能会转化为内能

C．机械能和内能的转化过程具有方向性，内能转化成机械能是有条件的

D．机械能可全部转化为内能，而内能不能全部转化为机械能，同时不引起其他变化

25．下列现象能够发生，并且不违背热力学第二定律的是（　　）

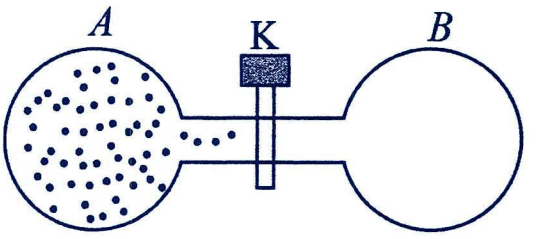
A．一杯热茶在打开杯盖后，茶会自动变得更热

B．蒸汽机把蒸汽的内能全部转化为机械能

C．桶中浑浊的泥水在静置一段时间后，泥沙下沉，上面的水变清，泥、水自动分离

D．空调机在制冷过程中，从室内吸收的热量少于向室外放出的热量

26．气闸舱是载人航天器中供航天员进入太空或由太空返回用的气密性装置，其原理图如图所示。座舱 A 与气闸舱 B 之间装有阀门 K，座舱 A 中充满空气，气闸舱 B 内为真空。航天员从太空返回气闸舱时，打开阀门 K，A 中的气体进入 B 中，最终达到平衡。假设此过程中系统与外界没有热交换，舱内气体可视为理想气体，下列说法正确的是（　　）



A．气体并没有对外做功，气体内能不变

B．B 中气体可自发地全部退回到 A 中

C．气体温度不变，体积增大，压强减小

D．气体体积变大，气体分子单位时间对座舱壁单位面积碰撞的次数将变少

27．下列宏观过程能用热力学第二定律解释的是（　　）

A．大米和小米混合后小米能自发地填充到大米空隙中，而经过一段时间大米、小米不会自动分开

B．将一滴红墨水滴入一杯清水中，墨水会均匀扩散到整杯水中，经过一段时间，墨水和清水不会自动分开

C．冬季的夜晚，放在室外的物体随气温的降低，不会将内能自发地转化为机械能而动起来

D．随着节能减排措施的不断完善，最终也不会使汽车热机的效率达到 100%

28．下列现象及关于热力学第一、第二定律的叙述正确的是（　　）

A．一定质量的理想气体在等温膨胀过程中，气体一定从外界吸收热量

B．热力学第一定律和热力学第二定律是从不同角度阐述了能量守恒定律

C．0℃的冰融化为0℃的水，此过程系统吸收热量，内能增加

D．第二类永动机违背了热力学第一定律

29．关于热力学定律，下列说法正确的是（　）

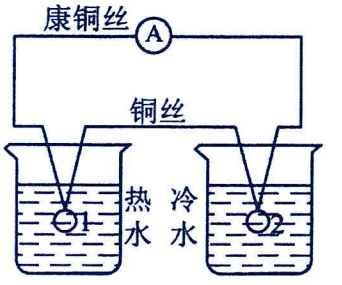
A．物体的温度可以达到零下 300℃

B．第二类永动机违背了能量守恒定律

C．做功和热传递对改变物体的内能是等效的

D．利用浅层海水和深层海水之间的温度差制造一种热机，可将海水的部分内能转化为机械能

30．温差发电原理：金属或者半导体的内部载流子的密度会随着温度的变化而变化，当维持物体两端的温差，可使载流子持续扩散，而形成稳定的电压。如图所示，用两种不同的金属丝组成一个回路，触点 1 插在热水中，触点 2 插在冷水中，电流表指针会发生偏转，这就是温差发电现象。下列说法正确的是（　　）



A．金属铜是非晶体

B．该实验中有部分内能转化为电路的电能

C．该实验中热水的温度降低，冷水的温度升高

D．该实验符合能量守恒定律，但违背了热力学第二定律

第五讲：气体实验定律应用——综合应用

考点一：气缸问题

解题要点：

解决汽缸类问题的一般思路

1.确定研究对象

(1)热学研究对象：一定质量的理想气体

(2)力学研究对象：汽缸、活塞或某系统

2.分析变化过程

(1)分析热学研究对象的变化过程，并确定每一个状态下的压强、体积与温度，若某个量未知，设未知数即可。

(2)分析热学研究对象的每个状态，若力学研究对象均处于平衡或合力恒定的状态，根据受力平衡或牛顿第二定律列出力学等式，每个状态都对应一个力学等式，n 个状态可以列出 n 个等式。

(3)选取热学研究对象的不同状态，依据气体实验定律列出方程，n 个状态可以列出（n-1）个方程。

3.挖掘题目的隐含条件

(1)活塞运动的过程中可能碰到卡环等阻碍物。

(2)水银运动可能流出管道.根据隐含条件，列出辅助方程.寻找隐含条件的难度较大，同学们平时需要多思考并积累经验。

4.多个方程联立求解，得到对应的未知量；对求解的结果，注意分析它们的合理性。

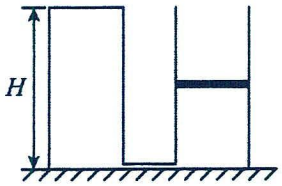
题型一：单活塞的平衡态的问题与临界问题

【精选例题】

【例 1】如图所示，两高度均为 H 的导热气缸内径相同，底部用细管连通（细管容积忽略不计），左侧气缸顶端封闭，右侧气缸开口。将一厚度不计、质量为 m 的活塞从右侧气缸顶端放入，活塞稳定时，距底部的高度 $h=\frac{H}{2}$。现将一物体放置在活塞上，待稳定后，测得活塞到底部的高度为 $h_1=\frac{H}{3}$。已知环境温度为 T，活塞与气缸壁密封良好且无摩擦，大气压强恒定。

（1）求放置在活塞上物体的质量 M；

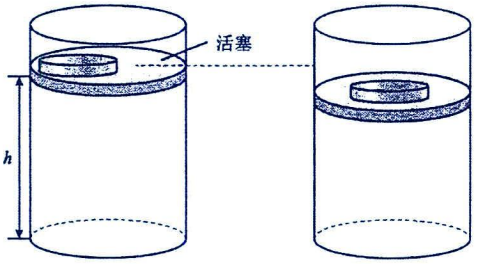
（2）若环境温度升高 $\frac{1}{20}T$ 后保持不变，求稳定后活塞离气缸底部的距离 h_2。



【例 2】如图所示，一导热性能良好的圆柱形金属汽缸竖直放置。用活塞封闭一定量的气体（可视为理想气体）、活塞可无摩擦上下移动且汽缸不漏气。初始时活塞静止，其到汽缸底部距离为 h。环境温度保持不变，将一质量为 M 的物体轻放到活塞上，经过足够长的时间，活塞再次静止。已知活塞质量为 m、横截面积为 S，大气压强为 p_0，重力加速度大小为 g，忽略活塞厚度。求：(1)初始时，缸内气体的压强；

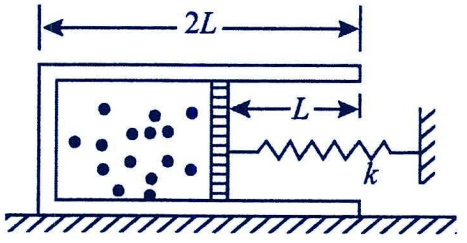
(2)缸内气体最终的压强及活塞下降的高度；

(3)该过程缸内气体内能的变化量及外界对其所做的功。



【例 3】如图所示，用导热性能良好的汽缸和活塞封闭一定质量的理想气体，活塞厚度及其与汽缸缸壁之间的摩擦力均不计，现将汽缸放置在光滑水平面上，活塞与水平轻弹簧连接，弹簧另一端固定在竖直墙壁上。已知汽缸的长度为 2L，活塞的面积为 S，此时封闭气体的压强为 p_0，封闭气体的热力学温度为 T_1=300K，活塞到缸口的距离恰为 L，大气压强恒为 p_0。现用外力向左缓慢移动汽缸（该过程中气体温度不变），当汽缸的位移为 L 时活塞到缸口的距离为$\frac{1}{3}L$。求：（1）求弹簧的劲度系数 k；

（2）在上述条件下，保持汽缸静止，并缓慢加热封闭气体，直到弹簧恢复原长，此时封闭气体的热力学温度 T_2。



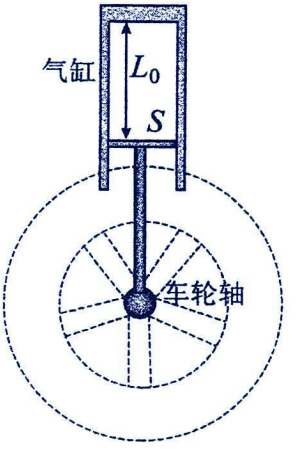
【跟踪训练】

1．空气悬挂减震（气体弹簧）正在广泛应用于各类车辆悬挂减震，不断提升汽车乘坐舒适性。某新型国产轿车上的气体弹簧减震装置简化结构如图所示。直立圆柱形密闭气缸导热良好，缸内气体温度与环境温度保持一致，横截面积为 S 的活塞通过连杆与车轮轴连接。初始时气缸内密闭一段长度为 L_0，压强为 p_1 的理想气体。气缸与活塞间的摩擦忽略不计。某次汽车检测时，车辆载重，相当于在气缸顶部加一个重物（图中未画出），活塞固定不动，稳定时气缸下降了 $0.5L_0$。已知环境温度保持不变，重力加速度为 g。

（1）气缸下降过程中，缸内气体是吸热还是放热，请说明你的判断依据；

（2）求重物的质量；

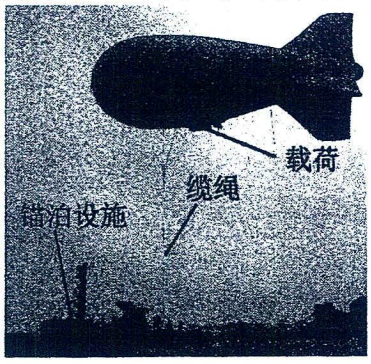
（3）为使气缸升到原位置，需向缸内充入与缸内气体温度相同、压强为 p_1、体积为多少的空气？（此过程气体温度保持不变）



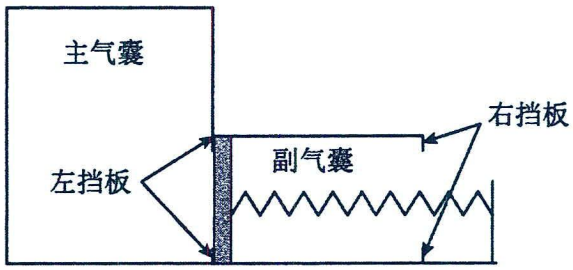
2．某种“系留气球”如图甲所示，图乙是气球的简化模型图。主、副气囊通过不漏气、无摩擦的活塞分隔开，主气囊内封闭有一定质量的理想气体（密度较小），副气囊与大气连通。轻弹簧右端固定，左端与活塞连接。当气球在地面达到平衡时，活塞与左挡板刚好接触，弹簧处于原长。在气球升空过程中，大气压强逐渐减小，弹簧被缓慢压缩。当气球上升至目标高度时，活塞刚好与右挡板接触，理想气体的体积变为初始时的 1.6 倍，此时活塞两侧气体压强差为地面大气压强的 1/8。已知地面大气压强 $p_0=1\times10^5$Pa，热力学温度 $T_0=300$K，弹簧始终处于弹性限度内，活塞厚度忽略不计。若气球升空过程中理想气体温度不变。

(1)求目标高度处的大气压强 p；

(2)气球在目标高度处长时间驻留，气球内、外温度达到平衡时，弹簧压缩量为左、右挡板间距离的 1/2，已知该处大气压强不变，求气球驻留处的大气热力学温度 T_2。（结果保留三位有效数字）



甲

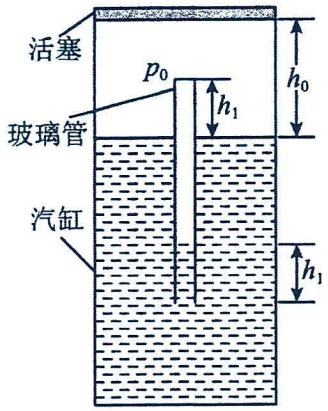


乙

3．如图所示，开口向上的汽缸内盛有一定深度的水银，一粗细均匀、长度 $l=20$cm 且下端开口的细玻璃管竖直漂浮在水银中。平衡时，玻璃管露出水银面的高度和进入玻璃管中的水银柱长度均为 $h_1=5$cm，轻质活塞到水银面的高度 $h_0=11.9$cm，水银面上方的气体压强 $p_0=76$cmHg。现施加外力使活塞缓慢向下移动，当玻璃管内气体的压强 $p_2=129$cmHg 时，玻璃管上端恰好与水银面齐平，活塞与汽缸壁间的摩擦不计且密封性良好，玻璃管的横截面积远小于汽缸的横截面积，整个过程中各部分气体的温度保持不变，求：

(1)此时玻璃管中的水银柱长度 h_2；

(2)整个过程中活塞向下移动的距离 Δx。



题型二：单活塞的非平衡态问题

【精选例题】

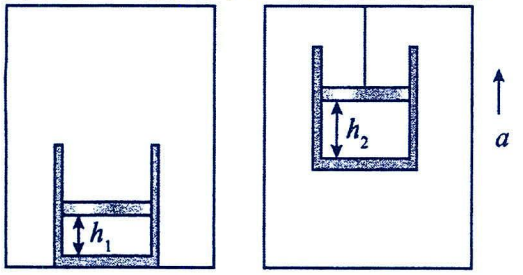
【例 1】在一个电梯的轿厢中，一质量 M=10kg，内部横截面积 S=100cm^2 的气缸由一个质量 m=10kg 的活塞封闭了一定质量的理想气体。初始时（如图甲），气缸静置在轿厢底部，气柱高度 h_1=16cm。若用绳子连接活塞将气缸悬挂在电梯的顶部（如图乙），电梯以加速度 a=2m/s^2 匀加速上升。已知大气压强 p_0=1.0×10^{5}Pa，轿厢内温度不变，气缸导热性能良好且不计活塞与气缸壁间的摩擦。

(1)在加速状态下，待气柱稳定时，与初始时相比，封闭气体的分子平均动能___，

单位体积内的分子数___；(两空均选填“增加”、“减少”或“不变”)

(2)求图甲静止状态下，气缸内气体的压强 p_1；

(3)求图乙加速状态下，气柱的最终高度 h_2。

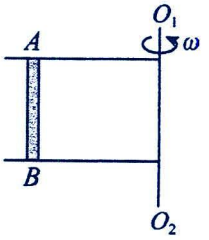


甲　　乙

【例 2】如图所示，导热良好的气缸内壁光滑，可绕过气缸底部中心的竖直轴 O_1O_2 在水平面内转动，缸内一质量为 $m=0.1\text{kg}$、横截面积 $S=4\times10^{-3}\text{m}^2$ 的活塞 AB 和缸壁紧密接触。开始时气缸未转动，活塞静止时到气缸底部的距离为 $L_0=10\text{cm}$，大气压强为 $p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，环境温度为 $T_0=300\text{K}$，缸内气体质量远小于活塞质量。

(1)当气缸以 $\omega=100\text{rad/s}$ 的角速度绕 O_1O_2 匀速转动时，保持环境温度不变，求稳定后活塞到气缸底部的距离；

(2)气缸仍以 $\omega=100\text{rad/s}$ 的角速度绕 O_1O_2 匀速转动，由于环境温度变化，活塞位置变动，稳定后活塞到气缸底部的距离也为 L_0，试求变化后的环境温度。



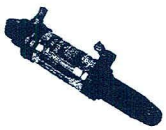
【跟踪训练】

1．图甲为山地车的气压避震装置，主要由活塞、汽缸和弹簧组成。某研究小组将其放在光滑斜面上进行研究，简化结构如图乙，带有活塞 A 的导热汽缸 B 放置在倾角为$\theta=30°$的光滑斜面上，活塞用另一端固定的轻弹簧拉住，轻弹簧平行于斜面，活塞与汽缸间密封一定质量的理想气体，初始状态活塞到汽缸底部的距离$L_1=27\text{cm}$，汽缸底部到斜面底端挡板的距离$L_2=1\text{cm}$，汽缸内气体的初始温度$T_1=270\text{K}$。已知汽缸质量$M=0.6\text{kg}$，活塞的质量$m=0.2\text{kg}$、横截面积$S=1.5\text{cm}^2$，活塞能无摩擦滑动，重力加速度$g=10\text{m/s}^2$，大气压$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$。

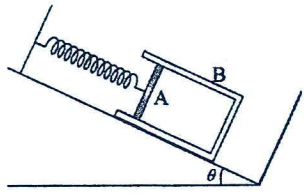
（1）求初始状态下汽缸内气体压强p_1；

（2）对汽缸缓慢加热，汽缸内气体的温度从T_1上升到T_2，此时汽缸底部恰好接触到斜面底端的挡板。已知该封闭气体的内能 U 与温度 T 之间存在关系$U=kT,k=2\times10^{-3}\text{J/K}$，若气缸气密性良好，求该过程中气体吸收的热量 Q；

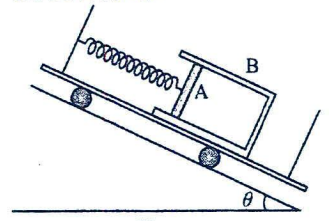
（3）为了检验该装置的气密性，实验小组将该装置固定在一平板车上加速下坡，如图丙所示，已知坡度$\theta=30°$，加速度$a=5\text{m/s}^2$，活塞到汽缸底部的距离$L_1'=27\text{cm}$，环境温度保持T_1不变，通过计算分析汽缸的气密性是否良好，若不良好，求进气或漏气气体占原有气体的百分比？



甲



乙



丙

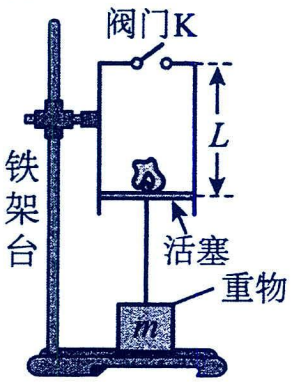
题型三：单活塞的连接体问题

【精选例题】

【例 1】“拔火罐”是一种中医的传统疗法，某实验小组为了探究“火罐”的“吸力”，设计了如图所示的实验。圆柱状汽缸（横截面积为 S）被固定在铁架台上，轻质活塞通过细线与置于地面上的重物 m 相连，将一团燃烧的轻质酒精棉球从缸顶的开关 K 处扔到汽缸内，酒精棉球熄灭时密闭开关 K，此时活塞下的细线刚好拉直且拉力为零，而这时活塞距缸底为 L。由于气缸传热良好，随后重物会被缓慢吸起，最后重物稳定在距地面$\frac{2L}{5}$处。已知环境温度为T_0不变，$\frac{mg}{S}=\frac{1}{6}p_0$，$p_0$为大气压强，气缸内的气体可看做理想气体，

求：(1)酒精棉球熄灭时的温度 T 与环境温度T_0的比值；

(2)若从酒精棉球熄灭到最终稳定的过程中气体放出的热量为 Q，求气体内能的变化。

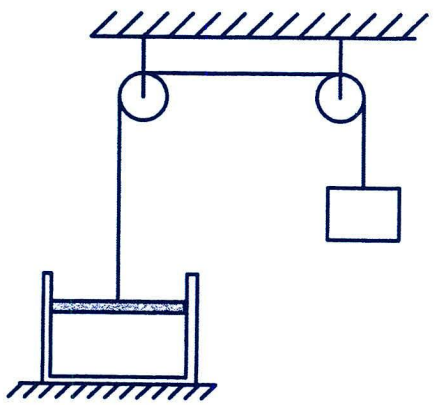


【例 2】在图所示的汽缸中封闭着温度为 127℃的空气，一质量为 m_1 的重物用绳索经滑轮与质量为 m_2 的缸中活塞相连接，汽缸截面积为 S，大气压为 p_0 重物和活塞均处于平衡状态，这时活塞离缸底的高度为 10cm，不计一切摩擦。（1）求汽缸中封闭气体的压强；

（2）如果缸内空气温度缓慢下降，问：

①缸中封闭气体的压强是否改变？

②缸内空气变为 27℃时，重物从原处移动了多少厘米？



【跟踪训练】

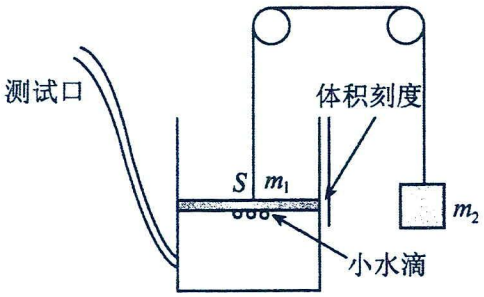
1．肺活量是指在标准大气压 p_0 下，人所能呼出气体的最大体积。肺活量可反映肺功能和胸腔壁的扩张程度。某实验小组设计了一款肺活量测量仪器，原理如图所示，活塞质量为 m_1，横截面积为S，配重物质量为 m_2，测量前需要将仪器置于 p_0 环境中，调节配重物使活塞稳定在零刻度位置。零刻度位置对应封闭气体体积为 V_0，体积刻度上的刻度值表示从零刻度到显示刻度位置活塞下封闭气体体积的变化量，即肺活量，记为 ΔV。测试时，受试人员深吸一口气后，从测试口呼出气体，即可通过体积刻度上的刻度读出受试者的肺活量。重力加速度为 g，忽略一切摩擦和气体温度的变化，下列说法正确的是（　　）

A．正常情况下若要完成校准，配重物质量应满足 $m_2 = m_1 + \dfrac{p_0}{gS}$

B．校正完成后，若外界大气压变为 $1.1p_0$，则转换为标准大气压，肺活量为原来的 1.1 倍

C．随着测试不断进行，活塞下部积累了许多小水滴，会导致测量肺活量偏小

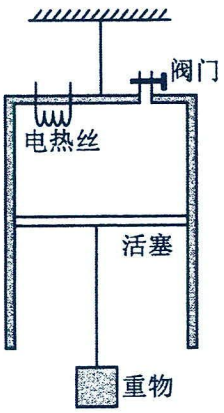
D．肺活量越大，活塞稳定时，受试者肺部气体压强越大



2．如图，圆柱形绝热汽缸竖直悬挂于天花板，用横截面积为 $S=0.02m^2$ 的轻质光滑活塞封闭一定质量的理想气体，活塞下悬挂质量为 m=80kg 重物，此时活塞在距离汽缸上底面 $h_1=0.2m$ 的 A 处，气体的温度为 $T_1=300K$。给汽缸内的电阻丝加热，活塞缓慢移动到距离汽缸上底面 $h_2=0.26m$ 的 B 处，此过程气体吸收了 100J 热量，大气压为 $p_0=1.0\times10^5Pa$。求：（1）求活塞在 B 处时的气体温度 T_2；

（2）求活塞从 A 处到 B 处的过程中气体的内能改变了多少？

（3）保持温度 T_2 不变，当悬挂重物为 m'=140kg 时，打开汽缸阀门放出一部分气体，使得活塞仍处于 B 处，求放出气体的质量与原来汽缸内气体质量的比值。



题型四：双活塞问题

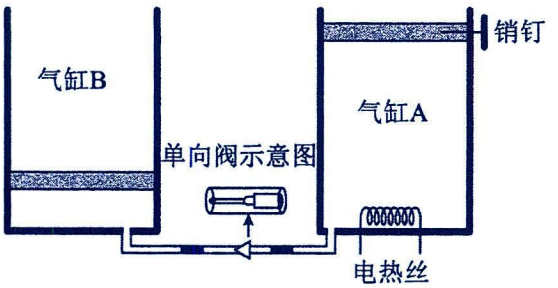
【精选例题】

【例 1】低压气体单向阀是一种常见的气动元件，主要用于控制气体的单向流动。在气动系统中，当气体压力达到一定值时，单向阀将开启并允许气体在一个方向上流动，而不能反向流动。如图，气缸 A、B 通过单向阀连接，当气缸 A 内气体压强减去气缸 B 内气体压强大于 $0.2p_0$（p_0为大气压强）时单向阀打开，A 内气体缓慢进入口中；当该差值小于或等于 $0.2p_0$时单向阀关闭。初始时，环境温度、气缸 A 和 B 中气体温度均为 T_1=300K，气缸 A 上面的活塞用销钉固定且缸内气体体积 $V_{A1}=3.0\times10^{2}m^3$、压强 $p_{A1}=0.8p_0$，气缸 B 导热性能良好且缸内气体体积 $V_{B1}=0.5\times10^{2}m^3$，压强 $p_{B1}=p_0$。气缸 A、B 内的气体可视为理想气体，忽略活塞的质量和活塞与气缸间的摩擦、单向阀与连接管内的气体体积不计。

(1)若气缸 A 绝热，加热气缸 A 中气体，求气缸 A 中气体温度为多少时，单向阀开始打开；

(2)若气缸 A 导热性能良好，拔去气缸 A 上活塞的销钉，并在活塞上面施加竖直向下的压力，缓慢压缩气缸 A 中气体，求气缸 A 中气体体积为多少时，单向阀开始打开；

(3)接（2）问，将气缸 A 中气体全部压入气缸 B 中，则气缸 B 的气体体积变为多少？

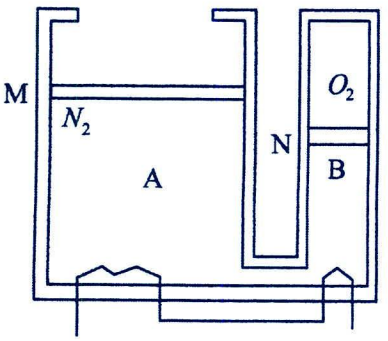


【例 2】如图所示，内壁光滑、高度均为 h 的绝热气缸 A、B，横截面积分别为 4S 和 S，其底部由体积可忽略的细管连通，气缸 A 的上端与大气连通，大气压强为 p_0，气缸 B 的上端封闭。两气缸中各有一厚度可忽略的绝热活塞 M、N，质量分别为$\frac{p_0S}{g}$和$\frac{p_0S}{4g}$，两活塞下方封闭一定质量的氮气，活塞 N 上方封闭一定质量的氧气。当气缸内气体温度为280K时系统处于静止状态，此时活塞M离气缸顶的距离为$\frac{1}{4}h$，活塞N离气缸顶的距离为$\frac{1}{2}h$。整个过程不漏气，气体均可视为理想气体，重力加速度大小为 g。

（1）现通过电阻丝缓慢加热氮气，当活塞 M 恰好升至顶部时，求氮气的温度；

（2）已知气缸中氮气的内能为$U=\alpha T$（T 为氮气温度，α为常数），求第（1）问过程中氮气吸收的热量 Q；

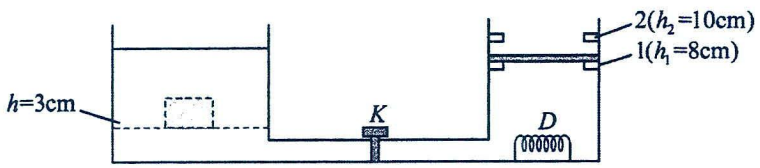
（3）继续缓慢加热使活塞 N 上升，当活塞 N 上升$\frac{1}{8}h$时，氧气的温度为 320K，求氧气的压强。



【跟踪训练】

1．水平放置的绝热汽缸截面如图所示，汽缸左侧为轻质导热活塞，右侧为质量未知的绝热活塞，面积为左侧活塞的一半。两活塞之间封闭着一定质量的理想气体，汽缸左右两侧用体积可忽略的细管连通，通过阀门 K，可将汽缸内的气体隔绝成左右两部分。初始时，阀门 K 打开，汽缸内的理想气体温度与环境温度均为 300K，压强均为 $p_0=1.0\times10^5$Pa，左侧活塞距离底面为 10cm，右侧活塞压在隔板 1 上，隔板 1 和隔板 2 与底面的距离如图中所示。当在左侧活塞上放置一个质量 $m=100$g 的重物，稳定后，与底面间的距离如图中虚线位置所示。此时，右侧活塞刚要离开隔板 1，求：（1）右侧活塞的质量 M；

（2）此时关闭阀门 K，用电热丝 D 给右侧气体加热，当气体温度变为 450K 时，汽缸右侧气体的压强 p_1。



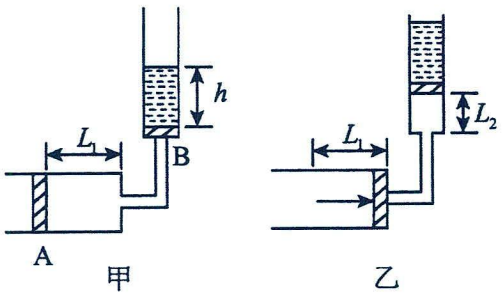
2.某实验小组设计了简易的气压传动装置。如图甲所示，面积为 $S_A=6cm^2$ 的活塞 A 静止，与汽缸右端相距 $L_1=2cm$。用力缓慢右移活塞 A，通过压缩气体顶起竖直放置的面积 $S_B=3cm^2$ 的活塞 B 和上方高 h=4cm 的水银柱，最终活塞 A 移到最右端，如图乙所示，活塞缓慢移动过程中，气体温度保持不变。气体视为理想气体，大气压强为 $p_0=76$cmHg，忽略弯管中的气体体积，装置不漏气，水银不溢出，不计摩擦和两活塞质量。

（1）求活塞 B 移动前活塞 A 移动的距离：

（2）若（1）过程活塞 A 对封闭气体做功 $W=6.12\times10^{-2}$J，

则此过程中气体对外吸热还是放热，并求出该部分的热量 Q；

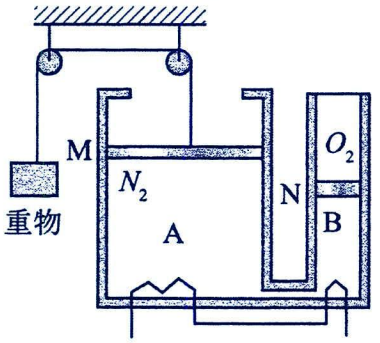
（3）求最终活塞 B 上升的高度 L_2。



3．如图所示，内壁光滑的绝热气缸A、B，其底部由体积可忽略的细管连通，A上端与大气连通，B上端封闭。气缸中各有一厚度可忽略的绝热活塞M、N，横截面积分别为$4S$、S，高度都为h。两活塞下方充有氮气，活塞N上方充有氧气。轻质且不可伸长的细绳连接活塞M，绕过光滑的定滑轮与重物连接。当大气压为p_0，外界和气缸内气体温度均为7℃时系统处于静止状态，此时活塞M离气缸顶的距离为$\frac{1}{4}h$，活塞N离气缸顶的距离为$\frac{1}{2}h$。活塞M的质量为$\frac{p_0S}{g}$，重物的质量和活塞N的质量均为$\frac{p_0S}{4g}$，整个过程不漏气，气体均可视为理想气体，重力加速度为g。（1）现通过电阻丝缓慢加热氮气，当活塞M恰好升至顶部时，求氮气的温度；

（2）继续缓慢加热使活塞N上升，当活塞N上升$\frac{1}{8}h$时，氧气的温度为47℃，求氧气的压强；

（3）已知气缸中氮气的内能为$U=\alpha T$（T为氮气温度，α为常数），求第（1）问过程中电阻丝的发热量Q。

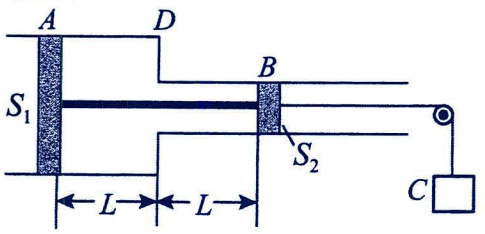


题型五：大小活塞类问题——杆连接

【精选例题】

【例1】如图所示，两端开口的汽缸水平固定，A、B是两个厚度不计的活塞，面积分别为$S_1=20\text{cm}^2$，$S_2=10\text{cm}^2$，它们之间用一根细杆连接，B通过水平细绳绕过光滑的定滑轮与质量为M的重物C连接，静止时汽缸中的空气压强p=1.3×10⁵Pa，温度T=540 K，汽缸两部分的气柱长均为L．已知大气压强$p_0=1\times10^5\text{Pa}$，g取10 m/s^2，缸内空气可看做理想气体，不计一切摩擦，求：（1）重物C的质量M；

（2）逐渐降低汽缸中气体的温度，活塞A将向右缓慢移动，当活塞A刚靠近D处而处于平衡状态时缸内气体的温度．



【例 2】如图 1，气缸由两个横截面不同的圆筒连接而成，活塞 A、B 被轻质刚性细杆连接在一起，可无摩擦移动 A、B 的质量分别为 $m_A=12kg$，$m_B=8.0kg$，横截面积分别为 $S_A=2.8\times10^{-2}m^2$，$S_B=2.0\times10^{-2}m^2$，一定质量的理想气体被封闭在两活塞之间，活塞外侧大气压强 $p_0=1.0\times10^5Pa$，已知此时气体的体积 $V_1=2.0\times10^{-2}m^3$，现使气缸从水平放置缓慢到竖直放置，保持温度不变，达到平衡后如图 2 所示，A 未到达两气缸连接处，取重力加速度 $g=10m/s^2$。求：（1）与图 1 相比．活塞在气缸内移动的距离 L；

（2）从图 1 到图 2 过程中气体放出热量。

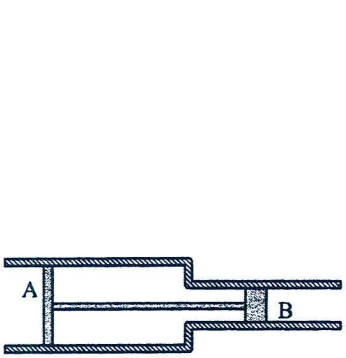


图1



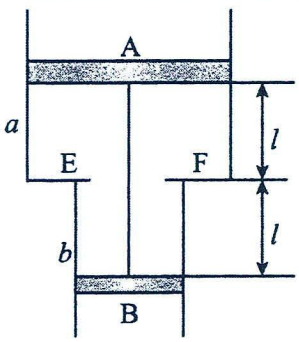
图2

【例 3】如图所示。有一个竖直放置的圆筒，导热性能良好，两端开口且足够长，它由 ab 两段粗细不同的部分连接而成，横截面积分别为 2S，S。两活塞 AB 的质量分别为 2m，m。其中在两部分连接处有环形卡子 EF，厚度不计，能保证活塞 B 不会运动到粗圆筒中。两活塞用长为 2l 不可伸长的轻绳相连，把一定质量理想气体密封在两活塞之间，活塞静止在图示位置，已知大气压强为 p_0，且 $p_0S=2mg$。外界环境不变，忽略活塞与圆筒之间的摩擦。重力加速度为 g。求

(1)图示位置轻绳拉力的大小 F_T；

(2)若剪断轻绳，求稳定后活塞 B 移动的距离；

(3)若不剪断细绳，自由释放整个装置（忽略空气阻力），求稳定后圆筒内气体的压强。

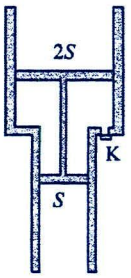


【跟踪训练】

1．如图所示，一竖直放置的气缸由两粗细不同的圆柱形筒组成，气缸中两活塞间封闭有质量为 m 的理想气体，两活塞用一刚性杆连接，上、下活塞的横截面积分别为 2S 和 S，活塞及杆的总重力为 G。气缸连接处有一阀门 K，处于关闭状态。开始时上、下活塞到气缸连接处的距离相等，封闭气体的温度为 T_0。已知活塞外大气压强为 p_0，忽略活塞与缸壁间的摩擦，气缸无漏气，不计刚性杆的体积。

（1）缓慢打开阀门 K，不计温度变化，求稳定后逸出气体的质量Δm；

（2）接（1）问，再关闭阀门 K，缓慢加热两活塞间的气体，直到活塞重新回到原来的位置，求此时两活塞间气体的温度 T。

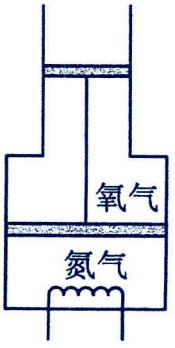


2．如图，上端开口的竖直汽缸由小、大两个同轴圆筒组成，两圆筒高均为 L。两圆筒中各有一个厚度不计的活塞，小活塞的横截面积为 S、质量为 m；大活塞的横截面积为 3S、质量为 3m。两活塞用长为 L 的刚性杆连接，两活塞间充有氧气，大活塞下方充有氮气。小活塞的导热性能良好，汽缸及大活塞绝热，开始时，氮气和外界环境的温度均为T_0，大活塞处于大圆筒的中间位置，且刚性杆上恰无弹力。重力加速度用 g 表示，外界的大气压强恒为$\frac{4mg}{S}$，氧气和氮气均可看做理想气体。

（1）开始时氮气的压强是多少？

（2）通过电阻丝缓慢加热氮气，当大活塞刚上升$\frac{L}{2}$时，氮气的温度是多少？

（3）当大活塞刚上升$\frac{L}{2}$时，设平均每个氮气分子对容器壁撞击力为F_1，继续加热氮气，当氮气的温度上升到$\frac{28}{3}T_0$时，设平均每个氮气分子对容器壁撞击为F_2，试分析$\frac{F_1}{F_2}$比$\frac{1}{3}$大还是小？



题型六：活塞类问题——弹簧连接

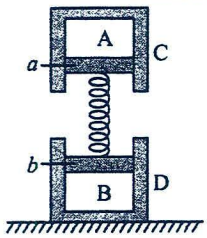
【精选例题】

【例 1】某充气式座椅简化模型如图所示，质量相等且导热良好的两个汽缸通过活塞封闭相同质量的同种气体 A、B（均视为理想气体），活塞通过竖直轻弹簧相连静置在水平面上，已知每个汽缸的质量为 M，封闭气体的初始高度均为 L、初始环境热力学温度为 T_0，轻弹簧的劲度系数为 k、原长为 L_0，大气压强为 p_0，重力加速度大小为 g，活塞的横截面积为 S、质量和厚度不计，弹簧形变始终在弹性限度内，活塞始终未脱离汽缸。

（1）求初始时气体 B 的压强；

（2）若环境温度缓慢升至 $1.1T_0$（活塞与汽缸未脱离），求稳定后活塞 a 离水平面的高度；

（3）若环境温度缓慢降至 $0.8T_0$，气体 A 内能减小量为 U，求气体 A 向外界释放的热量 Q。

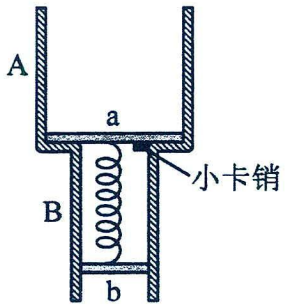


【例 2】如图，一竖直放置的足够长的导热汽缸由 A、B 两部分构成，厚度不计的绝热活塞 a、b 可以上下无摩擦地移动，汽缸连接处有小卡销，使活塞 b 不能通过连接处进入汽缸 A。现将活塞 a 和活塞 b 用一轻质细弹簧拴接，两活塞之间封闭有一定量的理想气体，刚开始时，活塞 a 位于汽缸 A 底端，系统处于静止状态，此时两活塞间气体的温度为 T_0，压强等于大气压强 p_0。已知活塞 a、b 的质量分别为 2m、m，横截面积分别为 2S、S，弹簧原长为 L_0，劲度系数为 $k=\frac{16mg}{L_0}$，大气压强为 $p_0=\frac{14mg}{S}$，重力加速度为 g。现缓慢加热两活塞间的气体。

（1）求活塞 a 刚要开始运动时活塞间气体的压强 p_1 和温度 T_1；

（2）求当活塞 b 刚到达汽缸连接处时，活塞间气体的温度 T_2；

（3）两活塞间封闭气体的温度从 T_1 升高到 T_2 的过程中，封闭气体的内能增加了 ΔU，求该过程中封闭气体从外界吸收的热量。

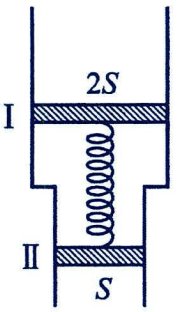


【跟踪训练】

1．如图，一竖直放置的汽缸由两个粗细不同的圆柱形筒组成，汽缸中活塞I和活塞II之间封闭有一定量的理想气体，两活塞用一轻质弹簧连接，汽缸连接处有小卡销，活塞II不能通过连接处。活塞I、II的质量分别为2m、m，面积分别为2S、S，弹簧原长为l。初始时系统处于平衡状态，此时弹簧的伸长量为0.1l，活塞I、II到汽缸连接处的距离相等，两活塞间气体的温度为T_0。已知活塞外大气压强为p_0，忽略活塞与缸壁间的摩擦，汽缸无漏气，不计弹簧的体积。（1）求弹簧的劲度系数；

（2）缓慢加热两活塞间的气体，求当活塞II刚运动到汽缸连接处时，活塞间气体的压强和温度。

（3）已知理想气体的内能$U=\alpha T$，求从初始状态到活塞II刚运动到汽缸连接处的过程中，活塞间气体吸收的热量。（α为已知量且$\alpha>0$）

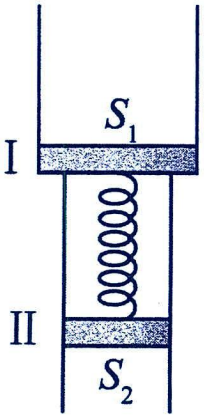


2．如图所示，一竖直放置的汽缸由两个粗细不同的圆柱形筒组成，汽缸中活塞I和活塞II之间封闭有一定质量的理想气体，两活塞用一轻质弹簧连接，汽缸连接处有小卡销，活塞II不能通过连接处。活塞I、II的质量分别为$m_1=2.0\text{kg}$，$m_2=1.0\text{kg}$，面积分别为$S_1=40.0\text{cm}^2$、$S_2=20.0\text{cm}^2$，弹簧的劲度系数$k=2000\text{N/m}$，原长$l_0=0.30\text{m}$。初始时系统处于如图所示的状态，此时弹簧处于原长，两活塞间气体的温度$T_0=300\text{K}$。已知外界大气压强$p_0=1.0\times10^5\text{Pa}$，忽略活塞与汽缸间的摩擦力，汽缸不漏气，不计弹簧的体积，重力加速度g取10m/s^2。

（1）缓慢加热两活塞间的气体，求活塞S_1刚离开汽缸连接处时，汽缸内气体的热力学温度（结果保留三位有效数字）；

（2）继续给汽缸内的气体加热，直到活塞S_2刚好上升到汽缸连接处时停止加热，请画出整个加热过程的$p-V$图像，并在图中标出不同状态下p、V的坐标值；

（3）已知整个加热过程中汽缸内气体内能的增加量为$\Delta U=230\text{J}$，求该过程中气体吸收的热量Q。



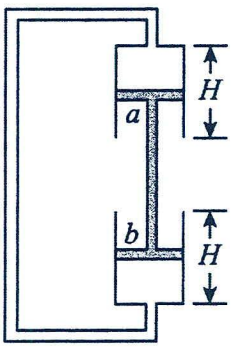
题型七：大小活塞类问题——关联气体问题

【精选例题】

【例 1】如图所示，两竖直且正对放置的导热汽缸底部由细管道（体积忽略不计）连通，两活塞 a、b 用刚性轻杆相连，可在两汽缸内无摩擦地移动．上下两活塞（厚度不计）的横截面积分别为 $S_1=10cm^2$、$S_2=20cm^2$，两活塞总质量为 $M=5kg$，两汽缸高度均为 $H=10cm$．汽缸内封闭有一定质量的理想气体，系统平衡时活塞 a、b 到汽缸底部距离均为 $l=5cm$（图中未标出）．已知大气压强为 $P_0=1.0\times10^5\,\mathrm{Pa}$，环境温度为 $T_0=300K$．

(i)若缓慢升高环境温度，使活塞缓慢移到一侧汽缸的底部，求此时环境温度；

(ii)若保持温度不变，用竖直向下的力缓慢推活塞 b，在活塞 b 由开始运动到汽缸底部过程中，求向下推力的最大值．



【跟踪训练】

1．如图 1 所示，水平放置的两导热气缸底部由细管连接（细管体积忽略不计），两厚度不计活塞 a、b 用刚性轻杆相连，可在两气缸内无摩擦地移动。活塞的横截面积分别为 $S_a=100\mathrm{cm}^2$、$S_b=60\mathrm{cm}^2$，两活塞及刚性杆总质量为 $M=8\mathrm{kg}$。两气缸与细管道内封闭有一定质量的理想气体，初始状态活塞 a、b 到缸底部距离均为 L=6cm。已知大气压强 $p_0=1.0\times10^5\mathrm{Pa}$，环境温度 $T_0=320\mathrm{K}$，取重力加速度 $g=10\mathrm{m/s}^2$。设活塞移动过程中不漏气。

（1）若缓慢升高环境温度，使某一活塞刚好缓慢移到所在气缸的底部，求此时环境的温度。

（2）若保持初始温度不变，将整个装置转至图 2 所示竖直放置，经一段时间后活塞达到稳定状态，求此过程中活塞移动的距离。

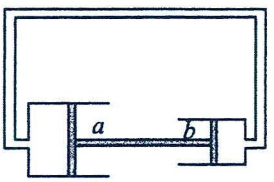


图1

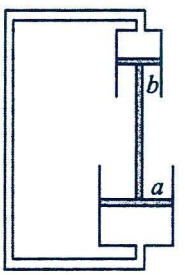
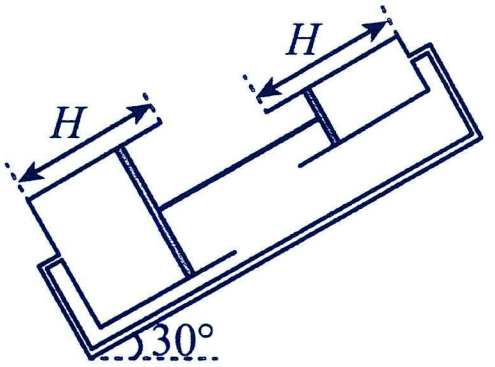


图2

2．如图所示，两正对且固定不动的导热汽缸，与水平成30°角，底部由体积忽略不计的细管连通、活塞a、b用不可形变的轻直杆相连，不计活塞的厚度以及活塞与汽缸的摩擦，a、b两活塞的横截面积分别为$S_1=10cm^2$，$S_2=20cm^2$，两活塞的总质量为m=12kg，两汽缸高度均为H=10cm．汽缸内封闭一定质量的理想气体，系统平衡时活塞a、b到汽缸底的距离均为L=5cm(图中未标出)，已知大气压强为$P=10^5Pa$.环境温度为$T_0=300K$，重力加速度g取$10m/s^2$．求：

(1)若缓慢降低环境温度，使活塞缓慢移到汽缸的一侧底部，求此时环境的温度；

(2)若保持环境温度不变，用沿轻杆向上的力缓慢推活塞，活塞a由开始位置运动到汽缸底部，求此过程中推力的最大值．

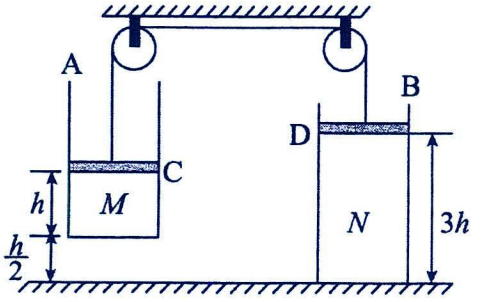


题型八：双气缸—关联气体问题

【精选例题】

【例1】如图所示，足够长的A、B两薄壁气缸的质量分别为$m_1=5kg$，$m_2=10kg$，分别用质量与厚度均不计的活塞C、D将理想气体M、N封闭在气缸内，C、D两薄活塞用一跨过两定滑轮且不可伸长的柔软轻绳连接，气缸B放置在水平地面上，系统在图示位置静止时，气缸A的底部距离地面的高度$\frac{h}{2}$，C、D两活塞距离气缸底部分别为h与3h，h=28cm。外界大气压恒为$p_0=1.0\times10^5Pa$，气体M的热力学温度$T_1=280K$，C、D两活塞的横截面积均为$S=0.01m^2$，取重力加速度大小$g=10m/s^2$，不计一切摩擦。对气体M缓慢加热，气体N的热力学温度始终保持在280K，求：（1）气缸A的底部刚接触地面时气体M的热力学温度T_2；

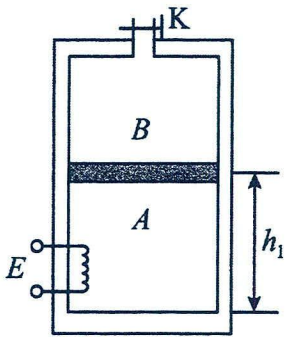
（2）气体M的温度升到$T_3=450K$时活塞D距离地面高度h'。



【例 2】呼吸道合胞病毒（Respiratory syncytial virus，RSV）属于副黏病毒科的肺病毒属，主要引起支气管炎、肺炎、鼻炎等呼吸道感染。该病毒对热敏感，60℃时 10 分钟就可以灭活。如图所示，绝热汽缸被轻质绝热活塞分隔为 A、B 两部分，A 内封闭有一定质量的混有呼吸道合胞病毒的空气（可看作理想气体），其温度为 $t_1 = 27℃$，阀门 K 处于打开状态，活塞恰好处于汽缸中部，$h_1 = 0.20m$。已知活塞和汽缸间无摩擦且不漏气，求：

（1）若对 A 内气体缓慢加热，当活塞与底部的距离为 $h_2 = 0.24m$ 时，保持 10 分钟能否对呼吸道合胞病毒灭活？

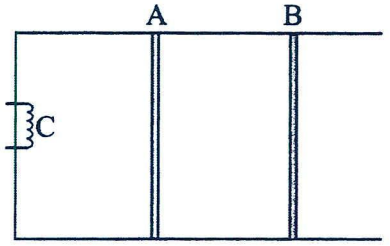
（2）若关闭阀门 K，电热丝通电一段时间使 A 内气体吸收了 $Q = 8000J$ 的热量，稳定后 A 内气体的内能增加了 $\Delta U = 6000J$，则此过程 B 内气体的内能增加量是多少？



【例 3】如图所示，一个固定在水平面上的绝热容器被隔板 A 分成体积均为 $V_1=750cm^3$ 的左右两部分。面积为 $S=100cm^2$ 的绝热活塞 B 被锁定，隔板 A 的左侧为真空，右侧中一定质量的理想气体处于温度 $T_1=300K$、压强 $p_1=2.04\times10^5Pa$ 的状态 1。抽取隔板 A，右侧中的气体就会扩散到左侧中，最终达到状态 2。然后解锁活塞 B，同时施加水平恒力 F，仍使其保持静止，当电阻丝 C 加热时，活塞 B 能缓慢滑动（无摩擦），使气体达到温度 350K 的状态 3，气体内能增加 $\Delta U = 63.8J$。已知大气压强 $p_0=1.01\times10^5Pa$，隔板厚度不计。

（1）求水平恒力 F 的大小；

（2）求电阻丝 C 放出的热量 Q。

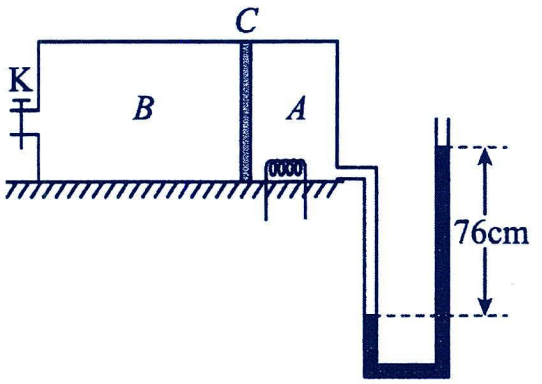


【例 4】如图所示，一定质量的气体放在体积为V_0的导热容器中，室温$T_0=300\text{K}$，有一光滑导热活塞 C（体积忽略不计）将容器分成 A、B 两室，B 室的体积是 A 室的三倍，A 室容器上连接有一管内体积不计的足够长的U形管，两侧水银柱高度差为76cm，A 内有体积可以忽略的电阻丝，B 室容器可通过一阀门 K 与大气相通。已知外界大气压$p_0=76\text{cmHg}$。

（1）此时 B 室内气体压强是多少？

（2）若 A 室内气体的温度保持不变，将阀门 K 打开，稳定后 B 室内剩余气体的质量和 B 室原有气体质量之比是多少？

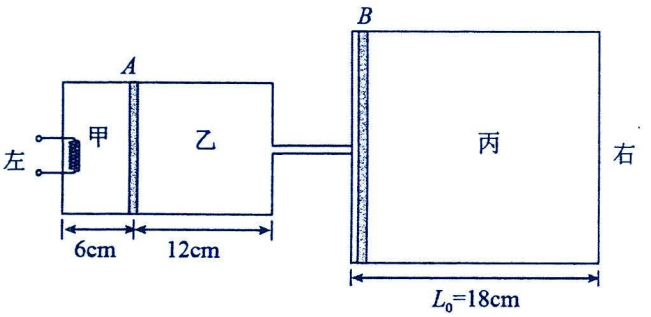
（3）若打开阀门 K 稳定后，给 A 室内的电阻丝通电，将 A 室内气体温度加热到多少 K 时，活塞 C 恰好到达容器的最左端？



【例 5】如图所示，左、右两气缸及A、B两活塞间封闭有甲、乙、丙三部分气体，中间连通的细管极细（管内气体的体积忽略不计）。气缸长度均为$L_0=18\text{cm}$，B 活塞横截面积是A 的 2 倍，活塞厚度均不计，初始时B 活塞位于右气缸左壁（中间的空隙可忽略），A 活塞位置如图．活塞与缸壁密封良好，摩擦不计，左侧气缸和两活塞都绝热，右侧气缸可导热。初始时，甲、乙气体压强均为p_0，丙气体压强为$3p_0$，三部分气体的温度均为$t_0=27^\circ\text{C}$。已知$T=(273+t)\text{K}$。

(1)若用电热丝对甲气体升温，求当温度升高至500K 时，A 活塞向右移动2cm，求乙气体此时的温度；

(2)若用电热丝对甲气体升温，当甲气体温度为多少时，B 活塞向右移动1cm，且左气缸中乙气体的温度为400K。



【跟踪训练】

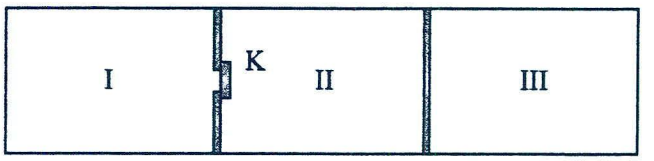
1．（多选题）如图所示，两固定绝热活塞把内壁光滑的绝热汽缸分成体积相等的I、II、III三部分，左侧活塞上带有阀门K，开始时阀门K关闭，I、III内理想气体的压强相等，II内为真空。t_1时刻打开阀门K，经过一段时间稳定后，t_2时刻取消右侧活塞的固定状态，在t_3时刻右侧活塞停止运动。下列说法正确的是（　）

A．阀门K打开后，气体自I向II的扩散遵循热力学第二定律

B．t_2时刻I中气体的压强是t_1时刻的$\frac{1}{2}$

C．I中气体在t_3时刻后的温度高于t_1时刻前的温度

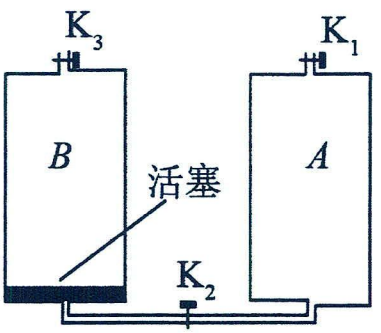
D．$t_2 \sim t_3$时间内III中气体的内能不变



2．如图，容积均为V的汽缸A、B下端有细管（容积可忽略）连通，阀门K_2位于细管的中部，A、B的顶部各有一阀门K_1、K_3，B中有一可自由滑动的活塞（质量、体积均可忽略）。初始时，三个阀门均打开，活塞在B的底部；关闭K_2、K_3，通过K_1给汽缸充气，使A中气体的压强达到大气压p_0的3倍后关闭K_1。已知室温为27℃，汽缸导热。求：(1)打开K_2，求稳定时活塞上方气体的体积和压强；

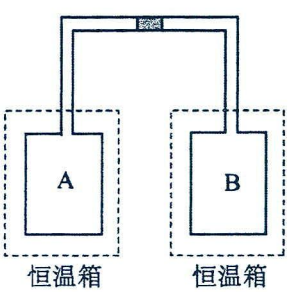
(2)接着打开K_3，求稳定时活塞的位置；

(3)再缓慢加热汽缸内气体使其温度升高20℃，求此时活塞下方气体的压强。



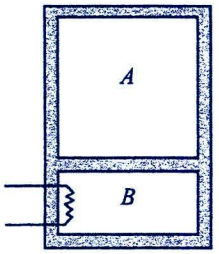
3．某同学为探究水银柱在气体作用下的移动情况，在实验室取来两个相同的集气瓶A和B，用粗细均匀的薄壁玻璃管相连后，分别置于两个恒温箱内，玻璃管的水平部分（足够长）内有一小段水银柱，通过水银柱在玻璃管和两集气瓶内各封闭一定质量的气体（可视为理想气体），如图所示；调节两恒温箱内的温度T_A、T_B，当$T_A = 300\ \mathrm{K}$，$T_B = 250\ \mathrm{K}$时，水银柱恰好处于水平玻璃管的正中央，已知此时两部分气体体积均为V_0，玻璃管的横截面积为S。现让两恒温箱的温度均缓慢升高$\Delta T = 50\ \mathrm{K}$。求：(1)通过定性分析判断液柱的移动方向；

(2)求水银柱移动的距离。



4．如图所示的导热容器内充有一定质量的理想气体，容器被绝热活塞分成 A、B 两部分，活塞可以在容器内无摩擦地滑动，稳定时两部分气体体积之比为$V_A:V_B=2:1$，其中容器的 B 部分还安装有电热丝。已知初始时 A 部分的气体压强为$p=1.0\times10^5\text{Pa}$，活塞的质量为$m=1\text{kg}$，横截面积$S=2.5\text{cm}^2$，重力加速度$g=10\text{m/s}^2$，现把容器缓慢地由竖直旋转至水平。(1)稳定后，求 A、B 两部分气体体积之比；

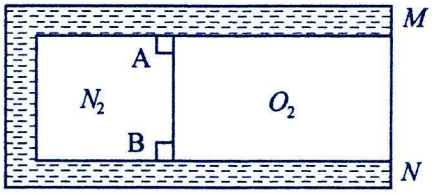
(2)如果用绝热材料把整个容器包起来，使它与外界绝热，用电热丝给 B 部分气体加热使 A、B 两部分气体的体积相等，求此时 A、B 两部分气体的热力学温度之比。



5．如图所示，除右侧壁导热良好外，其余部分均绝热的汽缸水平放置，MN 为汽缸右侧壁。汽缸的总长度为 L＝80 cm，一厚度不计的绝热活塞将一定质量的氮气和氧气分别封闭在左右两侧(活塞不漏气)。在汽缸内距左侧壁 d＝30 cm 处设有卡环 A、B，使活塞只能向右滑动，开始时活塞在 AB 右侧紧挨 AB，缸内左侧氮气的压强 $p_1=0.8\times10^5$ Pa，右侧氧气的压强 $p_2=1.0\times10^5$ Pa，两边气体和环境的温度均为 $t_1=27$ ℃，现通过左侧汽缸内的电热丝缓慢加热，使氮气温度缓慢升高，设外界环境温度不变。

（1）求活塞恰好要离开卡环时氮气的温度；

（2）继续缓慢加热汽缸内左侧氮气，使氮气温度升高至 227 ℃，求活塞移动的距离。



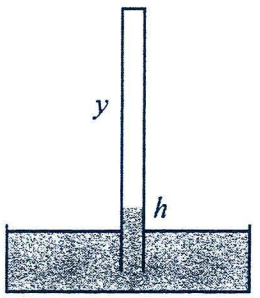
考点二：水银柱问题

题型一：竖直、倾斜水银柱的平衡问题

【精选例题】

1．如图所示，上端封口的细玻璃管插入水银槽中，玻璃管中被封闭一定质量的理想气体，管内水银面与槽内水银面的高度差为 h，气体的温度为 T_0、压强为大气压强的 0.75 倍，气体的长度 y 为未知量。当把气体的温度缓慢地增加到 $1.5T_0$，管内水银面与槽内水银面的高度差变为 0，管内水银面在上升或下降的过程中，认为槽内水银面的高度不变，大气压恒定。求：(1)气体的长度 y；

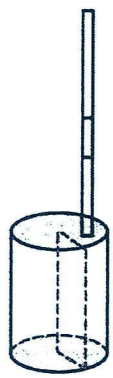
(2)当气体的温度缓慢增加到什么值时，管内水银面的高度比槽内水银面的高度低 h。



【跟踪训练】

2．某同学制作了一个简易温度计，如图所示，向一个空金属饮料罐内插入一根玻璃管，将接口密封好，在玻璃管内注入一段5cm长的水银柱。如果不计大气压的变化和饮料罐容积的变化，这就成了一个温度计。已知饮料罐的容积为330mL，玻璃管的横截面积为1.6cm^2，玻璃管在饮料罐外面的长度为30cm，当温度为 27℃时，水银柱下表面距离饮料罐上表面的高度为10cm，大气压 p_0=75cmHg，不计饮料罐容积的变化。（结果均保留 1 位小数）。求：(1)求该温度计测量温度的范围；

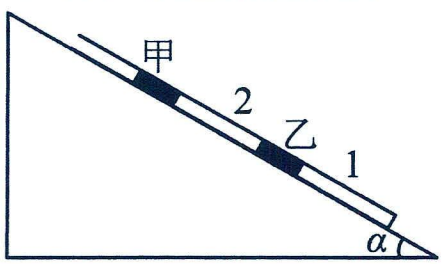
(2)某次温度计的测量值为 40.5℃，后来发现实际的大气压为 73.0cmHg，求当时的实际温度。



3．如图所示，倾角为α=30°的斜面体固定，下端封闭长为 L=150cm 的玻璃管，用两段长度均为 l=10cm 的水银柱将气柱 1、2 封闭，将玻璃管开口向上静置在斜面上，稳定时气柱 1、2 的长度分别为 l_1=40cm，l_2=50cm，已知环境温度为 t=-23℃，大气压强恒为 p_0=75cmHg。（以下结果均保留两位有效数字）

（1）仅将玻璃管在竖直平面内沿顺时针方向缓慢转过 60°，稳定时空气柱 1、2 的长度分别为多少？

（2）仅将环境的温度缓慢升高到 77℃，通过分析计算是否有水银溢出。

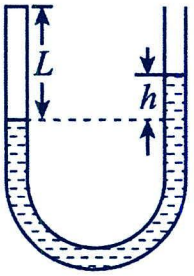


题型二：U 形管水银柱的平衡问题

【精选例题】

【例 1】如图，一粗细均匀、竖直放置的 U 形管，其左端封闭右端开口，管内水银柱将一部分理想气体封闭在左管中。当封闭气体的温度为 T_0=306K 时，左管内气柱长度 L=20cm，右管中水银面比左管中水银面高 h=10cm，大气压强 p_0=75cmHg。求：(1)若缓慢降低封闭气体的温度，当温度为多少时，左右两管中的水银面等高?

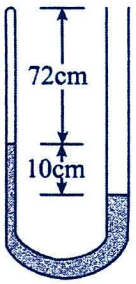
(2)若保持封闭气体温度 T_0 不变，从右管开口处缓慢注入水银，当左管中水银面上升了 1 cm 时，注入水银柱的长度是多少 cm（结果保留 1 位小数）?



【例 2】如图所示，U 形管竖直放置，右管横截面积为左管的 4 倍，左端封闭，右端开口。管内水银在左管封闭一段长 $l=72\text{cm}$、温度 $T=300\text{K}$ 的理想气体，左、右两管水银面高度差为 10cm，大气压强为 75cmHg。求：

（1）若加热左管气体，直到 U 形管两侧水银面等高，此时气体的温度（计算结果保留一位小数）；

（2）若保持左管气体温度 $T=300\text{K}$ 不变，往右侧管内缓慢加入多少长度的水银，可使 U 形管两侧水银面等高。

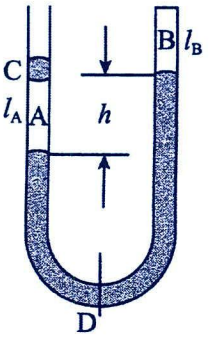


【例 3】如图所示，一内径均匀的导热 U 形管竖直放置，右侧管口封闭，左侧上端与大气相通。一段水银柱 D 和一个光滑轻质活塞 C 将 A、B 两部分空气封在管内。初始稳定状态下，A 气柱长度为 l_A=9cm，B 气柱长度为 l_B=6cm，两管内水银面的高度差 h=10cm。已知大气压强恒为 P_0=76cmHg，环境温度恒为 T_0=297K。求：

（1）求初始稳定状态下 B 气体的压强 P_B；

（2）现仅对 B 气体缓慢加热，只使 B 气体的温度 T_B=627K，求此时左右管水银柱液面高度差为多少；

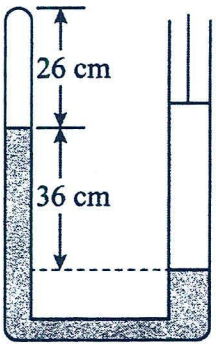
（3）为使左右两管内液面等高，现仅用外力使活塞缓慢上移，求两液面等高时活塞移动的距离 x（左侧管道足够长）。



【例 4】如图所示，左右两管足够长的 U 形管左管封闭，右管内径为左管内径的$\sqrt{2}$倍，管内水银在左管内封闭了一段长为 26cm、温度为 280K 的空气柱，右管一轻活塞恰处在与左管水银面平齐的位置且封闭了一定质量的气体，左右两管水银面高度差为 36cm，大气压强为 76cmHg。现将活塞缓慢下推，并保持左右管内气体的温度不变。当左管空气柱长度变为 20cm 时，求：

(1)左管内气体的压强；

(2)活塞下移的距离。

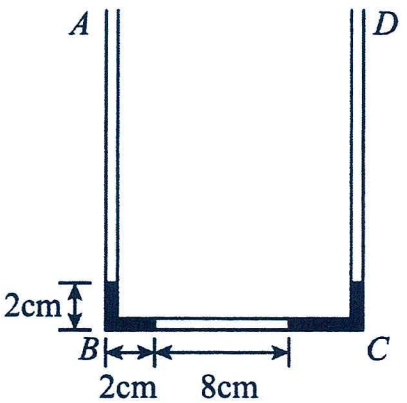


【例 5】如图所示,一竖直放置的 U 形管两端开口、粗细均匀,两管的竖直部分高度为 20cm,内径很小,水平部分 BC 长 16cm．一空气柱将管内水银分隔成左右两段．大气压强 P_0=76cmHg．当空气柱温度为 T_0=273K、长为 L_0=8cm 时,BC 管内左边水银柱和 AB 管内水银柱长都为 2cm．右边水银柱只画出了一部分。

求：(1)右边水银柱总长是多少?

(2)若缓慢降低空气柱的温度,当空气柱的温度为多少时,左边水银柱全部进入 BC 管?

(3)若缓慢控制空气柱的温度,当空气柱的温度为多少时,左边的水银恰好有一半缓慢溢出 U 形管?

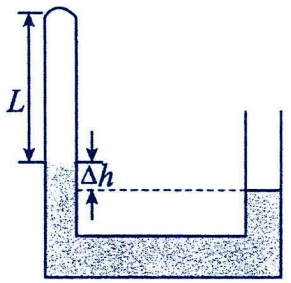


【跟踪训练】

1．如图所示，粗细均匀的 U 形管，左端封闭，右端开口，左端用水银封闭着长 $L=30\text{cm}$ 的理想气体，当温度为 27℃时，两管水银面的高度差 $\Delta h=5\text{cm}$，设外界大气压为 75cmHg。则

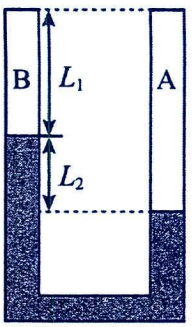
（1）若对封闭气体缓慢加热，为了使左右两管中的水银面相平，温度需升高到多少？（结果保留整数）

（2）若保持 27℃不变，为了使左右两管中的水银面相平，需从右管的开口端再缓慢注入的水银柱长度应为多少？



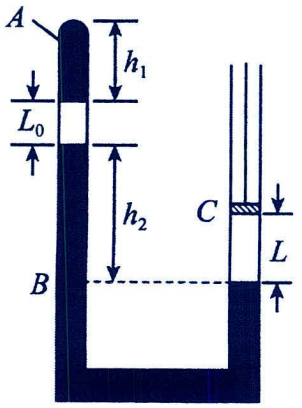
2．如图所示，竖直面内有一粗细均匀的 U 形玻璃管。初始时，U 形管右管上端封有压强 $p_0=76\text{cmHg}$ 的理想气体 A，左管上端封有长度 $L_1=8\text{cm}$ 的理想气体 B，左右两侧水银面高度差 $L_2=4\text{cm}$，此时 A、B 气体的温度均为 $T_0=288\text{K}$。求：（1）求初始时理想气体 B 的压强；

（2）保持气体 A 温度不变，对气体 B 缓慢加热。求右侧液面上升△h=4cm 时气体 A 的压强和气体 B 的温度。



3．如图所示，粗细均匀的 U 形管左端封闭右端开口，一段空气柱将水银分为 A、B 两部分，水银柱 A 的长度 $h_1=25\text{ cm}$，位于封闭端的顶部，B 部分位于 U 形管的底部。右管内有一轻活塞，活塞与管壁之间的摩擦不计。活塞自由静止时，玻璃管右侧空气柱的长度 $L=39\text{ cm}$，左侧空气柱的长度 $L_0=12.5\text{ cm}$，B 部分水银两液面的高度差 $h_2=45\text{ cm}$，外界大气压强 $p_0=75\text{ cmHg}$，把两段空气柱视为理想气体。保持温度不变，将活塞缓慢上提，当 A 部分的水银柱恰好对 U 形管的顶部没有压力时，求：(1)左侧空气柱的长度；

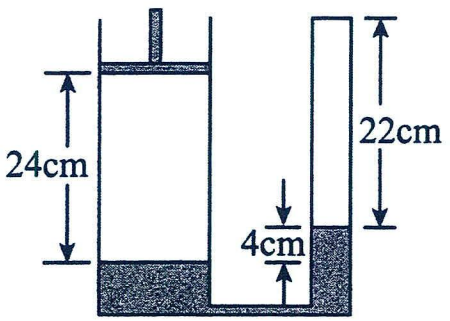
(2)活塞移动的距离。



4．如图所示，一带有活塞的汽缸通过底部的水平细管与一个上端封闭的竖直管相连，汽缸和竖直管均导热，汽缸与竖直管的横截面积之比为 3∶1，初始时，该装置底部盛有水银；左右两边均封闭有一定质量的理想气体，左边气柱高 24 cm，右边气柱高 22cm；两边液面的高度差为 4 cm。竖直管内气体压强为 76cmHg，现使活塞缓慢向下移动，使汽缸和竖直管内的水银面高度相差 8 cm，活塞与汽缸间摩擦不计。求：

(1)此时竖直管内气体的压强；

(2)此时左边气柱高度为多少？

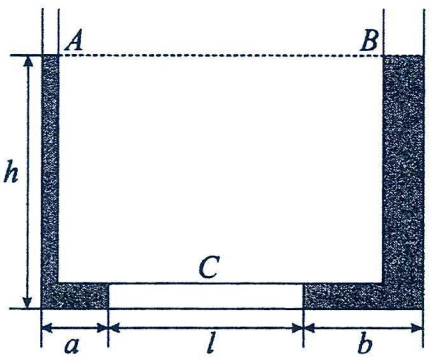


5．U 形管的两支管 A、B 和水平管 C 都是由内径均匀的细玻璃管做成的，它们的内径与管长相比都可忽略不计。已知三部分的截面积分别为 $S_A=1\times10^{-2}cm^2$、$S_B=3\times10^{-2}cm^2$、$S_C=2\times10^{-2}cm^2$，在 C 管中有一段空气柱，两侧被水银封闭。当温度为 $t_1=27℃$时，空气柱长为 L=30cm（如图所示），C 中气柱两侧的水银柱长分别为 a=2cm、b=3cm，A、B 两支管都很长，其中的水银柱高均为 h=12cm。大气压强保持为 $p_0=76$ cmHg 不变。不考虑温度变化时管和水银的热膨胀。

（1）图示位置时，密闭气体的压强多大？

（2）温度升高时管内气体膨胀请判断左右二边哪边的水银先全部进入竖直管内；

（3）求出温度缓慢升高到 t=97℃时空气柱 C 的体积。



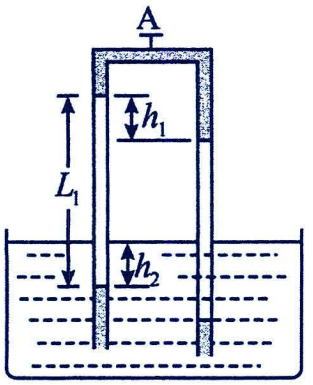
题型三：倒 U 形管水银柱的平衡问题

【精选例题】

【例 1】如图所示，两端开口、粗细均匀的足够长玻璃管插在大水银槽中，管的上部有一定长度的水银柱，两段空气柱被封闭在左右两侧的竖直管中．开启上部连通左右水银的阀门 A，当温度为 320 K，平衡时水银柱的位置如图（$h_1=h_2=4$cm，$L_1=50$cm），大气压为 76cmHg。求：

（1）右管内气柱的长度 L_2。

（2）关闭阀门 A，当温度升至 432K 时，左侧竖直管内气柱的长度 L_3。（大气压强保持不变）

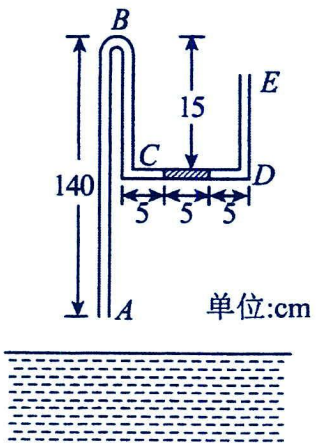


【跟踪训练】

1．如图所示的玻璃管 ABCDE，CD 部分水平，其余部分竖直（B 端弯曲部分长度可忽略），玻璃管截面半径相比其长度可忽略，CD 内有一段水银柱，初始时数据如图所示，环境温度是 300 K，大气压是 75 cmHg。现保持 CD 水平，将玻璃管 A 端缓慢竖直向下插入大水银槽中，当水平段内水银柱刚好全部进入 DE 竖直管内时，保持玻璃管静止不动。

（1）玻璃管 A 端插入大水银槽中的深度（即水银面到管口 A 的竖直距离）是多少？

（2）当管内气体温度缓慢降低到多少时，DE 中的水银柱刚好回到 CD 水平管中？



题型四：三通管水银柱的平衡问题

【精选例题】

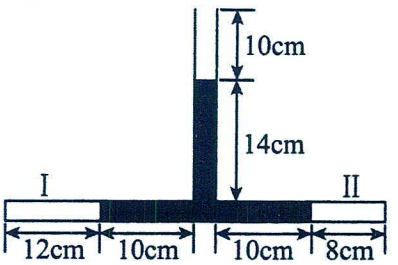
【例 1】（多选题）内径均匀且大小可忽略的“T”形细玻璃管竖直放置，管内有被水银封闭的理想气体I和II，竖直管上端与大气相通，各部分长度如图。已知环境温度为 27℃，大气压强 p_0=76cmHg。下列说法正确的是（　　）

A．两部分气体升高相同温度，竖直管水银面上升 10cm 时，气体I长度为 18cm

B．两部分气体升高相同温度，竖直管水银面上升 10cm 时，气体温度为 500K

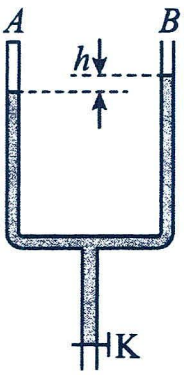
C．保持温度不变，从竖直管上端加水银至管口，加入水银长度为 11.2cm

D．保持温度不变，从竖直管上端加水银至管口，加入水银长度为 12cm



【例 2】如图，一粗细均匀的 U 型管竖直放置，A 侧上端封闭，B 侧上端与大气相通，下端开口处开关 K 关闭，A 侧空气柱的长度为 L=10.0cm，B 侧水银面比 A 侧的高 h=3.0cm。现将开关 K 打开，从 U 形管中放出部分水银，当两侧水银面的高度差为 h_1=10.0cm 时将开关 K 关闭。已知大气压强 p_0=75.0cmHg。两侧管的横截面积均为 1cm^2，水银的密度ρ=13.6g/cm^3。求：(1)求放出部分水银后 A 侧空气柱的体积为多少 cm^3；

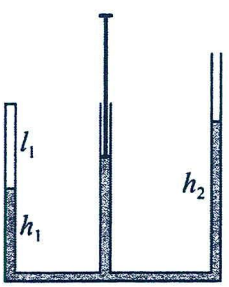
(2)此后再向 B 侧注入水银，使 A、B 两侧的水银面达到同一高度，求注入的水银的质量为多少 g。



【例 3】如图所示，有一粗细均匀的“山”字形玻璃管，左端封闭、右端开口，中部用一活塞封闭，底部水平。玻璃管内用如图所示的水银柱在左侧竖直管内封闭有长度 l_1=30cm 的理想气体，左侧竖直管内的水银柱长 h_1=30cm，右侧竖直管内的水银柱长 h_2=54cm，中部竖直管内的水银柱足够长。已知外界大气压强 p_0=76cmHg，保持环境温度 T_1=300K 不变，现用外力缓慢向下推活塞，使左侧竖直管内的气柱长变为 l_2=25cm；再固定活塞，对左侧玻璃管中的气体缓慢加热，使气柱长又变回 l_1。玻璃管的粗细不计，求：

（1）使左侧竖直管内的气柱长度变为 25cm 的过程中，活塞向下移动的距离 s；

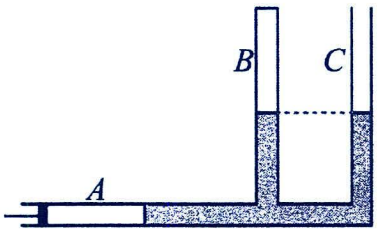
（2）左侧竖直管内的气柱长度又变回 l_1 时，封闭理想气体的温度 T_2。



【例 4】如图所示，U 型玻璃细管竖直放置，水平细管与 U 型玻璃细管底部相连通，各部分细管内径相同．U 型管左管上端封有长 20cm 的理想气体 B，右管上端开口并与大气相通，此时 U 型玻璃管左、右两侧水银面恰好相平，水银面距 U 型玻璃管底部为 25cm．水平细管内用小活塞封有长度 10cm 的理想气体 A．已知外界大气压强为 75cmHg，忽略环境温度的变化．现将活塞缓慢向左拉，使气体 B 的气柱长度为 25cm，求：

①左右管中水银面的高度差是多大？

②理想气体 A 的气柱长度为多少？



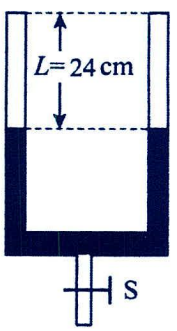
【例 5】如图所示，左端封闭右端开口、内径相同的 U 形细玻璃管竖直放置，左管中封闭有长 $L=24\text{cm}$ 的空气柱，两管水银面相平，水银柱足够长，已知大气压强 $p_0=75\text{cmHg}$，初始时封闭气体的热力学温度 $T_1=300\text{K}$ 。

现将下端阀门 S 打开，缓慢流出部分水银，然后关闭阀门 S，左管水银面下降的高度 $\Delta h=1\text{cm}$ 。

（1）求右管水银面下降的高度 ΔH；

（2）关闭阀门 S 后，若缓慢改变左管内封闭气体的温度，使左管的水银面回到最初高度，求此时左管内气体的热力学温度 T_2；

（3）关闭阀门 S 后，若将右端封闭，保持右管内封闭气体的温度不变的同时，对左管缓慢加热，使左管和右管的水银面再次相平，求此时左管内气体的热力学温度 T_3。

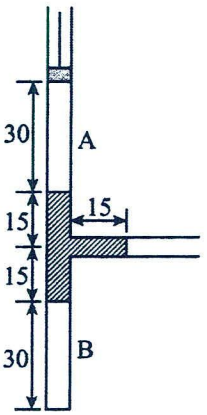


【跟踪训练】

1．一粗细均匀、底端封底的细长玻璃管如图所示，距离底端 45cm 处通一水平玻璃管与大气相通，水平管长度为 30cm，在玻璃管的竖直部分和水平部分有相连的水银柱，长度在图中标出，单位为 cm。玻璃管的上端有一轻质活塞，活塞上连轻杆，管内封闭了两段长度为 30cm 的空气柱 A 和 B，外界大气压强为 75cmHg。现用外力使活塞缓慢自然向下移动。问：（1）活塞在刚开始向下移动前外力是向上拉活塞还是向下压活塞？

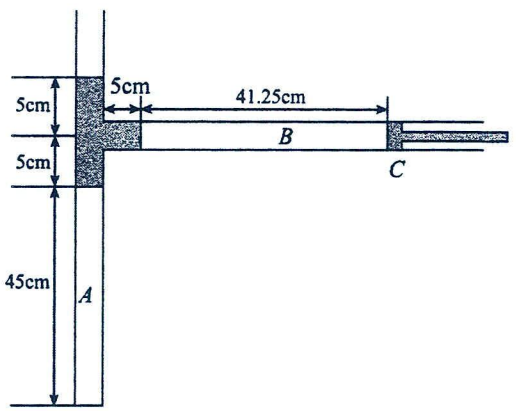
（2）使活塞缓慢自然下降多少距离，可使 A 空气柱体积达到最小？

（3）当 A 空气柱体积达到最小时 A、B 两部分空气柱的体积之比为多大？



2．如图所示，将一内径处处相同，导热良好的“T” 形细玻璃管以“∈”的姿势放在水平面上，使其上端开口，下端封闭，且使竖直细管垂直水平面，管中用水银封闭着 A、B 两部分理想气体，C 为轻质密闭活塞，各部分长度如图所示。现缓慢推动活塞，将水平管中水银恰好全部推进竖直管中，水银未从上端管口溢出，已知大气压强设外界温度不变。$p_0=75\text{cmHg}$，求：(1)水平管中水银恰好全部被推进竖直管中时，气体 A 的压强；

(2)将水平管中水银全部推进竖直管的过程中活塞移动的距离。

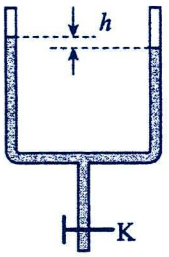


3. 如图所示，左侧开口、右侧封闭的U形细玻璃管固定在竖直面内，玻璃管内粗细均匀，横截面面积均为$S=1\text{cm}^2$，玻璃管内利用水银封闭了一定量的理想气体。初始时刻封闭气柱长$l_0=10\text{cm}$，左右两侧的高度差$h=4\text{cm}$，大气压强$p_0=76\text{cmHg}$，环境温度t=27℃，热力学温度T与摄氏温度t的关系为$T=t+273\text{K}$。

（1）若令气体温度降低，使左右两侧水银液面等高，求此时气体的热力学温度；

（2）若环境温度不变，打开阀门K，放出少量水银，使左右两侧水银液面等高，求放出水银的体积；

（3）若环境温度不变，打开阀门K，放出少量水银，使左右两侧液面高度差减小为$h'=2\text{cm}$，求放出水银的体积。

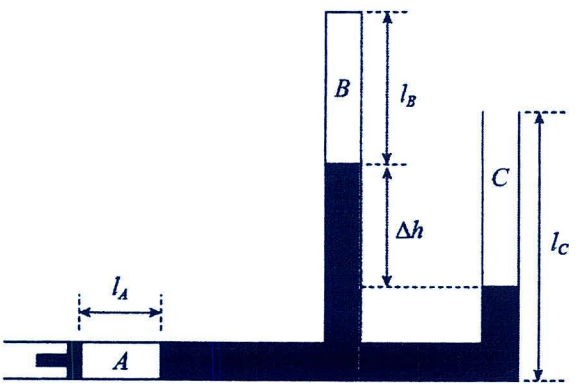


4. 如图所示，U型玻璃细管竖直放置，水平细管（内、外径都很小）与U型细管底部相连通，各部分细管内径相同。C管长度为L_C=30cm，初始时U型玻璃管左、右两侧水银面高度差为$\triangle h_0$=15cm，C管水银面距U型玻璃管底部距离为h_{C0}=5cm。水平细管内用小活塞封有长度为l_{A0}=12.5cm的理想气体A，U型管左管上端封有气柱长度为l_{B0}=25cm的理想气体B，右管上端开口与大气相通，现将活塞缓慢向右压，使U型玻璃管左、右两侧水银面恰好相平，该过程A、B气柱的温度保持T_0=300K不变。已知外界大气压强为p_0=75cmHg，水平细管中的水银柱足够长，可能用到的数据：$\sqrt{6}\approx2.45$。

（1）求左右两侧液面相平时，气体B的长度L；

（2）求该过程活塞移动的距离d；

（3）固定活塞，气体B温度保持不变，只对气体A缓慢加热到600K，求此时气柱A的长度。



题型五：非平衡态水银柱问题定性分析

【精选例题】

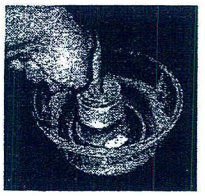
【例 1】如图甲，某同学将水杯开口向下倒置在水槽中，水槽中的部分水流入杯内，在杯中封闭了一段气体，简化模型如图乙所示。现缓慢将水杯向上提起一小段高度（杯口始终未露出水面，杯内气体未漏出）。设环境温度保持不变，则此过程中（　　）

A．杯内外液面高度差不变

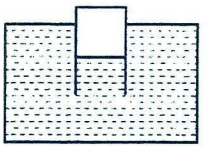
B．杯内外液面高度差变大

C．杯中封闭气体体积变大，压强变大

D．杯中封闭气体体积变大，压强变小



图甲



图乙

【例 2】（多选题）如图所示，水银柱上面封闭一段气体，管内外水银面高度差 h=72cm，大气压强为 76cmHg，下列说法不正确的是（　　）

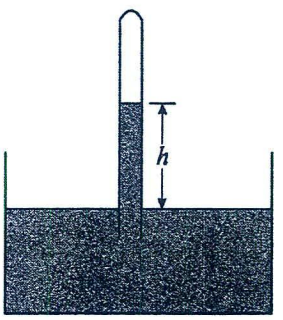
A．将管稍上提，h 不变

B．将管稍上提，h 变大

C．将管下插至管顶与管外水银面高度差为 70cm 时，管内外水银面高度差也是 70cm

D．将管下插至 C 项所述位置时，管内外水银面高度差小于 70cm

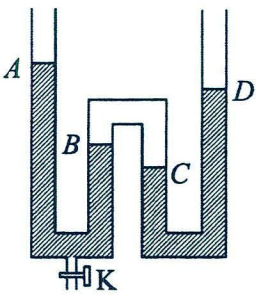
E．将管下插至 C 项所述位置时，管内封闭气体的压强大于 76cmHg



【例 3】在两端开口的弯管内用两段水柱封闭了一段空气柱，A、B、C、D 四个液面的位置关系如图所示．现将左侧试管底部的阀门 K 打开，释放掉少量水后立刻关闭阀门，C、D 液面相对各自原来的位置上升或下降的长度 h_B、h_C 和 h_D 之间的大小关系为（　）

A．$\Delta h_B=\Delta h_C=\Delta h_D$　　B．$\Delta h_B>\Delta h_C>\Delta h_D$

C．$\Delta h_B=\Delta h_C<\Delta h_D$　　D．$\Delta h_B>\Delta h_C=\Delta h_D$



【例 4】如图所示，一端封闭的粗细均匀的足够长玻璃管竖直放置，其开口向上，管中有两段水银柱封闭了两段空气柱，上段空气柱的体积为 V_1，下段空气柱的体积为 V_2，开始时 $V_1=2V_2$。现将玻璃管缓慢地均匀加热，加热后上、下段空气柱的体积变化量为 ΔV_1、ΔV_2，则 ΔV_1 和 ΔV_2 的大小关系为（　　）

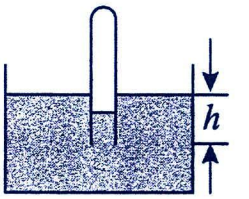
A．$\Delta V_1>2\Delta V_2$　　B．$\Delta V_1=2\Delta V_2$

C．$\Delta V_1<2\Delta V_2$　　D．条件不足，无法确定



【跟踪训练】

1．如图所示，一根玻璃管倒扣插入水银槽中（开口向下），内部封有一定质量的理想气体，管内水银面低于管外液面 h，要使内外液面差变大，下列操作一定可行的是（　　）



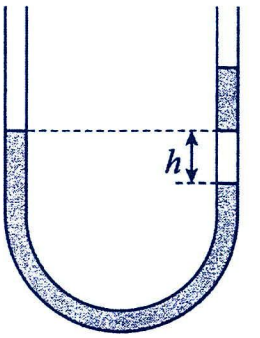
A．保持温度不变，玻璃管稍向下插入一些

B．保持温度不变，玻璃管稍向上拔出一些

C．温度升高的同时玻璃管稍向上拔出一些

D．温度降低的同时玻璃管稍向下插入一些

2．如图所示，两端开口的 U 形玻璃管竖直放置，其右侧水银柱之间封住一段高 h 的空气柱。空气柱下方的水银面与玻璃管左侧水银面的高度差也为 h。已知大气压强恒为 p_0，空气柱的气体可视为理想气体，周围环境温度保持不变，玻璃管的导热性良好且玻璃管粗细均匀。下列说法正确的是（　　）



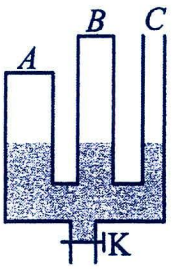
A．从左侧管口缓慢注入少量水银，空气柱的体积一定变小

B．从左侧管口缓慢注入少量水银，空气柱的体积一定变大

C．从右侧管口缓慢注入少量水银，空气柱的体积一定变小

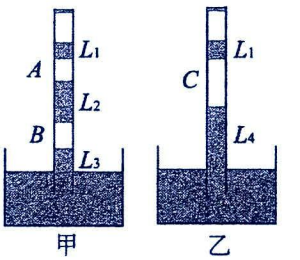
D．从右侧管口缓慢注入少量水银，空气柱的体积一定变大

3．（多选题）如图所示的连通器 A、B 管内封有空气，C 管敞口竖直向上，K 为阀门。开始时 A、B、C 内水银面等高，B 管中封闭气体长度大于 A 管中封闭气体长度，A、B、C 管横截面积依次减小。若在 C 管中沿管壁注入少许水银，三管液面上升高度分别为 h_A、h_B、h_C。若不注入水银而是打开 K，使水银流出少许（A、B、C 管中水银面不会降到管口下方），三管液面下降高度分别为 h_A'、h_B'、h_C'。假设以上过程中气体温度不变，以下说法正确的是（　　）



A．$h_A > h_B > h_C$　　B．$h_A < h_B < h_C$　　C．$h_A' < h_B' < h_C'$　　D．$h_A' > h_B' > h_C'$

4．粗细均匀的光滑长玻璃管，一端封闭另一端开口．向管内滴入一些水银，开口端向下竖直插入水银槽中，管内各部分均平衡后，管中有三段水银柱，上两段水银柱长分别为 L_1、L_2，下段水银柱与槽中水银相通，高度差为 L_3，如图甲所示．现轻敲管壁使 B 中气体透过中间一段水银柱与 A 气体混合，管内各部分再达平衡后下部高度差为 L_4，如图乙所示．下列说法正确的是（　　）



A．如管顶部分是真空，水银柱 L_1 将上升

B．如管顶部分是真空，L_1+L_4 大于 $L_1+L_2+L_3$

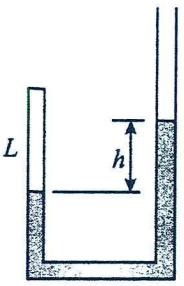
C．如管顶部分有空气，水银柱 L_1 将下降

D．如管顶部分有空气，L_1+L_4 小于 $L_1+L_2+L_3$

题型六：非平衡态水银柱问题定量计算

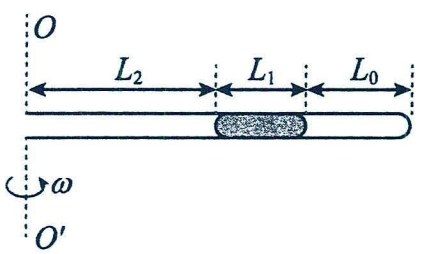
【精选例题】

【例 1】如图所示，一根粗细均匀的 U 形玻璃管在竖直平面内放置，左端封闭，右端通大气，大气压强 p=76cmHg。管内左右水平面的高度差 h=16cm，左管内空气柱的长度 L=19cm。如果让该管在原来的竖直平面内自由下落，稳定时两边水银面的高度差为（　　）



A．12cm　　B．16cm　　C．20cm　　D．24cm

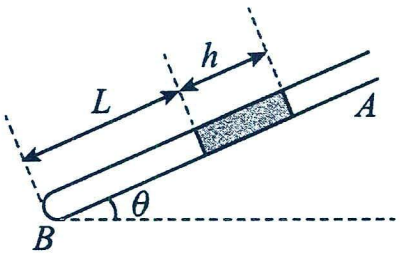
【例 2】试管内封有一定质量的气体，静止时气柱长为 L_0，大气压强为 p_0，其他尺寸如图所示，当试管绕竖直轴以角速度ω在水平面内匀速转动时气柱长变为 L，设温度不变，管横截面积为 S，水银密度为ρ，则转动时管内被封气体的压强为（　　）



A．$p_0+\rho L_1\omega^2(L_2+L_0-L+\frac{L_1}{2})$　　B．$p_0+\rho L_1\omega^2(L_2+\frac{L_1}{2})$

C．$p_0+\rho g L_1$　　D．$\frac{LP_0}{L_0}$

【例 3】（多选题）一端封闭粗细均匀的足够长导热性能良好的细玻璃管内，封闭着一定质量的理想气体，如图所示。已知水银柱的长度 $h=5\text{cm}$，玻璃管开口斜向上，在倾角 $\theta=30°$ 的光滑斜面上以一定的初速度上滑，稳定时被封闭的空气柱长为 $L=40\text{cm}$，大气压强始终为 p_0=75cmHg，取重力加速度大小 g=10m/s²，不计水银与试管壁间的摩擦力，不考虑温度的变化。下列说法正确的是（　）



A．若细玻璃管开口向上竖直放置且静止不动，则封闭气体的长度 L_1=37.5cm

B．被封闭气体的压强为 p_1=80cmHg

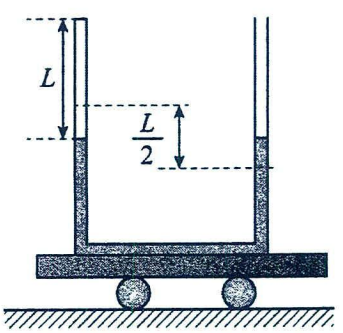
C．若细玻璃管开口竖直向下静止放置，由于环境温度变化，封闭气体的长度 $L=40\text{cm}$，则现在的温度与原来温度之比为14:15

D．若用沿斜面向上的外力使玻璃管以 a_2=1m/s² 的加速度沿斜面加速上滑，则稳定时封闭气体的长度 L_2=41.67cm

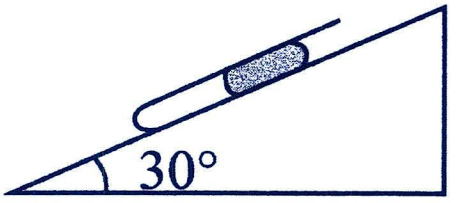
【跟踪训练】

1．如图所示，一辆上表面水平的小车静止在水平面上，小车上竖直固定着内径均匀的 U 形细管，U 形管的左端封闭、右端开口，管内装有水银，小车静止时，U 形管左右两端的水银面等高，左端封闭气柱的长度为 L，当小车以加速度 $a=\frac{2}{3}g$ 水平向右做匀加速直线运动时，U 形管左右两端的水银面的高度差为 $\frac{L}{2}$，已知重力加速度为 g，水银的密度为 ρ，大气压强为 $p_0=\rho gL$，封闭气体温度保持不变，则 U 形管水平部分的长度为（　）

A．$\frac{2L}{3}$　　B．$\frac{5L}{4}$　　C．$\frac{3L}{2}$　　D．$\frac{9L}{4}$



2．（多选题）有一段 12cm 长水银柱，在均匀玻璃管中封住一定质量的气体。若将玻璃管管口向上放置在一个倾角为 30°的斜面上（如图所示），先用外力使玻璃管静止在斜面上，后由静止释放，玻璃管沿斜面下滑。已知玻璃管与斜面间的动摩擦因数为$\frac{\sqrt{3}}{6}$，大气压强 p_0 相当于 76cm 汞柱，气体温度不变。则下列说法正确的是（　　）



A．释放后气体体积变大

B．释放后气体体积变小

C．下滑稳定时密闭气体的压强为 80cm 汞柱

D．下滑稳定时密闭气体的压强为 79cm 汞柱

题型七：水银柱关联气体问题

【精选例题】

【例 1】（多选题）如图所示，两端封闭、粗细均匀的玻璃管内的理想气体被一段水银柱隔开，当玻璃管水平放置时，左侧管内气体的体积小于右侧管内气体的体积，左侧管内气体的温度高于右侧管内气体的温度，水银柱处于静止状态，下列说法正确的是（　　）



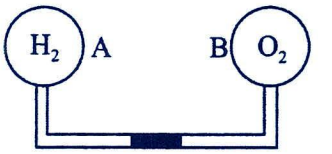
A．此时左侧管内气体压强大于右侧管内气体压强

B．此时左侧管内气体压强等于右侧管内气体压强

C．若管内两端的气体都升高相同的温度，则水银柱向左移动

D．若管内两端的气体都升高相同的温度，则水银柱向右移动

【例 2】如图所示，A、B 两容器容积相等，用粗细均匀的细玻璃管连接，两容器内装有不同气体，细管中央有一段水银柱，在两边气体作用下保持平衡时，A 中气体的温度为 273 K，B 中气体的温度为 293 K，如果将它们的温度都降低 10 K，则水银柱将（　　）



A．向 A 移动　　B．向 B 移动

C．不动　　D．不能确定

【例 3】（多选题）如图所示为竖直放置的粗细均匀的密闭细管，水银柱将气体分隔成 A、B 两部分，初始温度相同。使 A、B 降低相同温度达到稳定后，体积变化量绝对值为ΔV_A、ΔV_B，压强变化量绝对值为Δp_A、Δp_B，对液面压力的变化量绝对值为ΔF_A、ΔF_B，则（　　）



A．水银柱向下移动了一段距离　　B．$\Delta p_A < \Delta p_B$

C．$\Delta V_A > \Delta V_B$　　D．$\Delta F_A = \Delta F_B$

【例 4】（多选题）如图为竖直放置的上粗下细的玻璃管，水银柱将气体分隔成 A、B 两部分，初始温度相同。使 A、B 升高相同温度达到稳定后，气体体积变化量为 ΔV_A、ΔV_B，压强变化量为 ΔP_A、ΔP_B，对液面压力的变化量为 ΔF_A、ΔF_B，则（　　）



A．水银柱向上移动了一段距离　　B．$\Delta V_A < \Delta V_B$

C．$\Delta p_A > \Delta p_B$　　D．$\Delta F_A < \Delta F_B$

【例 5】如图，两端都封闭的导热玻璃管竖直放置，水银柱将其内部的理想气体分为上、下两部分，上、下两部分气体的长度均为 L，上部分气体的压强为 p_0，周围环境的热力学温度为 T_0。现由于周围环境温度的变化，水银柱下降了 $\frac{L}{5}$。已知水银柱的质量为 $\frac{p_0S}{g}$，玻璃管内部横截面积为 S，重力加速度为 g，不计水银柱与玻璃管之间的摩擦。周围环境温度上升还是下降？求上升或下降了多少？



【例 6】一个竖直放置的上细下粗的封闭容器，水银柱将理想气体分隔为甲、乙两部分，两部分的初始温度均为 T_0，体积分别为 V_0、$2V_0$，压强分别为 p_0、$2.8p_0$。现把乙部分气体温度降低，甲部分气体温度升高到 $1.2T_0$，在此过程中甲部分气体的压强始终不变，稳定后乙部分气体的压强为 $1.4P_0$。求

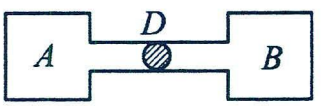
（1）在整个过程中，甲气体对水银柱做的功；

（2）稳定后，乙部分气体的温度。



【跟踪训练】

1．如图所示，A、B 两个大容器中装有同种气体，容器间用一根细玻璃管连接，管中有一水银滴 D 作为活塞，当左边容器的温度为−10℃，右边容器的温度为10℃时，水银滴刚好在玻璃管的中央保持平衡，两个容器的温度都升高10℃时，下列判断正确的是（　　）



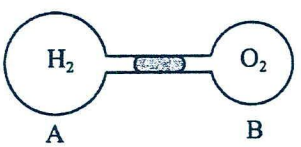
A．水银滴将不移动　　B．水银滴将向右移动

C．水银滴将向左移动　　D．水银滴将向哪个方向移动无法判断

2．（多选题）如图所示，容器 A 和容器 B 分别盛有氢气和氧气，用一段水平细玻璃管相通，管内有一段水银柱将两种气体隔开，当氢气的温度为 0 ℃，氧气温度是 20 ℃时，水银柱静止。下列说法正确的是（　　）

A．两气体均升高温度 20℃时，水银柱向右边移动

B．两气体均升高温度 20℃时，水银柱向左边移动



C．如果将容器在竖直平面内缓慢逆时针转动 90°，保持各自温度不变（水银全部在细管中），现让温度都升高 10℃，则水银柱向下移动

D．如果将容器在竖直平面内缓慢逆时针转动 90°，保持各自温度不变（水银全部在细管中），现让温度都升高 10℃，则水银柱向上移动

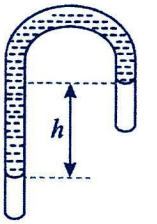
3．如图所示为竖直放置的上细下粗的密闭玻璃管，水银柱将气体分隔成 AB 两部分，初始温度相同．使 AB 两部分气体升高相同温度且稳定后，AB 两部分气体的体积变化量为ΔV_A、ΔV_B，压强变化量为Δp_A、Δp_B，对液面压力的变化量为ΔF_A、ΔF_B，则（　　）



A．水银柱向上移动了一段距离　　B．$\Delta V_A < \Delta V_B$

C．$\Delta p_A > \Delta p_B$　　D．$\Delta F_A = \Delta F_B$

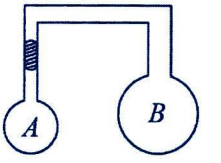
4．（多选题）如图，U 形玻璃管两端封闭竖直静置，管内水银柱把管内气体分成两部分，此时两边气体温度相同，管内水银面高度差为 h。若要使左右水银面高度差变大，则可行的方法是（　　）



A．同时升高相同的温度　　B．玻璃管竖直减速下落

C．同时降低相同的温度　　D．玻璃管竖直加速下落

5．如图所示，两个容器 A 和 B 容积不同，内部装有气体，其间用细管相连，管中有一小段水银柱将两部分气体隔开。当 A 中气体温度为 tA，B 中气体温度为 tB，且 tA>tB，水银柱恰好在管的中央静止。若对两部分气体加热，使它们的温度都升高相同的温度，下列说法正确的是（　　）



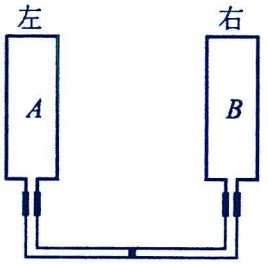
A．水银柱将向上移动　　B．水银柱一定保持不动

C．水银柱将向下移动　　D．水银柱的移动情况无法判断

6．如图所示，左、右两容器间用粗细均匀的光滑玻璃细管连接，两容器内分别装有不同的理想气体 A 和 B，气体体积均为V_0（包含玻璃管中气体）。当管中央处的一小段水银柱保持静止时，A 和 B 气体的温度分别为 27℃和 87℃。已知管中的水银柱始终能保持两部分气体不混合。（已知$T = t + 273\,\mathrm{K}$）

（1）若使气体 A 的温度升高到 87℃，欲使水银柱仍静止在原来的位置，则应该使气体 B 的温度升高到多少℃？

（2）若使气体 A、B 都升高 20℃，而水银柱始终位于水平玻璃管内，求最终气体 B 的体积。



题型八：水银自动溢出问题

【精选例题】

【例 1】如图所示，粗细均匀、上端开口、下端封闭的薄壁玻璃管竖直放置，开口朝上，玻璃管横截面积 $S=1.0\text{cm}^2$，玻璃管总长度 $l=80\text{cm}$，玻璃管内用水银封闭 $n=0.01\text{mol}$ 理想气体，气柱长度与水银柱长度均为 $L=25\text{cm}$。初始温度 $T_0=300\text{K}$，气体内能变化与温度变化成正比，可表达为 $\Delta U=n\cdot\frac{5}{2}R\cdot\Delta T$，其中 $R=8.31\text{J/}(\text{mol}\cdot\text{K})$，水银密度 $\rho=13.6\times10^3\text{kg/m}^3$，大气压强 $p_0=75.0\text{cmHg}$，重力加速度大小 $g=10\text{m/s}^2$。求：

（1）若温度升高，使水银的上液面缓慢的恰好到达玻璃管开口处，温度为多少 K；

（2）若温度升高，使水银的上液面缓慢的恰好到达玻璃管开口处，气体吸收的热量 Q；

（3）继续对封闭气体缓慢加热温度升高，水银全部流出玻璃管，温度需要升高到多少 K。

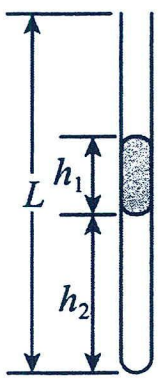


【跟踪训练】

1．如图所示，一根下端封闭、上端开口的玻璃管竖直放置，已知初始时管内用长 $h_1=15\text{ cm}$ 的水银柱封闭了一段长 $h_2=60\text{ cm}$ 的空气柱，气柱初始温度 $T_1=300\text{K}$，外界大气压相当于 $L_0=75\text{ cm}$ 高的水银柱产生的压强。

（1）若玻璃管足够长，缓慢地将管转过 $180°$，求此时封闭气柱的长度；

（2）若玻璃管长 $L=87\text{ cm}$，保持玻璃管开口端竖直向上，当温度至少升到多少 K 时，水银柱全部从管中溢出？

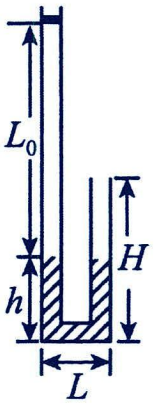


2．如图所示，内径均匀的 U 形玻璃管竖直放置（内径远远小于水银柱总长度），左、右两侧管上端均开口，右侧管口离底部距离 H=45cm，在左侧用活塞封闭一段长度为 L_0=80cm 的空气柱，活塞上、下气体压强均为大气压强 p_0=75cmHg，这时左右两侧管内的水银面相平离底部的高度均为 h=20cm，底部水平管长度为 L=10cm。现将活塞缓慢地向下压，该过程空气柱的温度恒为 27℃，直至右侧管内水银面刚好与管口相平时将活塞固定不动，则：

(1)活塞向下移动的距离 ΔL；

(2)活塞固定后，给左侧封闭气体缓慢加热到 47℃，求空气柱的长度；

(3)活塞固定后，给左侧封闭气体缓慢加热到多少℃时，水银能全部从右侧开口处溢出。



考点三：变质量问题

题型一：充气问题

1.充气问题

充气过程中容器内气体的质量是增加的，解答充气问题时，以充进容器内的气体和容器内的原有气体整体为研究对象，这些气体的质量是不变的。这样可将“变质量”的问题转化成“定质量”问题。

【精选例题】

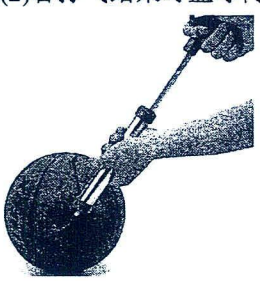
【例 1】某人驾驶汽车，从北京到哈尔滨，在哈尔滨发现汽车的某个轮胎内气体的压强有所下降（假设轮胎内气体的体积不变，且没有漏气，可视为理想气体）。于是在哈尔滨给该轮胎充入压强与大气压相同的空气，使其内部气体的压强恢复到出发时的压强（假设充气过程中，轮胎内气体的温度与环境相同，且保持不变）。已知该轮胎内气体的体积 $V_0 = 30\ \mathrm{L}$，从北京出发时，该轮胎气体的温度 $t_1 = -3°\mathrm{C}$，压强 $p_1 = 2.7 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$。哈尔滨的环境温度 $t_2 = -33°\mathrm{C}$，大气压强 p_0 取 $1.0 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$。求：(1)在哈尔滨时，充气前该轮胎气体压强的大小。

(2)充进该轮胎的空气体积。

【例 2】小张想研究一只 7 号篮球的容积有多大。他先用气嘴将篮球内的气体全部排出，然后连接一支带气压表的打气筒开始给篮球打气。打气筒每打一次气能将体积为 0.25 L、压强为 1atm 的空气打入球内，该过程不漏气，当他打气 56 次后，气压表的示数为 2atm。已知环境温度为 27℃，热力学温度与摄氏温度的关系为 $T = t + 273\mathrm{K}$。

(1)若认为篮球内部气体的温度与环境温度相同，则篮球的容积为多少？

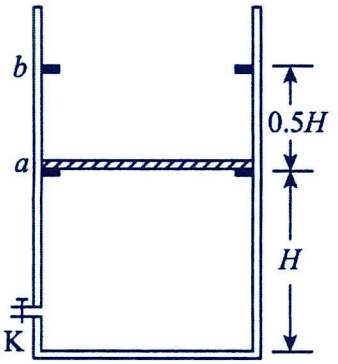
(2)若打气结束时篮球内部气体的实际温度为 57 ℃，则篮球的实际容积为多少？



【例 3】如图，一竖直放置、导热良好的汽缸上端开口，汽缸内壁上有卡口a和b，a距缸底的高度为H，a、b间距为0.5H，活塞只能在a、b间移动，其下方密封有一定质量的氮气。开始时活塞静止在卡口a处，氮气的压强为$0.8p_0$。现打开阀门K，向缸内充入压强为p_0、温度为$1.2T_0$的氮气，经时间t后关闭K，气体稳定后活塞恰好到达卡口b处。已知活塞质量为m，横截面积为S，厚度可忽略，活塞与汽缸间的摩擦忽略不计，大气压强为p_0，环境温度恒为T_0，氮气可视为理想气体，重力加速度大小为g，$\frac{mg}{S}=0.2p_0$。求：

(1)活塞在卡口b处时，氮气的压强（结果用p_0表示）；

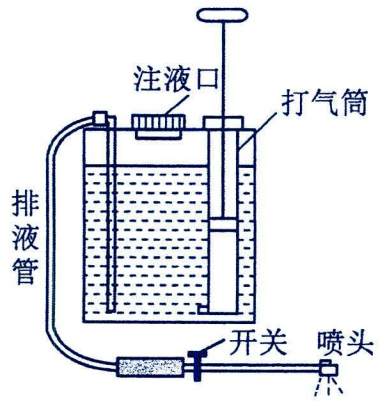
(2)从阀门K充气时，氮气的平均流量Q（单位时间内通过阀门K的体积）。



【例 4】如图，是常用的一种便携式喷雾器的原理图，其储液罐总容积为V。现装入0.8V的药液后并盖好注液口密封盖，然后，通过打气筒向罐中打气，每次均能把$\frac{1}{20}V$的外界空气打进罐中，设打气过程中气体的温度没有变化，忽略排液管中的液体体积及罐中排液管液柱产生的压强，已知外界大气压强为p_0，密封气体可视为理想气体。则：

（1）不喷药液时，要使储液罐中的气体压强达到$4p_0$，则打气筒打气的次数是多少？

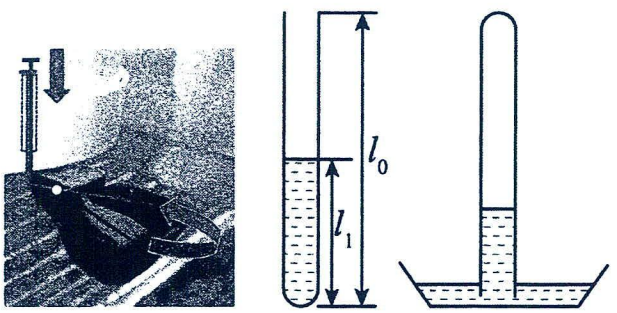
（2）打气后打开开关就能够连续的把罐中药液喷完，至少需要打气多少次？



【跟踪训练】

1．小明同学设计制作了简易家禽自动饮水器如图甲所示，当瓶口浸入水中时，水不会流出；当家禽饮水使盘子里的水面下降而瓶口刚露出水面时，空气从瓶口进入瓶内，水就会自动流出来，升高盘子里的水位，使瓶口重新没入水中，水停止流出。为了便于计算，我们用水银代替水来研究。其简化模型如下：用玻璃管代替饮水器的盛水桶，玻璃管的长度为$l_0=100\text{cm}$，横截面积$S=20\text{cm}^2$。开始时将玻璃管开口向上，倒入长度为$l_1=50\text{cm}$的水银，如图乙所示，然后封住管口，将玻璃管倒置在盛有水银的浅盘中，管口刚好浸入水银面（此过程没有空气进入管内），如图丙所示。已知大气压强$p_0=75\text{cmHg}$，整个过程环境温度保持不变，封闭气体可视为理想气体，不计管口浸入浅盘液面的深度。求：(1)求倒置后稳定时，玻璃管中水银的高度；

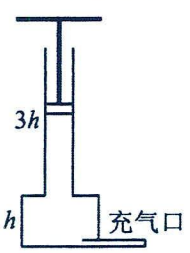
(2)浅盘内水银逐渐减少，当玻璃管内剩余水银的高度为$l_2=5\text{cm}$时，后来进入的气体质量与原来气体质量之比。



甲　　乙　　丙

2．气压千斤顶是一种利用压缩空气作为动力来起重的升降设备。某种气压千斤顶的模型如图所示，其由高度分别为 h 和 3h、横截面积分别为 3S 和 S 的汽缸连接而成，将模型开口向上竖直放置在水平地面上，封闭充气口，将厚度不计，横截面积为 S 的活塞连同支架轻轻放入汽缸开口处，活塞下降一定距离后稳定。已知大气压强为p_0，活塞连同支架的重力为$0.2p_0S$，环境温度恒为T_0，重力加速度为 g，汽缸的气密性、导热性良好且内壁光滑，空气可视为理想气体。(1)求活塞稳定后下降的距离H；

(2)若在支架上放置重力大小为$10.8p_0S$的重物，同时通过充气口向缸内充入压强为p_0的空气，当活塞上升到汽缸口的位置并稳定时，求充入的空气与汽缸内原来空气的质量之比。



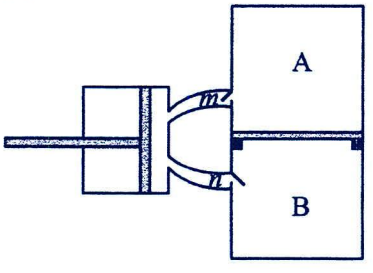
3．电动自行车骑行时必须保持合适的轮胎气压。某人用打气筒给闲置很久的电动自行车打气，内胎的容积为$V=2.0\text{L}$，胎内原来空气压强为$p_1=1.2\times10^5\text{Pa}$，温度为室温27℃，设每打一次可打入压强为一个标准大气压的空气$V_0=100\text{cm}^3$。打气过程中由于压缩气体做功和摩擦生热，打了$n=36$次后胎内温度升高到35℃。（一个标准大气压为$p_0=1\times10^5\text{Pa}$）。求：（1）假设车胎因膨胀而增大的体积可以忽略不计，则此时车胎内空气压强；（2）电动自行车轮胎气压在室温情况下的标准压强为$p=2.5\times10^5\text{Pa}$，如果此次打气恢复常温后胎压过大（未超过车胎承受范围），需要放出一部分气体，使车胎内气压在室温情况下达到标准压强，试求放出气体的质量与轮胎内剩余气体质量的比值。



4．如图所示，有一个竖直放置的容器，横截面积为S，有一隔板放在卡槽上将容器分隔为容积均为V_0的上下两部分，另有一只气筒分别通过单向进气阀与容器上下两部分连接（气筒连接处的体积不计，抽气、打气时气体温度保持不变），初始时m、n均关闭，活塞位于气筒最右侧，上下气体压强均为大气压强p_0，活塞从气筒的最右侧运动到最左侧完成一次抽气，从最左侧运动到最右侧完成一次打气。活塞完成一次抽气、打气后，隔板与卡槽未分离，此时容器上下两部分气体压强之比为3∶5，重力加速度为g。

(1)求气筒的容积；

(2)当完成抽气、打气各2次后，隔板与卡槽仍未分离，则隔板的质量至少是多少？

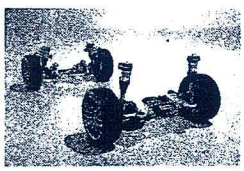


题型二：生活中的充气问题

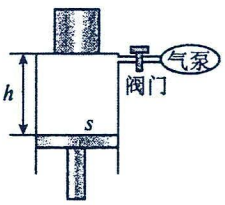
【精选例题】

【例 1】近年来越来越多的汽车搭载了“空气悬挂”结构。空气悬挂是一种先进的汽车悬挂系统，能够根据路况和距离传感器的信号自动调整车身高度，提升汽车的行驶稳定性。空气悬挂安装在汽车的前轴和后轴上，如图甲所示，其构造可简化为如图乙所示的气缸活塞模型，气缸上部与汽车底盘相连，活塞通过连杆与车轮轴连接。现有一搭载 4 组空气悬挂的汽车，空气悬挂以上的车身质量为m，空载时活塞与气缸底之间的距离均为h。该汽车装载货物后，活塞与气缸底间的距离均变为$\frac{3}{4}h$，已知活塞的横截面积为 S，不计缸体的重力以及活塞与缸体之间的摩擦力，气体的温度始终不变，外界大气压强恒为p_0，重力加速度为g。求：(1)装载的货物质量M；

(2)装载货物后，气泵自动给气缸充入适量空气，使活塞和气缸底之间的距离回到h，充入的气体与原气体的质量之比η。



甲

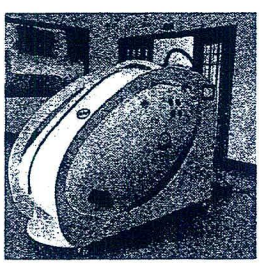


乙

【例 2】家用高压氧舱是让患者在密闭的加压装置中吸入高压力、高浓度氧治疗疾病的装置，其功效主要为缓解机体缺氧、改善机体循环等。图示为家用高压氧舱，其舱内气体温度为 7℃时压强为 1.4atm。现将舱内气体温度升高到 27℃，已知$pV=nRT$（n 为气体分子数、R 为常量），所有气体均视为理想气体，舱的容积固定，混合气体中某种气体的压强和它单独占有整个容器时所产生的压强相同。

（1）为保持舱内气体压强为 1.4atm，求释放出气体的质量与舱内剩余气体的质量之比。

（2）已知在（1）问条件下，释放气体结束时，舱内氧气分子含量为 20%，只向舱内充入氧气，并保持温度恒定，求舱内氧气分子含量为 30%时舱内的气压。

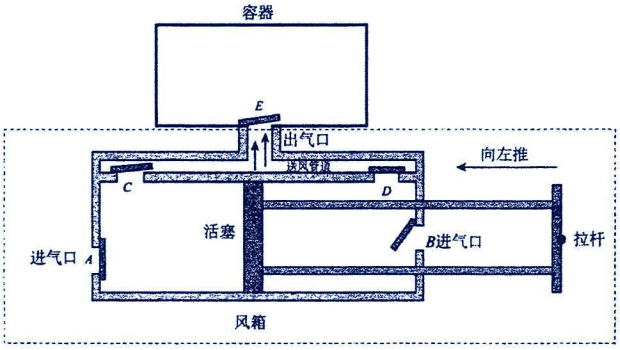


【跟踪训练】

1．以前农村家家户户灶房里都有用砖砌成的锅灶，旁边放着一个风箱。风箱是用来产生风力的设备，其结构如图虚线框内所示，A、B、C、D、E 处为单向阀门，操作人员用手推拉拉杆。从而带动活塞在汽缸里左右运动，使空气通过进气口进入汽缸内，再由送风管道和出气口送入炉灶，使炉火旺盛。风箱也常用于炼铁。图中所示，风箱内汽缸容积为 V_0，送风管道和活塞的容积不计，大气压强为 p_0。将风箱的出气口与一容器的开口紧密相连，该容器的容积为 V，容器里原有封闭空气的压强为 p_0，环境温度为 T_0，风箱和容器都具有良好的导热性。

(1)先不推拉拉杆，阀门 E 关闭，若环境温度升高到 T，求容器内的气体压强 p_1；

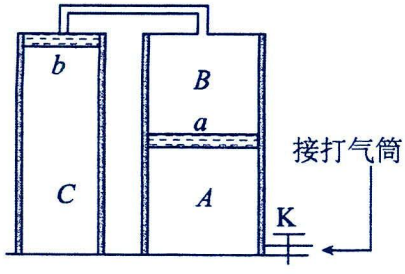
(2)若环境温度保持 T_0 不变，活塞从汽缸最右侧推至最左侧，再由最左侧拉回最右侧，此过程算推拉一次，则推拉 10 次活塞后，求容器内的气体压强 p_2。



2．如图所示，两等高、内壁光滑、导热性良好的圆柱形汽缸竖直放置，左、右两侧汽缸的横截面积分别为 S、2S，汽缸顶部由细管（体积不计）连通，右侧汽缸底部带有阀门 K，两汽缸中均有一厚度可忽略的活塞 a、b，两活塞的质量均为 $m=\frac{2p_0S}{g}$，汽缸密闭且不漏气。初始时，阀门 K 关闭，活塞 b 处于左侧汽缸的顶部且与顶部无弹力，封闭着气体 C，活塞 a 处于右侧汽缸的中间位置，将汽缸分成 A、B 两部分，A 中气体的压强为 $1.5p_0$、体积为 V_0。现打开阀门 K，用打气筒通过 K 给右侧汽缸下部分充气，每次将体积为 $\frac{V_0}{12}$、压强为 p_0 的空气打入汽缸中，直至活塞 b 下降到整个汽缸高度的 $\frac{5}{6}$ 处。已知大气压强为 p_0，重力加速度大小为 g，整个过程中，周围环境温度不变，其他量均为未知量。求：(1)初始时，左侧汽缸中封闭的气体 C 的压强 p_C；

(2)充气后，右侧汽缸中封闭的气体 A 的压强 p；

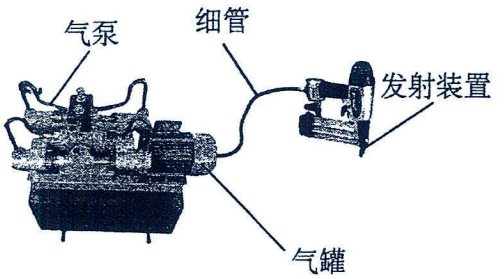
(3)打气次数 n。



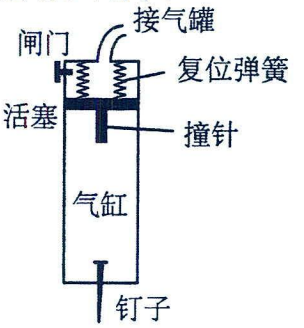
3．气钉枪是一种广泛应用于建筑、装修等领域的气动工具，工作时以高压气体为动力。如图甲所示是气钉枪和与之配套的气罐、气泵，图乙是气钉枪发射装置示意图，气缸通过细管与气罐相连。射钉时打开开关．气罐向气缸内压入高压气体推动活塞运动，活塞上的撞针将钉子打入物体，同时切断气源，然后阀门自动打开放气，复位弹簧将活塞拉回原位置。气钉枪配套气罐的容积$V_0=10\mathrm{L}$，气缸有效容积$V=25\mathrm{mL}$，气钉枪正常使用时气罐内压强范围为$4p_0\sim6.5p_0$，p_0为大气压强，当气罐内气体压强低于$4p_0$时气泵会自动启动充气，压强达到$6.5p_0$时停止充气。假设所有过程气体温度不变，已知气罐内气体初始压强为$6.5p_0$，$\left(\frac{400}{401}\right)^{150}\approx0.69$。

（1）当气罐内气体压强降为$4p_0$时气泵启动对气罐充气，当充气结束时，求气泵共向气罐内泵入压强为p_0的空气体积ΔV；

（2）通过计算说明充气结束后能否用气钉枪正常射出150个钉子。



甲



乙

题型三：抽气问题

解题要点：

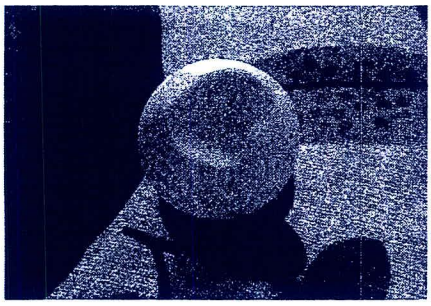
在对容器抽气的过程中，对每一次抽气而言，气体质量发生变化，解决该类变质量问题的方法与充气问题类似：假设把每次抽出的气体包含在气体变化的始末状态中，即用等效法把“变质量”问题转化为“定质量”的问题。

【精选例题】

【例 1】如果不小心把乒乓球打瘪了（如图），只要乒乓球没有破裂、就可以用物理方法恢复。乒乓球完好时内部气压为大气压强 p_0。某次打瘪后体积变为原体积的 $\frac{5}{6}$。若采用 350K 热水浸泡，乒乓球就刚好开始恢复（体积依然是原体积的 $\frac{5}{6}$）。假设浸泡时乒乓球外压强为 p_0，乒乓球导热性能良好，外界环境温度恒为 300K。

(1)求乒乓球刚好开始恢复时，球内、外的压强差；

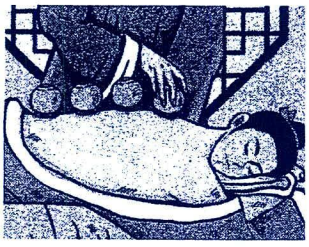
(2)如果将打瘪的乒乓球放入容器内（气体压强为 p_0）密闭，再用抽气机从容器里往外抽气，假设抽气过程气体温度保持不变，求球内、外的压强差达到（1）中的数值时，抽出气体的质量与容器内原有气体质量的比值 k。

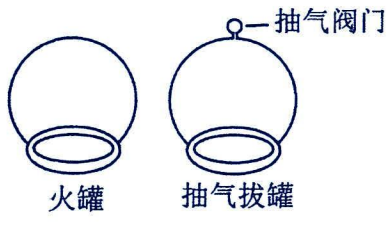


【例 2】中医拔罐的物理原理是利用玻璃罐内外的气压差使罐吸附在人体穴位上，进而治疗某些疾病。常见拔罐有两种，如图所示，左侧为火罐，下端开口；右侧为抽气拔罐，下端开口，上端留有抽气阀门。罐内气体初始压强与外部大气压相同。使用火罐时，先加热罐中气体，然后迅速按到皮肤上，自然降温后火罐内部气压低于外部大气压，使火罐紧紧吸附在皮肤上。抽气拔罐是先把罐体按在皮肤上，再通过抽气降低罐内气体压强。某次使用火罐时，温度为 450K，最终降到 300K，因皮肤凸起，内部气体体积变为罐容积的 $\frac{20}{21}$。若换用抽气拔罐，抽气后罐内剩余气体体积变为罐容积的 $\frac{20}{21}$，罐内气压与火罐降温后的内部气压相同，忽略抽气过程中气体温度的变化。罐内气体均可视为理想气体，外部大气压 $p_0=1\times10^5$ Pa。求：

（1）火罐降温后的内部气压；

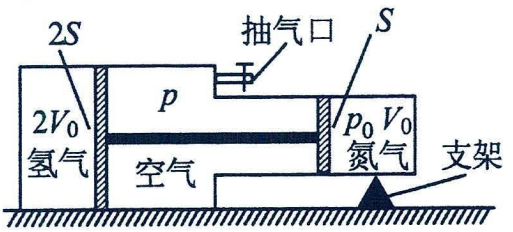
（2）抽气拔罐罐内剩余气体的质量与抽气前罐内气体质量的比值。





【例 3】如图，一容器由横截面积分别为 2S 和 S 的两个汽缸连通而成，容器平放在地面上，汽缸内壁光滑。整个容器被通过刚性杆连接的两活塞分隔成三部分，分别充有氢气、空气和氮气。平衡时，氮气的压强和体积分别为 p_0 和 V_0，氢气的体积为 $2V_0$，空气的压强为 p。现缓慢地将中部的空气全部抽出，抽气过程中氢气和氮气的温度保持不变，活塞没有到达两汽缸的连接处，求：(1)抽气前氢气的压强；

(2)抽气后氢气的压强和体积。



【跟踪训练】

1．负压救护车病员舱室内的负压主要依靠排风机向外界大气主动排风及舱室的密封处理实现，通过负压排风净化装置，空气从上方进入车内，从车下被排出，使舱室与外界大气之间有相对压差，若环境大气压 $P_0=1.0\times10^5$Pa 恒定，舱内温度与车内温度始终保持相同，舱内空气可视为理想气体。

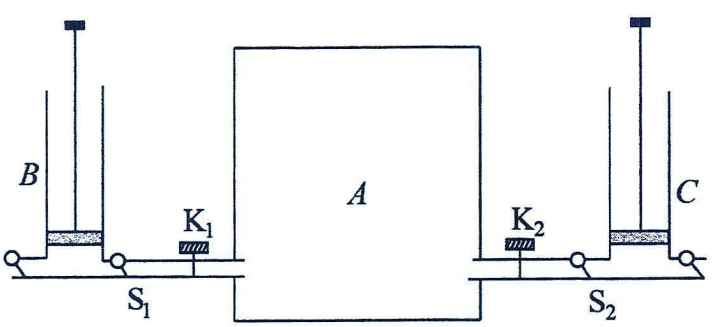
（1）救护车在去接病人途中，没有开启负压排风系统，此时车内气温为27℃，密封舱内压强为环境大气压，若车内温度降至17℃，求密封舱内的压强与环境大气压的比值；

（2）接到病人后，关闭排风净化装置的进气口，打开车下排风系统，使舱内形成-20Pa 的负压（舱内压强小于舱外），该过程车内温度保持不变，求抽出的空气质量占原舱内的空气质量的百分比。

2．如图所示，B 和 C 分别是打气筒和抽气筒（两者内部最大容积均为 ΔV），各自通过带阀门的细管与容积为 $V=10\ dm^3$ 的容器 A 连通，开始时，阀门 K_1 和 K_2 关闭，A 内气体压强等于外界大气压 $p_0=1.0\times10^5$Pa。每次打气时，打气筒可将体积 $\Delta V=500cm^3$、压强等于外界大气压 p_0 的空气打入容器 A 内；每次抽气时，相当于将容器 A 内的气体等温膨胀到体积为（$V+\Delta V$）后，再将抽气筒内的 ΔV 气体排出到大气里。忽略打气和抽气时气体的温度变化和连接管的容积，空气可认为是理想气体。问：

（1）打气时，打开阀门 K_1、关闭阀门 K_2，若要容器 A 中气体压强增大到 4.0×10^5 Pa，应打气多少次？

（2）关闭阀门 K_1、打开阀门 K_2，对容器 A （压强为 4.0×10^5 Pa）抽气，要使 A 内的压强低于 2.0×10^5Pa,，至少抽气多少次？（如有需要， 取 lg2=0.301、 lg10=1、 lg 10.5=1.0211）



题型四：灌气问题

解题要点：

将一个大容器里的气体分装到多个小容器中的问题也是变质量问题，分析这类问题时，可以把大容器中的气体和多个小容器中的气体作为一个整体来进行研究，即可将“变质量”问题转化为“定质量”问题。

【精选例题】

【例 1】西藏海拔 4728 米的色季拉山，可观日出、云海、无际的林海和远眺南迦巴瓦峰峻美的雄姿，是旅游观光的好地方。由于海拔较高，山下景区为游客备有容积为$V=1.5$L 的便携式氧气瓶和容积为 V_0=4.5L 且自带压强计的大氧气瓶。$t=7$℃时某大氧气瓶内的氧气压强 p_0=7atm。假设充气前便携式氧气瓶内均为真空，便携式氧气瓶内充满氧气后的压强均为 p_m=2.5atm。

(1)若在 7℃的环境下，用该大氧气瓶给便携式氧气瓶充氧气，则能充满多少瓶便携式氧气瓶？

(2)若在 27℃的环境下，用该大氧气瓶给 2 瓶便携式氧气瓶充氧气，求便捷式氧气瓶充满后大氧气瓶内的气体压强 p_1 以及剩余氧气质量与原来氧气质量之比。

【例 2】装有氧气的导热大钢瓶容积为 100L，环境温度为 27℃时其内部压强为 30atm。每个小钢瓶容积为 5L，原先装有压强为 1atm 的氧气。现需要用大钢瓶给小钢瓶充气，如图所示，将大、小钢瓶用带有阀门的导管连接，打开阀门后，让氧气缓慢充入小钢瓶中，当小钢瓶中压强为 5atm 时关闭阀门，充好一瓶，如此重复，要求分装后的小钢瓶内部压强均为 5atm，导管体积忽略不计。求：

（1）若分装过程中氧气温度恒为 27°C，分装多少瓶以后大瓶内压强降到 15atm？

（2）若分装前环境温度变为-33°C，小钢瓶内部压强仍为 1atm，忽略温度变化引起的钢瓶容积变化，最多可以分装出多少个满足要求的小钢瓶？



【跟踪训练】

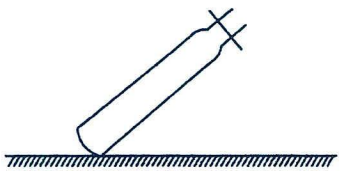
1．将一个大容器里的气体分装到多个小容器中的问题也是变质量问题，分析这类问题时，可以把大容器中的气体和多个小容器中的气体作为一个整体来进行研究，即可将“变质量”问题转化为“定质量”问题。

某容积为 20L 的氧气瓶装有 30atm 的氧气，现把氧气分装到容积为 5L 的小钢瓶中，使每个小钢瓶中氧气的压强为 5atm，若每个小钢瓶中原有氧气压强为 1atm，问能分装多少瓶？（设分装过程中无漏气，且温度不变）

2．新冠疫情期间，武汉市医疗物资紧缺，需要从北方调用大批钢瓶氧气（如图），每个钢瓶内体积为0.5m³，在北方时测得钢瓶内氧气压强为6×10^7Pa，温度为7℃，长途运输到武汉方舱医院检测时测得钢瓶内氧气压强为6.3×10^7Pa，温度为21℃。实际使用过程中，先用小钢瓶（加抽气机）缓慢分装，然后供病人使用，小钢瓶体积为0.1m³，分装后每个小钢瓶内氧气压强为4×10^5Pa，要求大钢瓶内压强降到2×10^5Pa时就停止分装，则：

(1)通过计算判断钢瓶运输途中是否漏气；

(2)一大钢瓶可分装多少小瓶供病人使用。



题型五：漏气问题

解题要点：

容器漏气过程中气体的质量不断发生变化，属于变质量问题，如果选容器内剩余气体和漏掉的气体为研究对象，便可使“变质量”转化成“定质量”问题。

【精选例题】

【例1】今年八九月份，我省大部分地区持续35℃以上高温天气，如果在车内放置液体打火机，它极易受热爆裂。已知某打火机内均为气体（可视为理想气体）且气体质量为m，大气压强为p_0。（答案可用分式表示）

(1)长时间暴晒后，汽车内的温度由35℃上升到70℃，求打火机内气体压强变成原来的多少倍？

(2)当打火机内气体压强增大到$12p_0$时，打火机恰好破裂漏气，求漏气完毕后打火机内剩余气体的质量（不考虑漏气时气体温度的变化）。

【例2】真空旅行壶是户外旅游出行必备的物品，如图所示为某品牌的真空旅行壶，容量为2.0L，开始时旅行壶未装入水，壶盖也未盖，静置一段时间后，壶内空气的温度与外界温度相同，现将壶内迅速装入0.8L的开水，立刻盖上壶盖，封闭起来，静置一小段时间后，水面上方的空气温度达到77℃，外界大气压恒为p_0，室外温度保持27℃不变，设装水、盖壶盖过程中和迅速打开壶盖过程壶内空气的温度不变，壶内空气可看作理想气体，不考虑水蒸发引起的空气体积的变化。求：

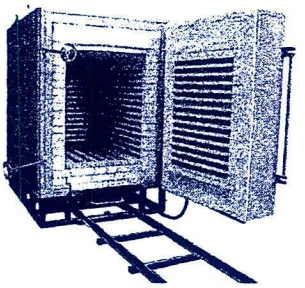
(1)静置一小段时间后，水面上方的空气温度达到77℃时壶内空气的压强p_1；

(2)如果此时迅速打开壶盖，则此时壶内剩余空气的质量与原来装入水后壶内气体质量的比值k。



【例 3】瓷器是“泥琢火烧”的艺术，是古人智慧的结晶。如图所示，气窑是对陶瓷泥坯进行升温烧结的一种设备。某次烧制前，封闭在窑内的气体压强为 p_0，温度为 27℃，当窑内气压达到 $3p_0$ 时，气窑上方的单向排气阀开始排气，之后使气窑内气体压强保持 $3p_0$ 不变，窑内气体温度逐渐升高至 1227℃后保持不变，连续烧制 8~10 小时。则：（1）单向排气阀开始排气时，窑内气体温度为多少开尔文；

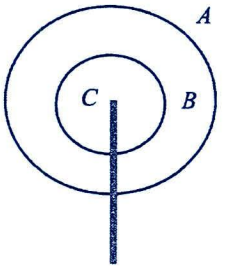
（2）本次烧制排出气体的质量与原来气体质量之比是多少。



【例 4】如图所示是一种球形装饰品，A 为一个半径为 2R 体积不变的透明密封的塑料球壳，B 为一个气球（可看做球形），假设气球内外压强差与其半径的关系为 $\Delta p=\frac{k}{r}$，r 为球的半径，k 为常数（已知），C 为一个可自由关闭的细充气管。起初气球未被吹起，其体积可忽略不计，A 内空气压强为 p_0。已知 A、B 球均导热良好。

(1)现通过 C 向 B 球内充入压强为 p_0 的空气，当 B 球半径为 R 时，求需要充入空气的体积。

(2)满足（1）条件时，因为某种原因 B 气球破裂，求稳定后 A 球内空气的压强。

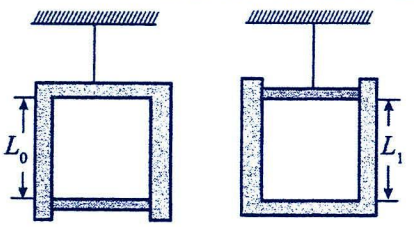


【跟踪训练】

1．今有一质量为 M=0.5kg 的导热性能良好的气缸，用质量为 m=0.2kg 的活塞封着一定质量的理想气体，气缸内空气柱长度为 L_0=10cm。已知大气压强为 $p_0=1.0\times10^5$ pa，活塞的横截面积 $S=1cm^2$，它与气缸之间无摩擦且不漏气，气体温度保持不变。重力加速度 g 取 $10m/s^2$。

(1)当气缸如图甲悬挂在空中保持静止时，试求此时气缸内气体的压强；

(2)将气缸倒置，如图乙悬挂在空中，由于某种原因，发现气缸缸体漏气，填补漏气孔洞，使气缸不再漏气。当装置再次保持静止时，空气柱长度为 L_1=12cm。试计算从甲状态到乙状态过程中，漏出的空气所含空气分子数量占气缸内原有空气分子数量的比值η（用百分比表示）。



图甲　　图乙

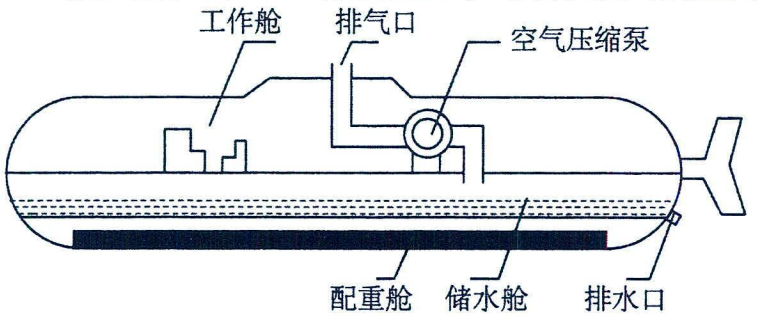
2．工作人员对某种安全气囊进行性能测试，该种安全气囊触发时，可瞬间充满气体。已知该安全气囊充满气体瞬间，气囊的容积为80L，气体的温度为27℃，压强为p_0，密度为1.25kg/m^3。随后工作人员用仪器挤压气囊，使气囊开始排气，当气囊的容积变为60L、气体的温度变为17℃、压强变为$0.8p_0$时，气囊就会被锁定，停止排气。气体可视为理想气体，已知气体的摩尔质量为25g/mol，阿伏加德罗常数$N_A=6.0\times10^{23}\ \text{mol}^{-1}$。求：

（1）充满气体瞬间，气囊内所含有的气体分子个数；

（2）工作人员挤压气囊过程中，排出气体与气囊中剩余气体的质量之比。

3．如图所示为一个体积为V的简易潜艇模型，储水舱的体积为$\frac{2}{5}V$，当储水舱排空后（里面全部为空气，压强为p_0，没有海水），潜艇静止在海面上有$\frac{4}{5}$浸没在海水中。当地大气压强为p_0，海水密度为ρ，重力加速度大小为g，假设各深度处海水温度相同，当潜艇用空气压缩泵缓慢排出储水舱上方的部分气体时，可以吸入一定量的海水，使潜艇恰好全部浸没在海水里并处于静止状态，此时储水舱内气体的压强为$\frac{6}{5}p_0$，求：

（1）潜艇的质量M；（2）潜艇通过空气压缩泵排出的气体质量与原储水舱中气体质量的比值。



3．新学期青春校园篮球赛拉开序幕，某比赛前，比赛用球在体育器材室被打入温度为23℃的空气后，球内压强为1.50atm。比赛开始后，球内的气体温度升高为33℃。但比赛过程中出现小插曲，篮球被打出场外后，被尖锐物体刺穿了一小孔而漏气，更换后将此球置于场边稳定放置后篮球内气体的温度为27℃，压强为1.00atm。若将球内气体视作理想气体，但上述过程中篮球的容积不变，求：

（1）温度升高到33℃时球内气体的压强；（保留两位小数）

（2）篮球漏出的空气质量与漏气前球内空气质量之比。

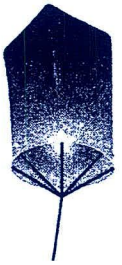
大小（保留两位小数）．

题型六：热气球问题

【精选例题】

【例 1】如图，孔明灯的质量$m=0.2\text{kg}$、体积恒为$V=1\text{m}^3$，空气初温$t_0=27℃$，大气压强$p_0=1.013\times10^5\text{Pa}$，该条件下空气密度$\rho_0=1.2\text{kg/m}^3$。重力加速度$g=10\text{m/s}^2$。对灯内气体缓慢加热，直到灯刚能浮起时，求：

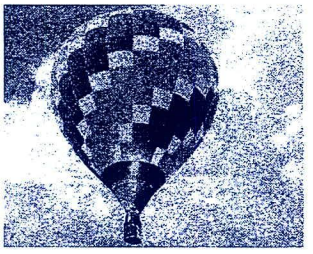
(1)灯内气体密度ρ；(2)灯内气体温度 t。



【例 2】热气球是一个比空气轻，上半部是一个大气球状，下半部是吊篮的飞行器，它是靠加热气球内部空气排除部分气体而获得上升动力的装置，可用于航空体育、摄影、旅游等重要活动。现外界气体温度是 15℃，密度为 1.2kg/m³，气球内、外气压相等，要用容积 1000m³ 的气球吊起 200kg 的重物。则：

（1）应至少减少多少气体的质量？

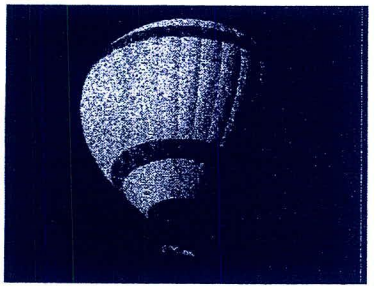
（2）必须把气球内的空气温度加热到多少摄氏度才能达到目的？（取 g=10m/s²）



【跟踪训练】

1．热气球通过携带各种气象仪器上升到不同高度，测量大气的温度、湿度、气压、风速和风向等参数。通过这些数据，气象学家能够更深入地了解大气的垂直结构和变化规律，从而提高天气预报的准确性。如图所示，现有一热气球，球的下端有一小口，使球内外的空气可以流通，以保持球内外压强相等；球内有温度调节器，以便调节球内空气的温度，使气球可以上升或下降。已知气球的总体积V（球壳体积忽略不计），除球内空气外，气球和吊篮的总质量为M，地球表面大气温度T，密度ρ，如果把大气视为理想气体且它的组成和温度几乎不随高度变化，重力加速度为g，热气球的体积不发生变化。当球内气体加热使热气球恰能从地面飘起，求：

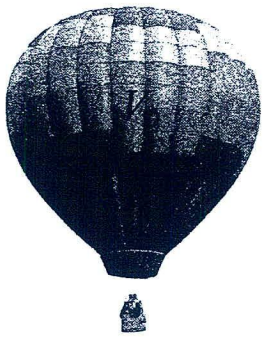
(1)热气球内剩余气体的质量m；(2)热气球内温度T_1。



2．如图有一热气球停在地面，下端开口使球内外的空气可以流通，球内有温度调节器，以便调节球内空气的温度，设气球的总体积 $V_1=400m^3$ 球壳体积忽略不计，除球内空气外，热气球总质量 $M=150kg$．已知地面附近大气的温度 $T_1=300K$，密度 $\rho_1=1.20kg/m^3$，大气可视为理想气体，重力加速度 $g=10m/s^2$．

I.求当气球内温度调节到多少 K 时，气球内剩余气体质量占原来球内气体质量的 80%?

II.当气球内温度调节到 500K 时，判断热气球是否会升起？若不能升起，请说明理由；若能升起，求出上升时加速度



考点四：图像问题

解题要点：

一、解答图像类问题的步骤：

1.根据图像的横、纵坐标判断出气体从一个状态向另一个状态时，p、V、T 三个参量中的两个参量的变化情况。

2.进一步解读图像，判断出第三个参量的变化情况。

①p-V 图像中离 O 点越远的等温线对应的温度越高，可判断温度的变化情况。

②p-V 图像与横轴围成的面积表示理想气体对外界做的功。

③由 p-T 图像上的点与 O 点连线的斜率可判断气体体积的变化情况。

④由 V-T 图像上的点与 O 点连线的斜率可判断气体压强的变化情况。

3.根据热力学第一定律判断△U、W、Q 的变化情况。

(1)△U 的判断方法：①通过温度来判断；②利用公式△U＝Q+W 来判断。

(2)W 的判断方法：根据气体体积的变化。

(3)Q 的判断方法：利用公式△U＝Q+W 来判断。

4.处理气体状态变化的图像问题的技巧

(1)首先应明确图像上的点表示一定质量的理想气体的一个状态，它对应着三个状态量；

图像上的某一条直线段或曲线段表示一定质量的理想气体状态变化的一个过程；

看此过程属于等温、等容还是等压变化，然后用相应规律求解。

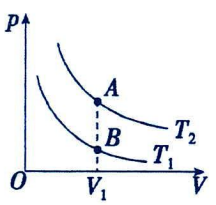
(2)在 V－T 图像(或 p－T 图像)中，比较两个状态的压强(或体积)时，可比较这两个状态到原点连线的斜率的大小，斜率越大，压强(或体积)越小；斜率越小，压强(或体积)越大。

(3)明确图像面积的物理意义：在 p-V 图像中，p-V 图线与 V 轴所围面积表示气体对外界或外界对气体所做的功。

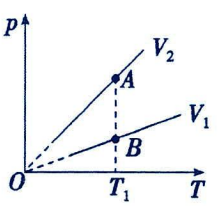
(4)利用垂直于坐标轴的线作辅助线去分析不同温度的两条等温线、不同体积的两条等容线、不同压强的两条等压线的关系。例如：

①在图甲中，V_1 对应虚线为等容线，A、B 分别是虚线与 T_2、T_1 两线的交点，可以认为从 B 状态通过等容升压到 A 状态，温度必然升高，所以 $T_2>T_1$。

②如图乙所示，A、B 两点的温度相等，从 B 状态到 A 状态压强增大，体积一定减小，所以 $V_2<V_1$。

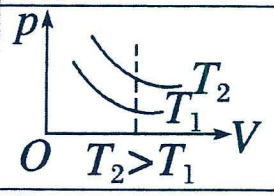
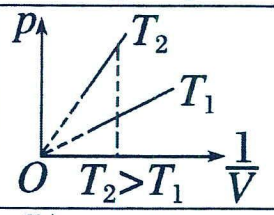
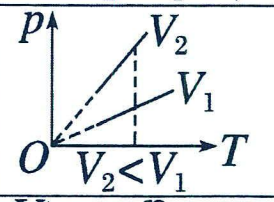
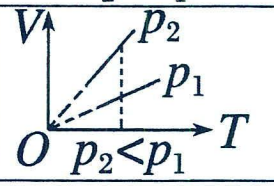


甲



乙

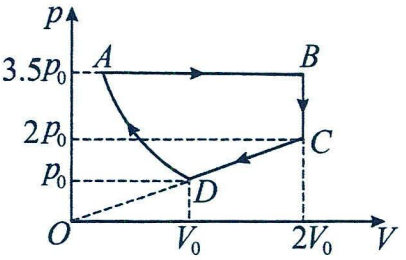
二、四种图像的比较

类别	特点(其中 C 为常量)	举例
p—V	pV=CT，即 pV 之积越大的等温线温度越高，线离原点越远	
$p-\frac{1}{V}$	$p=CT\frac{1}{V}$，斜率 k=CT，即斜率越大，温度越高	
p—T	$p=\frac{C}{V}T$，斜率 $k=\frac{C}{V}$，即斜率越大，体积越小	
V—T	$V=\frac{C}{p}T$，斜率 $k=\frac{C}{p}$，即斜率越大，压强越小	

题型一：P-V 图像

【精选例题】

【例 1】（多选题）一定质量的理想气体经历了 $A\to B\to C\to D\to A$ 过程，$p-V$ 图像如图所示，其中 CD 的延长线经过坐标原点 O，DA 段为双曲线的一支。已知理想气体的内能与热力学温度成正比，下列说法正确的是（　）



A．在 A、B、C 三个状态中，气体分子在状态 C 时的平均动能最大

B．气体在状态 C 的内能是在状态 A 内能的 4 倍

C．在 $A\to B\to C\to D\to A$ 整个过程中，气体对外界做功为零

D．$B\to C$ 过程中，容器壁单位时间单位面积内受到气体分子撞击的次数减少

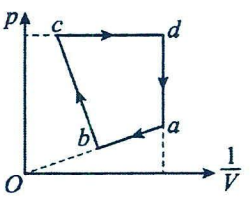
【例 2】一定质量的气体经历一系列状态变化，其 $p-\frac{1}{V}$ 图像如图所示，变化顺序为 $a\to b\to c\to d\to a$，图中 ab 线段延长线过坐标原点，cd 线段与 p 轴垂直，da 线段与 $\frac{1}{V}$ 轴垂直。气体在此状态变化过程中（　　）

A．$a\to b$ 过程，压强减小，温度不变，体积减小

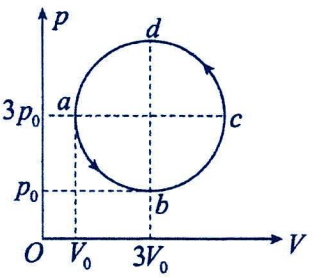
B．$b\to c$ 过程，压强增大，温度降低，体积增大

C．$c\to d$ 过程，压强不变，温度降低，体积减小

D．$d\to a$ 过程，压强减小，温度升高，体积不变



【例 3】（多选题）如图所示为一定质量的理想气体压强 p 随体积 V 变化的图像，则下列说法正确的是（　　）



A．从状态 a 到状态 b，气体温度先降低后升高

B．从状态 d 到状态 a，气体放出热量

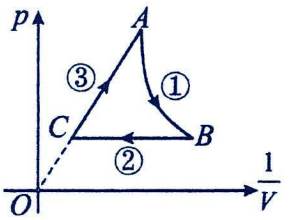
C．在状态 a 时与在状态 b 时相比，气体单位时间内与器壁单位面积碰撞的分子数较少

D．气体在状态 a 时器壁在单位时间内单位面积上受到气体分子的冲量大于在状态 c 时

E．从状态 d 到状态 a 与从状态 c 到状态 d，外界对气体做的功一样多

【跟踪训练】

1．如图所示为一定质量的理想气体的压强随体积变化的 $p-\frac{1}{V}$ 图像，其中 AB 段为双曲线，BC 段与横轴平行，则下列说法正确的是（　）



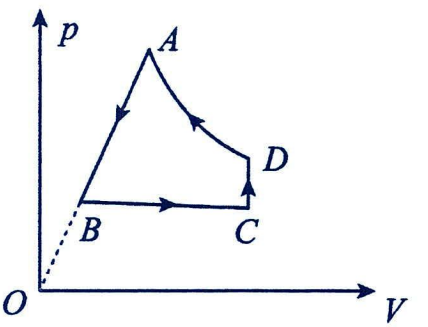
A．过程①气体分子单位时间内对容器壁单位面积的平均作用力增大

B．过程②中气体分子单位时间内对容器壁的碰撞次数减少

C．过程③中气体内能不变，气体从外界吸收热量

D．整个循环过程中，气体对外界做的功大于外界对气体做的功

2．（多选题）一定质量的理想气体从状态 A 开始，经状态 B、C、D 又回到状态 A，变化过程的 p 一 V 图像如图所示，图中 AB 的延长线过坐标原点 O，BC 平行于横轴，CD 平行于纵轴，DA 为双曲线的一部分。下列说法正确的是（　）



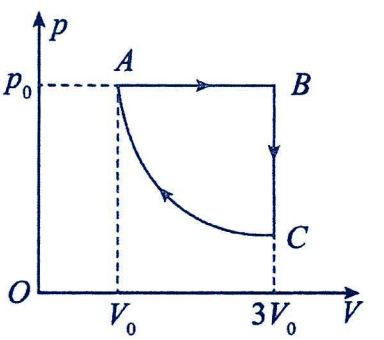
A．A 到 B 的过程是等温变化

B．C 到 D 的过程，气体分子平均动能增大

C．D 到 A 的过程，气体放出的热量等于外界对气体做的功

D．整个循环过程，气体吸收的热量小于放出的热量

3．一定质量的理想气体，由状态 A 经状态 B 和状态 C，又回到状态 A，其压强 p 随体积 V 的变化图像如图所示，图中线段 AB 平行横轴，线段 BC 平行纵轴，曲线 AC 是双曲线的一部分。已知该气体在状态 A 时的温度为 T_0，气体从状态 A 到状态 B 的内能变化为 ΔU_1，从状态 B 到状态 C 的内能变化为 ΔU_2，下列判断正确的是（　　）



A．该气体在状态 B 时的温度为 $\frac{1}{3}T_0$

B．气体从状态 A 到状态 B 吸收的热量为 $|\Delta U_1-2p_0V_0|$

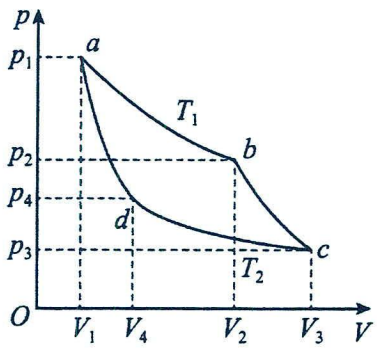
C．气体从状态 B 到状态 C 放出的热量为 $|\Delta U_2|$

D．$|\Delta U_1-2p_0V_0|=|\Delta U_2|$

题型二：P-T 图像——热机循环

【精选例题】

【例 1】（多选题）卡诺循环可用于分析热机的工作过程。一定质量的理想气体经过卡诺循环的 p-V 图像如图所示，这个循环包括四个过程：a→b 为等温变化过程；b→c 为绝热膨胀过程；c→d 为等温变化过程；d→a 为绝热压缩过程。下列说法正确的是（　　）



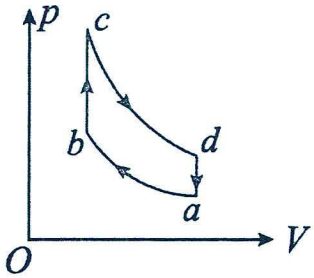
A．a→b 过程中，气体向外界放出热量

B．a 状态的气体分子的平均动能大于 c 状态的

C．经过一个完整的循环过程，气体所做的总功等于 abcd 段曲线所围的面积

D．b→c 过程中，气体分子在单位时间内碰撞单位面积器壁的次数增加

【例 2】（多选题）一定质量的理想气体从状态 a 依次经过状态 b、c 和 d 后再回到状态 a，整个过程由两个等温变化和两个等容变化组成。在 a→b 和 d→a 的过程中，气体放出的热量分别为 5J 和 18J；在 b→c 和 c→d 的过程中，气体吸收的热量分别为 18J 和 15J。下列说法正确的是（　　）



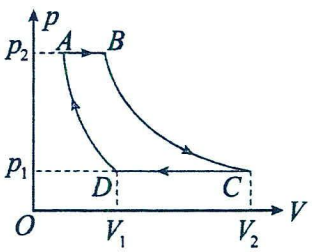
A．状态 c 比状态 a 的温度低

B．c→d 的过程中气体对外做的功为 15J

C．气体完成一次循环对外界做的功为 10J

D．b→c 过程中，单位时间内器壁的单位面积上分子碰撞次数不变

【例 3】燃气轮机及其联合循环是一种先进的发电技术。燃气轮机循环由两个等压变化、两个绝热过程构成，其压强 p 和体积 V 的关系如图所示。如果将工作物质看作理想气体，则下列说法中正确的是（　）



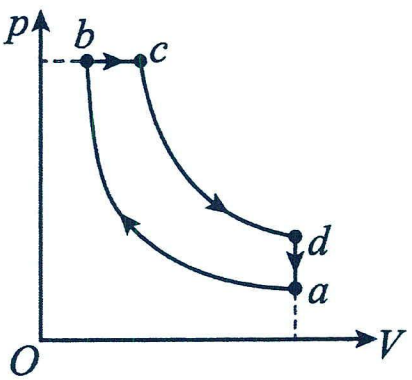
A．$C \to D$ 过程中，气体对外界做功为 $p_1(V_2 - V_1)$

B．$A \to B$ 过程中，气体向外界放出热量

C．$C \to D \to A$ 过程中外界对气体做的功大于 $A \to B \to C$ 过程中气体对外界做的功

D．$A \to B$ 过程中，容器壁单位时间单位面积受到的气体分子撞击次数减少

【例 4】某拖拉机的往复式柴油内燃机利用迪塞尔循环进行工作。该循环由两个绝热过程、一个等压过程和一个等容过程组成。如图所示为一定质量的理想气体所经历的迪塞尔循环，则该气体（　　）



A．在状态 a 和 c 时的内能可能相等

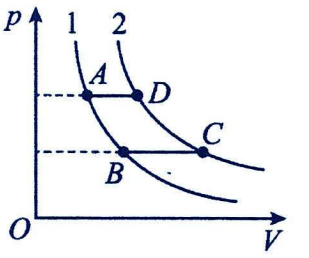
B．在 $a \to b$ 过程中，气体对外界做的功等于增加的内能

C．$b \to c$ 过程中增加的内能小于该过程吸收的热量

D．在一次循环过程中放出的热量大于吸收的热量

【跟踪训练】

1．（多选题）图为一定质量的理想气体发生状态变化的 p-V 图像，1、2 是两条等温线，A、B 是等温线 1 上的两点，C、D 是等温线 2 上的两点，若气体按图线从 A→B→C→D→A 进行状态变化，则下列说法正确的是（　　）



A．等温线 1 对应的气体温度比等温线 2 对应的气体温度低

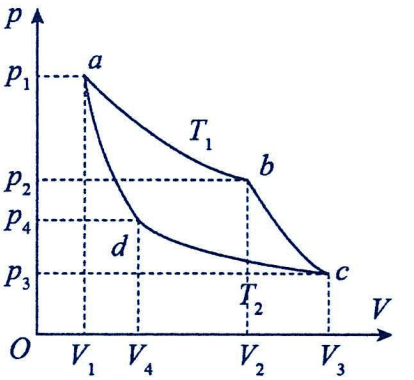
B．气体从状态 A 变化到状态 B，气体一定放出热量

C．气体从状态 B 变化到状态 C，气体的内能增加

D．气体从状态 C 变化到状态 D，气体分子的平均速率不变但密度变大

E．气体从状态 D 变化到状态 A，气体对外界做正功

2．（多选题）卡诺循环是只有两个热源的简单循环。如图所示是卡诺循环的 $P-V$ 图像，卡诺循环包括四个过程：$a\to b$ 等温过程；$b\to c$ 绝热膨胀过程：$c\to d$ 等温过程；$d\to a$ 绝热压缩过程。整个过程中封闭气体可视为理想气体，下列说法正确的是（　　）



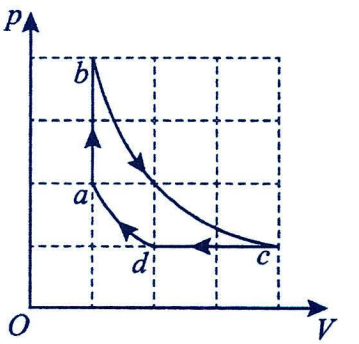
A．$a\to b$ 过程，气体对外界做功

B．$c\to d$ 过程，气体吸收热量

C．$a\to b$ 过程温度为 T_1，$c\to d$ 过程温度为 T_2，则 $T_1<T_2$

D．$b\to c$ 过程气体对外做功为 W_1，$d\to a$ 过程外界对气体做功为 W_2，则 $W_1=W_2$

3．（多选题）如图所示，在一定质量的理想气体压强随体积变化的 $p-V$ 图像中，气体先后经历了 ab、bc、cd、da 四个过程，其中 ab 垂直于 cd，ab 垂直于 V 轴且与 p 轴平行，bc、da 是两条等温线。下列判断正确的是（　）



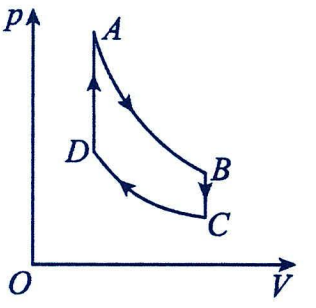
A．从 a→b 的过程，气体分子密集程度不变，分子平均动能增加

B．从 a→b→c 的过程，气体密度不断减小，温度先升高后不变

C．从 c→d 的过程，气体放出的热量大于外界对气体做的功

D．从 a→b→c→d→a 的过程，气体放热大于吸热

4．（多选题）如图所示，在斯特林循环 $p-V$ 图像中，一定质量的理想气体从状态 A 依次经过状态 B、C 和 D 后再回到状态 A。其中，$A\to B$ 和 $C\to D$ 为等温过程，该循环过程中，下列说法正确的是（　　）



A．$A\to B$ 过程中，气体从外界吸收热量

B．$B\to C$ 过程中，气体分子的热运动变得更激烈

C．$C\to D$ 过程中，单位时间内碰撞单位面积器壁的分子数增多

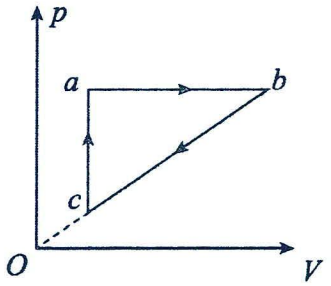
D．在 $A\to B\to C\to D\to A$ 循环过程中，气体吸热等于放热。

题型三：P-T 图像

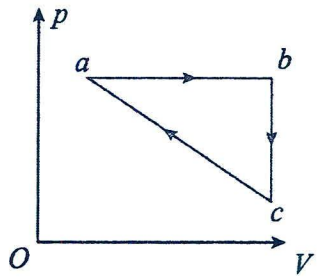
【精选例题】

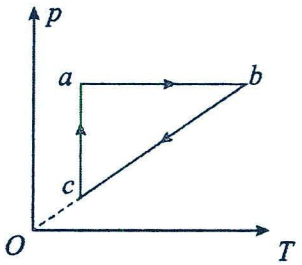
【例 1】一定质量的理想气体经一系列等温、等压或等容过程后回到了初态，该过程中气体的压强 p 随热力学温度 T 变化的规律如下图所示，则下列四幅图像中，能正确描述该过程中气体的压强 p 随其体积 V 变化的规律的是（　　）

A.

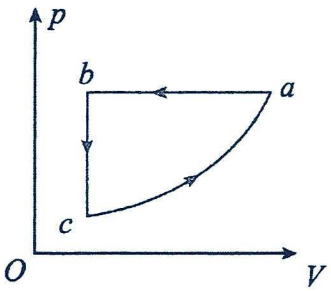


B.

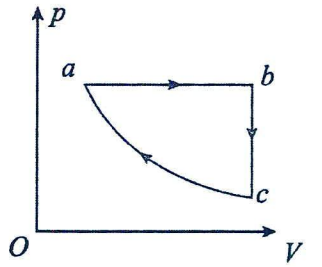




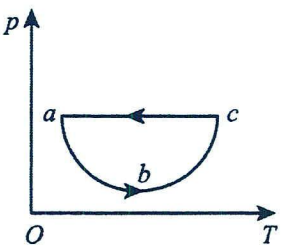
C.



D.



【例 2】一定质量的理想气体从状态 a 经半圆弧 abc，再从状态 c 回到原状态，已知 b 是半圆弧的最低点，直线 ac 平行于 T 轴，其 p—T 图像如图。下列说法错误的是（　　）



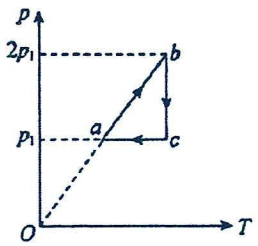
A．在过程 ab 中气体一定吸热

B．在过程 bc 中气体可能吸热

C．在过程 ca 中外界对气体所做的功等于气体所放出的热量

D．在 a、b、c 三个状态中，状态 c 气体内能最大

【例 3】如图所示，一定质量的理想气体从状态 a 开始经 $a\to b$、$b\to c$、$c\to a$ 三个过程回到原状态。已知 ab 延长线过 O 点，气体在状态 a、b 的压强分别为 p_1、$2p_1$，分子平均动能与热力学温度成正比。对于该气体，下列说法正确的是（　　）



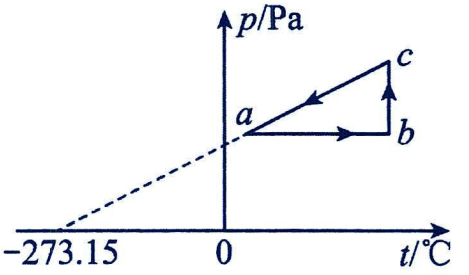
A．与 c 状态相比，气体在 a 状态下体积更大

B．气体在 c 状态下的内能是 a 状态下内能的 2 倍

C．$b\to c$ 过程气体放出热量

D．与 $b\to c$ 过程相比，$c\to a$ 过程中气体做功的绝对值更大

【例 4】一定质量的理想气体按 $a \to b \to c \to a$ 的顺序经历一系列状态变化，其 $p-t$ 图像如图所示。图中 bc 线段与纵轴平行，ab 线段与纵轴垂直。气体在状态变化过程中下列叙述正确的是（　　）



A．$b \to c$ 过程气体不放热也不吸热

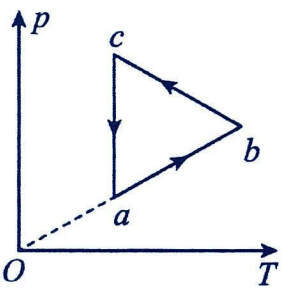
B．$a \to b$ 过程气体分子在单位时间内撞击单位面积容器壁的次数增加

C．$a \to b$ 过程气体对外界做的功等于 $b \to c$ 过程外界对气体做的功

D．$b \to c$ 过程气体体积减小

【跟踪训练】

1．（多选题）一定质量的理想气体在状态 a→状态 b→状态 c→状态 a 的循环过程中，气体的压强 p 随热力学温度 T 变化的关系图像如图所示。已知 ab 的反向延长线过坐标原点，ca 平行于 p 轴，则下列说法正确的是（　　）



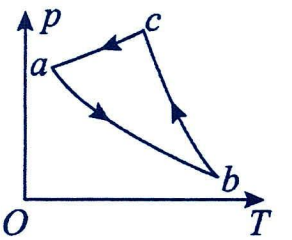
A．气体在状态 c 时的内能最大

B．从状态 a→状态 b，气体分子数密度不变

C．从状态 b→状态 c，气体向外界放热

D．从状态 c→状态 a，气体对外做的功大于气体吸收的热量

2．（多选题）一定质量的理想气体状态变化的 $p-T$ 图像如图所示，由图像可知（　　）



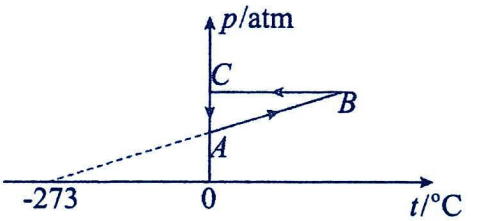
A．气体在 a、b、c 三个状态的密度 $\rho_a < \rho_c < \rho_b$

B．在 $a \to b$ 的过程中，气体的内能增加

C．在 $b \to c$ 的过程中，气体分子的平均动能增大

D．在 $c \to a$ 的过程中，气体对外界放热

3．如图所示为一定质量理想气体状态变化的 p-t 图像。图中 BA 的延长线过（−273℃，0 atm）点，CB 平行于 t 轴，则下列说法正确的是（　　）



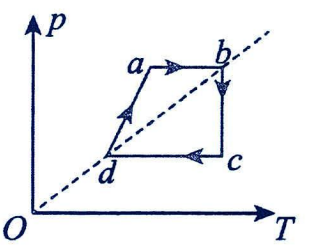
A．气体由状态 A 变为状态 B，气体的体积减小

B．气体由状态 C 变为状态 A，气体体积增大

C．气体在状态 B 时的分子数密度比在状态 C 时的大

D．气体在状态 B 时的分子数密度比在状态 A 时的大

4．一定质量的理想气体从状态 a 开始，经历 abcda 过程回到原状态，其 $p-T$ 图像如图所示，其中 ab、cd 与 T 轴平行，bd 的延长线过原点 O。下列判断正确的是（　　）



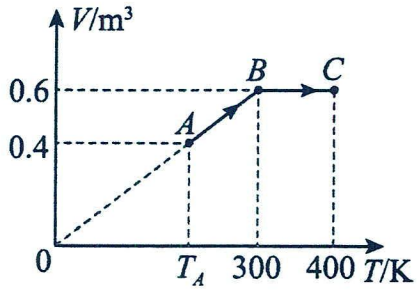
A．在 a、c 两状态，气体的体积相等　　B．在 b、d 两状态，气体的体积相等

C．由 c 状态到 d 状态，气体内能增大　　D．由 d 状态到 a 状态，气体对外做功

题型四：V-T 图像

【精选例题】

【例 1】一定质量的理想气体由状态 A 开始，经过状态 B 后，最终变为状态 C，其 $V-T$ 图像如图所示，各状态参量标注如图。已知状态 A 处的压强 $p=1.0\times10^5\text{Pa}$，关于气体的以上变化过程，下列说法正确的是（　　）



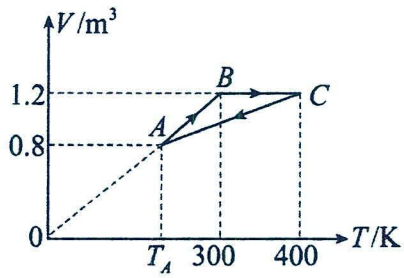
A．图中 T_A 为 200K

B．由 $A\to B$ 的过程中，气体向外界放热

C．气体在经历 $A\to B\to C$ 的过程中，对外做功 $2.0\times10^5\text{J}$

D．由图中坐标可以求出状态 C 处的压强为 $1.5\times10^5\text{Pa}$

【例 2】（多选题）一定质量的理想气体，其内能与热力学温度成正比。该理想气体从状态 A 经一系列变化，最终又回到状态 A，其变化过程的 V-T 图像如图所示，其中 BA 的延长线经过坐标原点，BC 与横轴平行，气体在状态 A 时的内能为 U。则下列说法中正确的是（　　）



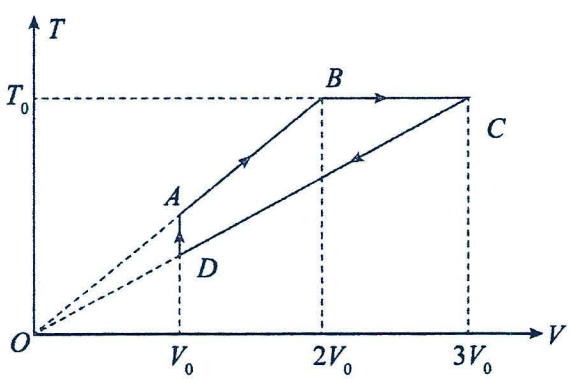
A．气体由状态 A 至状态 B 的过程中，外界对气体做负功

B．气体由状态 B 至状态 C 的过程中，气体对外界做正功

C．气体由状态 A 至状态 B 的过程中，气体吸收的热量大于 $\frac{U}{2}$

D．气体由状态 C 至状态 A 的过程中，气体释放的热量等于 U

【例 3】一定质量的理想气体从状态 A 缓慢经过一系列变化再回到状态 A，其 $T-V$ 图像如图所示。已知 BA 和 CD 的延长线均过原点 O，气体在状态 A 时的压强为 p_0，下列说法正确的是（　）



A．A→B 过程中气体向外界放热

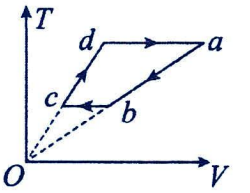
B．B→C 过程中气体从外界吸收的热量等于 $\frac{5p_0V_0}{6}$

C．C→D 过程中气体分子在单位时间内对单位面积容器壁的碰撞次数不断减少

D．D→A 过程中气体的温度升高了 $\frac{T_0}{6}$

【跟踪训练】

1．一定质量的理想气体经历了 a→b→c→d→a 循环过程后回到状态 a，其 T - V 图像如图所示，其中 bc、da 均与 V 轴平行。下列说法正确的是（　　）



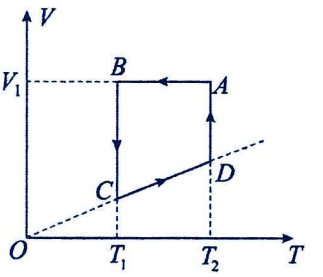
A．a→b 过程气体对外界做功

B．b→c 过程气体压强先增大后减小

C．d→a 过程气体向外界放热

D．c→d 过程单位时间内与容器单位面积碰撞的分子数减少

2．某气缸内封闭有一定质量的理想气体，从状态 A 依次经过状态 B、C 和 D 后再回到状态 A，其 V-T 图像如图所示，则在该循环过程中，则（　）



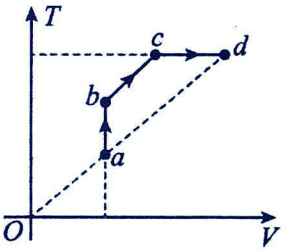
A．从状态 A 到 B，气体吸收热量

B．从状态 C 到 D，气体的压强增大

C．从状态 D 到 A，单位时间内碰撞器壁单位面积的分子数减少

D．若气体从状态 C 到 D，内能增加 3kJ，对外做功 5kJ，则气体向外界放出热量 8kJ

3．（多选题）一定质量的理想气体从状态 a 开始，经历 ab、bc、cd 过程到达状态 d 其热力学温度随体积变化的 T-V 图像如图所示，其中 ab 垂直于横轴，cd 垂直于纵轴，ad 连线的延长线过坐标原点 O，且与 bc 平行。下列判断正确的是（　　）



A．气体在状态 a 的内能小于在状态 b 的内能

B．从状态 b 到状态 c 过程中，气体向外界放热

C．从状态 c 到状态 d 过程中，气体吸收热量等于对外做的功

D．从状态 b 到状态 c 过程中，气体分子的平均动能减小

E．气体在状态 a 的压强小于在状态 c 的压强

第六讲：波粒二象性

考点一：能量量子化

解题要点

1.热辐射：周围的一切物体都在辐射电磁波，这种辐射与物体的温度有关，所以叫热辐射。

2.辐射的电磁波满足 $c=\lambda\nu$。

3.热辐射的特点：热辐射强度与温度有关。温度越高，辐射强度越高；温度越低，辐射强度越低。

4.黑体、黑体辐射的实验规律

(1)引入：检测物体热辐射强度时，实际检测到的辐射强度为物体辐射强度与物体反射环境的辐射强度的叠加强度。为消除环境的干扰因素，因而引入“黑体”的概念。

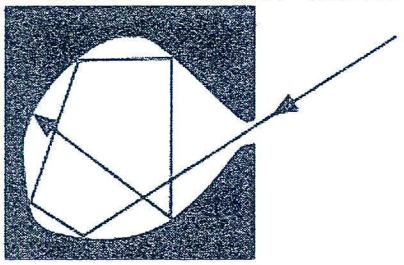
(2)黑体：能够完全吸收入射的各种波长的电磁波而不发生反射的物体。

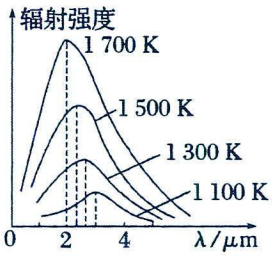
(3)对黑体的理解

①黑体是一个理想化模型，实际并不存在；

②如左图，如果在一个空腔壁上开一个很小的孔，那么射入小孔的电磁波在空腔内表面会发生多次反射和吸收，最终不能从空腔射出，因此小孔不会反射环境的辐射强度，小孔本身可自发地向外辐射电磁波，故把这个带小孔的容腔近似看成一个绝对黑体；

③黑体看上去不一定是黑色的.有些可看作黑体的物体，由于自身有较强的辐射，看起来还会很明亮，如炼钢炉口上的小孔、一些发光体（如太阳、白炽灯丝）也当作黑体来处理。





(4)黑体辐射的实验规律：

①对于一般材料的物体，辐射电磁波的情况除了与温度有关，还与材料的种类及表面状况有关；

②黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与黑体的温度有关。

随着温度的升高，一方面，各种波长的辐射强度都有增加，另一方面，辐射强度的极大值向波长较短的方向移动，如右图。

题型一：黑体与黑体辐射

【精选例题】

【例 1】关于对黑体的认识，下列说法正确的是（　　）

A．黑体是黑色的且其自身辐射电磁波

B．黑体辐射电磁波的强度按波长的分布与材料的种类及表面状况有关

C．黑体辐射电磁波的强度按波长的分布只与温度有关

D．黑体不吸收电磁波，只反射电磁波

【例 2】关于黑体、黑体辐射与能级，下列说法正确的是（　　）

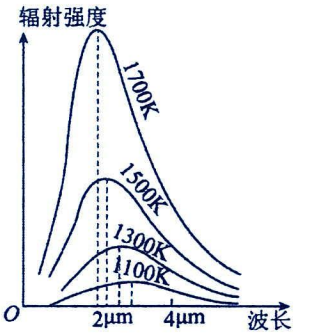
A．黑体反射电磁波的强度按波长的分布只与它的温度有关

B．普朗克引入能量子的概念，得出黑体辐射的强度按波长分布的公式，与实验符合得非常好，并由此开创了物理学的新纪元

C．原子的能量是连续的

D．原子从高能级向低能级跃迁时需吸收能量

【例 3】（多选题）黑体辐射的实验规律如图所示，以下判断正确的是（　　）



A．在同一温度下，波长越短的电磁波辐射强度越大

B．在同一温度下，辐射强度最大的电磁波波长不是最大的，也不是最小的，而是处在最大与最小波长之间

C．温度越高，辐射强度的极大值就越大

D．温度越高，辐射强度的极大值向波长较短的方向移动

【跟踪训练】

1．关于对黑体的认识，下列说法正确的是（　　）

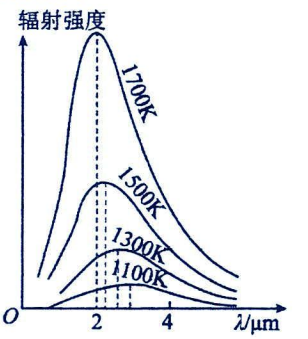
A．黑体只吸收电磁波，不反射电磁波，看上去是黑的

B．科学家在研究黑体辐射的实验规律时发现，随着温度的升高，各种波长的辐射强度都有增加，另一方面，辐射强度的极大值向波长较短的方向移动

C．爱因斯坦的光电效应方程成功地解释了黑体辐射的实验规律

D．黑体辐射电磁波的强度按波长的分布除与温度有关外，还与材料的种类及表面状况有关

2．（多选题）关于黑体辐射的实验规律如图所示，下列说法正确的是（　　）



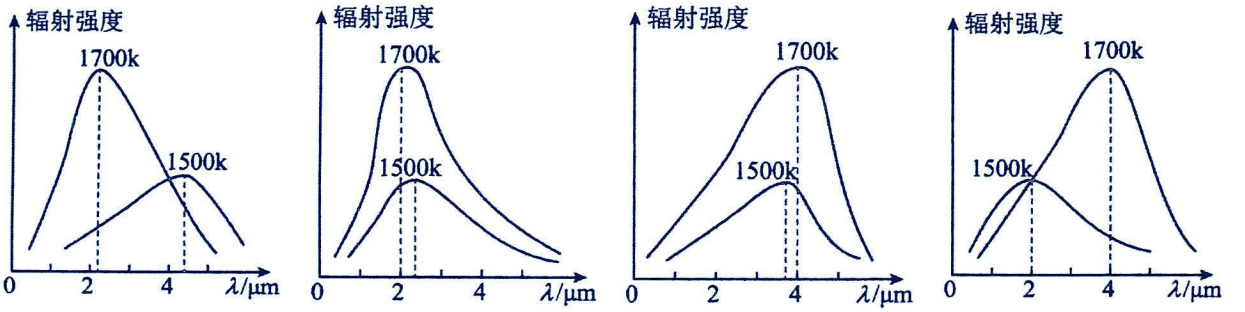
A．黑体能够完全吸收照射到它上面的光波

B．随着温度的降低，各种波长的光辐射强度都有所增加

C．随着温度的升高，辐射强度极大值向波长较长的方向移动

D．黑体辐射的强度只与它的温度有关，与形状和黑体材料无关

3．利用分光技术和热电偶等设备，可以测出黑体辐射电磁波的强度按波长分布的情况，1700K 和 1500K 两种温度下的黑体，其辐射强度按波长分布的情况是（　　）



题型二：能量子

解题要点：

1.能量子

(1)定义：普朗克假设，组成黑体的振动着的带电微粒辐射或吸收能量时，只能辐射或吸收某个最小能量值ε的整数倍，例如，可能是 ε 或 2ε、3ε……，这个不可再分的最小能量值ε叫作能量子；

(2)能量子大小：ε＝hν，其中ν是带电微粒吸收或辐射电磁波的频率，h 称为普朗克常量；

(3)普朗克常量 h＝6.626×10^{-34} J·s(一般取 h＝6.63×10^{-34} J·s)。

(4)对能量量子化的理解

①物体在发射或接收能量的时候，只能从某一状态“飞跃”地过渡到另一状态，而不可能停留在不符合这些能量的任何一个中间状态；

②在宏观尺度内研究物体的运动时，物体的运动是连续的，能量变化也是连续的；在研究微观粒子时必须考虑能量量子化；

③普朗克的能量子学说仅认为带电微粒在吸收或辐射时满足量子化，没有假设能量在传播的过程中也满足量子化。这是与爱因斯坦光子理论的不足之处。

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列概念具有“量子化”特点的是（　）

A．物体的质量　　B．微观粒子的能量　　C．花生米的粒数　　D．物体的动量

【例 2】关于能量量子化，下列说法正确的是（　）

A．微观粒子的能量变化是连续的

B．微观粒子的能量是不连续的，只能是某一最小能量值的整数倍

C．电磁波的波长越长，其能量子越大

D．能量子假说与宏观世界中对能量的认识相矛盾，因而它一定是错误的观点

【跟踪训练】

1．（多选题）1900 年德国物理学家普朗克在研究黑体辐射时提出了一个大胆的假说，即能量子假说，下列说法属于能量子假说内容的是（　　）

A．物质发射（或吸收）能量时，能量不是连续的，而是一份一份进行的

B．能量子假说中将每一份最小能量值，称为“能量子”

C．能量子假说中的能量子的能量$\varepsilon = h\nu$，ν 为带电微粒的振动频率，h 为普朗克常量

D．能量子假说认为能量是连续的，是不可分割的

2．我国在量子计算领域取得了重大成果，构建了一台 76 个光子 100 个模式的量子计算机“九章”，它处理“高斯玻色取样”的速度比目前最快的超级计算机“富岳”快一百万亿倍。下列关于能量子的说法正确的是（　　）

A．能量子假设是由爱因斯坦最早提出来的　　B．能量子表示微观世界的不连续性观念

C．电磁波波长越长，其能量子的能量越大　　D．能量子是类似于原子的微观粒子

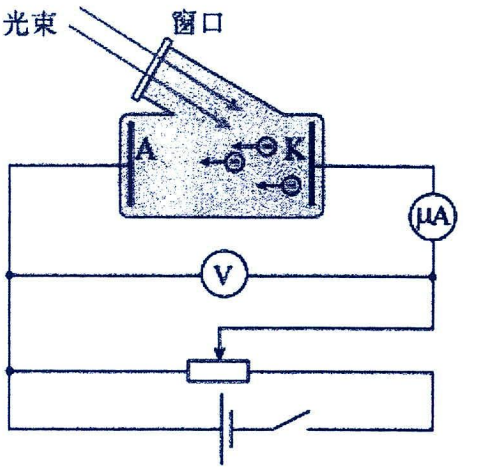
考点二：光电效应

解题要点

1.光电效应

(1)光电效应现象：照射到金属表面的光，能使金属中的电子从表面逸出，这个现象称为光电效应，由赫兹最早发现该现象。

(2)光电效应的产生条件：入射光的频率大于或等于金属的截止频率。



(3)名词解释

①光电子：光电效应现象发生时，从金属表面逸出的电子称为光电子。

②截止频率：能使某种金属发生光电效应的最小频率叫作该种金属的截止频率(又叫极限频率)，用ν_c表示，不同的金属对应着不同的截止频率。

③最大初动能：发生光电效应时，金属表面的电子吸收光子后克服原子核的引力逸出时所具有的动能的最大值。

④光电流：金属板飞出的光电子到达阳极，回路中产生的电流称为光电流。

⑤饱和光电流：用固定光强固定频率的光源照射金属板时，随着所加正向电压的增大，光电流趋于一个饱和值，这个饱和值是饱和光电流。

⑥遏止电压：使光电流减小到 0 的反向电压，用 U_c 表示。

2 光电效应规律：

(1)每种金属都有一个截止频率ν_c，入射光的频率必须大于或等于这个截止频率才能产生光电效应；

(2)光电子的最大初动能与入射光的强度无关，只随入射光频率的增大而增大；

(3)光电效应的发生几乎是瞬时的，一般不超过 10^{-9} s；

(4)当入射光的频率大于或等于截止频率时，在光的颜色不变的情况下，入射光越强，饱和电流越大，逸出的光电子数越多，逸出光电子的数目与入射光的强度成正比，饱和电流的大小与入射光的强度成正比。

3.光电效应的两条分析思路

(1)通过光的强度分析：入射光强度大→光子数目多→发射光电子多→光电流大；

(2)通过频率分析：光子频率高→光子能量大→光电子的最大初动能大。

4.光电效应中应区分的几组概念

(1)光子与光电子：光子不带电；光电子是光电效应发生时发射出来的电子，其本质是电子。

(2)光电子的初动能与光电子的最大初动能：光电子的初动能小于等于光电子的最大初动能。

(3)光电流和饱和光电流：金属板飞出的光电子到达阳极，回路中便产生光电流，随着所加正向电压的增大，光电流趋于一个饱和值，这个饱和值是饱和光电流。在一定的光照条件下，饱和光电流与所加电压大小无关。

(4)入射光强度与光子能量：入射光强度是指单位时间内照射到单位面积上的总能量，与光子的能量和单位时间内光子的数目有关。

5.三点提醒

(1)能否发生光电效应，不取决于光的强度而取决于光的频率。

(2)光电效应中的“光”不是特指可见光，也包括不可见光。

(3)逸出功的大小由金属本身决定，与入射光无关。

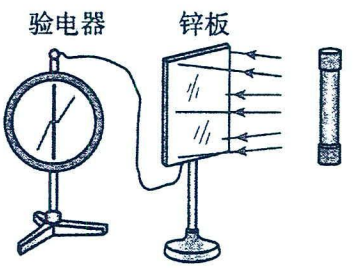
题型一：光电效应实验规律

【精选例题】

【例 1】EUV 光刻机使用极紫外光源，中科大在极紫外光源研究方面取得突破。某光源发出极紫外光频率为 $2\times10^{16}\text{Hz}$。已知普朗克常量为 $6.6\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$。则该光光子的能量为（　　）

A．$2.0\times10^{-18}\text{J}$　　B．$1.32\times10^{-18}\text{J}$　　C．$3.3\times10^{-14}\text{J}$　　D．$1.32\times10^{-17}\text{J}$

【例 2】照射到金属表面的光，能使金属中的电子从表面逸出，这个现象称为光电效应，如图所示。光电效应可在电影、电视、自动控制等方面有着广泛的应用。对于某确定的金属，为使其发生光电效应，下列说法正确的是（　　）



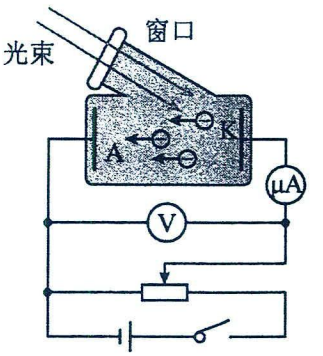
A．只增大入射光的频率，一定可以使其发生光电效应

B．只增大入射光的波长，一定可以使其发生光电效应

C．只增大入射光的强度，一定可以使其发生光电效应

D．只延长照射时间，一定可以使其发生光电效应

【例 3】（多选题）如图所示，这是研究光电效应的电路图，K 和 A 是密封在真空玻璃管中的两个电极。K 极受到紫光照射时能发射电子，下列说法正确的是（　　）



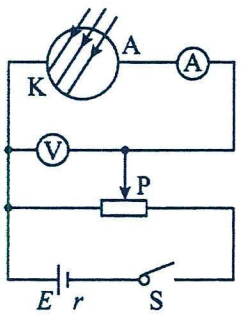
A．若用红外线照射 K 极也一定能发射电子

B．K 极发射的电子在 A、K 间做加速运动

C．通过遏止电压可以计算光电子的最大初动能

D．向左移动滑动变阻器的滑片，电流表示数会变大

【例 4】如图所示为研究光电效应的实验装置，闭合开关，滑片 P 处于滑动变阻器中央位置，当一束单色光照到此装置的金属表面 K 时，电流表有示数，下列说法正确的是（　　）



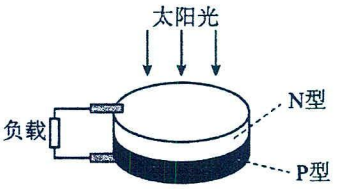
A．若仅增大该单色光入射的强度，则光电子的最大初动能增大，电流表示数也增大

B．增大入射光的频率，金属的逸出功变大

C．保持频率不变，当光强减弱时，发射光电子的时间将明显增加

D．若滑动变阻器滑片左移，则电压表示数减小，电流表示数增大

【例 5】（多选题）通过在半导体材料中进行不同的掺杂，可以形成 P 型半导体和 N 型半导体，将两种半导体组合在一起即形成 PN 结，这是半导体元器件中的基本构造。如图所示，某太阳能电池的主体部分由 P 型半导体和 N 型半导体结合而成。当太阳光照射到该电池上时，材料吸收光子发生光电效应，自由电子向 N 型一侧移动。下列说法正确的是（　　）



A．通过负载的电流方向从下至上

B．太阳光的强度越弱，则通过负载的电流越小

C．太阳光照射的时间越长，通过负载的电流越大

D．改用紫外线照射该材料，则不能发生光电效应

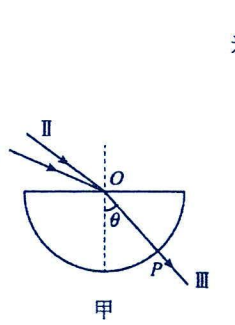
【例 6】（多选题）如图甲所示，单色光I和II从半圆形玻璃砖的圆心 O 入射时，均从玻璃砖圆面上的同一位置 P 点射出。图乙为研究某种金属光电效应的电路图，已知用单色光II照射该实验装置时电流表有示数。下列说法正确的是（　　）

A．单色光I的折射率大于II的折射率

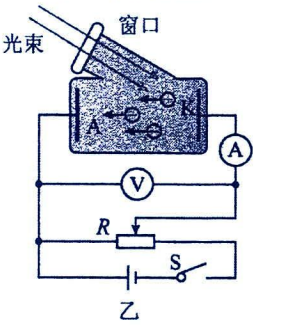
B．在玻璃砖中单色光I的传播速度大于II的传播速度

C．图乙中用单色光I照射时电流表一定无示数

D．在相同条件下做单缝衍射实验，最中间的衍射亮条纹I的比II的窄



甲



乙

【跟踪训练】

1．关于光的量子假说，下列说法正确的是（　　）

A．光子的能量是连续的　　B．光子的能量与光的波长成正比　　C．光子的能量与光的频率成正比

2．（多选题）下列关于光电效应的叙述正确的是（　）

A．光电效应是指照射到金属表面的光能使金属中的电子从表面逸出的现象　　B．光电效应存在截止频率

C．照射光光强太小时不可能发生光电效应　　D．光电效应几乎是瞬时发生的

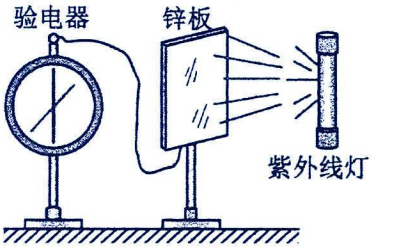
3．如图所示，1887 年德国物理学家赫兹利用紫外线照射锌板后，发现与锌板连接的验电器指针张开。关于这一现象，下列说法中正确的是（　）

A．验电器指针张开，是因为指针带负电

B．验电器指针张开，是因为锌板得到了正电荷

C．紫外线灯功率增大，指针张开越明显

D．若换用红外线灯照射锌板，指针张开明显



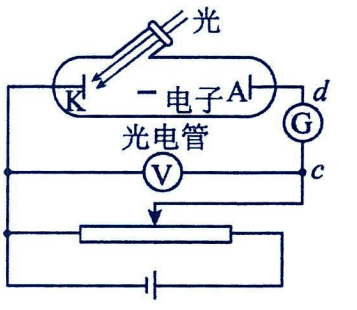
4．用如图所示的光电管研究光电效应的实验中，用某种频率的单色光 a 照射光电管阴极 K，电流计 G 的指针发生偏转。而用另一频率的单色光 b 照射光电管阴极 K 时，电流计 G 的指针不发生偏转，那么（　　）

A．a 光的频率一定小于 b 光的频率

B．只增加 a 光的强度可使通过电流计 G 的电流增大

C．增加 b 光的强度可能使电流计 G 的指针发生偏转

D．用 a 光照射光电管阴极 K 时通过电流计 G 的电流是由 d 到 c



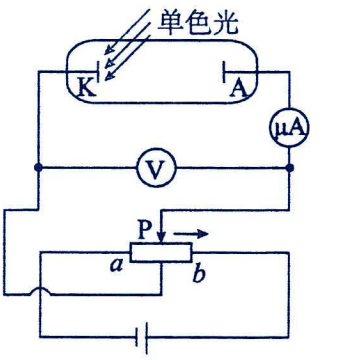
5．如图所示，为光电效应实验电路，关于实验规律，下列说法正确的是（　　）

A．在光照条件一定的情况下，光电流随滑动头 P 向 b 端移动一直增大

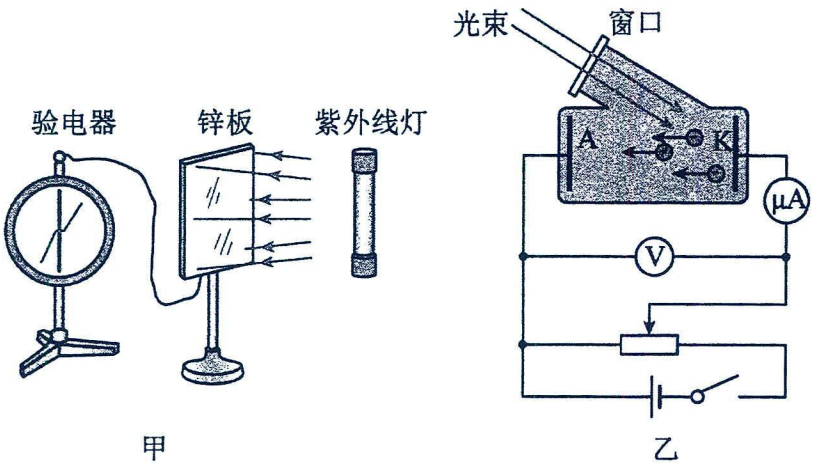
B．无论入射光的频率如何，只要光足够强，就一定能发生光电效应

C．只要入射光的频率足够大，即使不加电压，也会有光电流产生

D．入射光越弱，发生光电效应所需的时间就越长



6．下列有关光电效应的说法错误的是（　　）



甲　　乙

A．爱因斯坦提出了光电效应理论

B．甲图实验中让锌板带负电，光照后，验电器张角会变小

C．乙图中光电子到达 A 板的速度越大，则光电流越大

D．乙图光电流的大小与入射光束的光强有关

题型二：光电效应方程

解题要点

1.光子说：在空间传播的光不是连续的，而是一份一份的，每一份叫作一个光子，光子的能量$\varepsilon=h\nu$。

2.逸出功 W_0：电子从金属中逸出所需外界对它做功的最小值，不同金属的逸出功通常不同。

3.爱因斯坦光电效应方程

(1)光电效应方程：表达式：$h\nu=E_k+W_0$或$E_k=h\nu-W_0$；

(2)物理意义：金属表面的电子吸收一个光子获得的能量是 $h\nu$，这些能量的一部分用来克服金属的逸出功 W_0，剩下的表现为逸出后电子的最大初动能。

4.光电效应中三个重要关系式

(1)爱因斯坦光电效应方程：$E_k=h\nu-W_0$。

(2)光电子的最大初动能 E_k 与遏止电压 U_c 的关系：$E_k=eU_c$。

(3)逸出功 W_0 与极限频率ν_c的关系：$W_0=h\nu_c=h\frac{c}{\lambda_c}$

【精选例题】

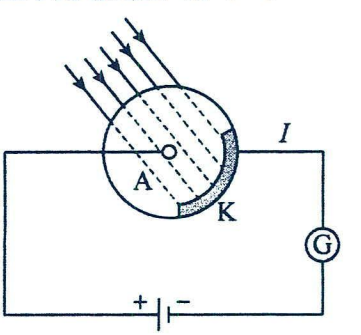
【例 1】如图所示，在光电效应实验中，用频率为ν的光照射光电管阴极，发生了光电效应，则（　）

A．入射光频率ν一定时，增大入射光的强度，光电流不变

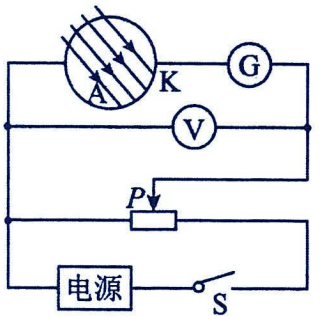
B．入射光频率ν一定时，减小入射光的强度，光电效应现象消失

C．改用频率小于ν的光照射，一定不发生光电效应

D．改用频率大于ν的光照射，光电子的最大初动能变大



【例 2】某同学采用如图所示的实验装置（电源正负极可调换）来研究光电效应现象，当用频率为$\nu=6.0\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$、$1.5\nu$ 的单色光分别照射光电管的阴极 K 时，测得遏止电压U_c之比为 1∶2，则下列说法中正确的是（　　）



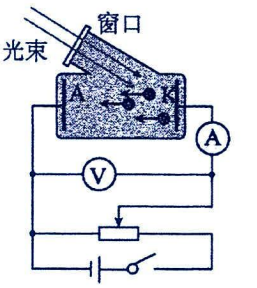
A．应选择电源右端为负极来测遏止电压

B．当电源左端为正极时，滑动变阻器的滑片向右滑动，电流表的示数一定持续增大

C．增大入射光的强度，光电子的最大初动能也一定增大

D．光电管金属的截止频率为$3.0\times10^{14}\,\mathrm{Hz}$

【例 3】用如图所示的装置研究光电效应规律，用能量为12eV 的光子照射光电管的阴极 K，电流表检测到有电流。调节滑动变阻器滑片，当电压表的示数为5.0V 时，电流表的示数恰好为零，已知元电荷$e=1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$，下列说法正确的是（　　）



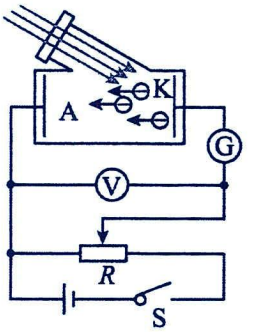
A．光电子的最大初动能为$8.0\times10^{-19}\,\mathrm{J}$

B．光电管的阴极 K 的逸出功为$1.21\times10^{-18}\,\mathrm{J}$

C．若用能量为8eV 的光子照射阴极 K，不会产生光电子

D．电源正负极对调，将滑片调至变阻器右端，此时电流表示数一定为饱和光电流

【例 4】（多选题）一光电管的阴极 K 用截止频率为ν_0的金属制成，把此光电管接入电路，如图所示。闭合开关 S，用频率ν 的紫外线射向阴极 K，电流表有示数。已知普朗克常量为 h，每一个光电子的电荷量为 e，则下列说法正确的是（　）



A．此时发生光电效应，有$\nu_0<\nu$

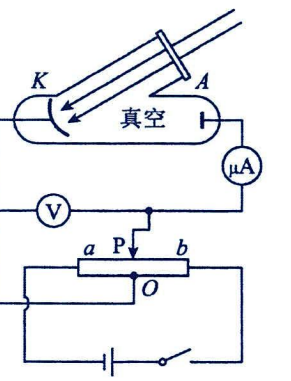
B．逸出的光电子最大初动能为$h\nu$

C．若要电流表示数为零，光电管两极需加电压为$\dfrac{h(\nu-\nu_0)}{e}$

D．入射光的频率增大，电流表的示数一定增大

【跟踪训练】

1．如图所示是研究光电效应的实验装置，滑动变阻器的滑片 P 位于中点 O 位置，某同学先用频率为ν 的光照射光电管，此时电流表中有电流。调节滑片 P 的位置，使电流表示数恰好变为 0，记下此时电压表的示数 U。已知电子电荷量的绝对值为 e，普朗克常量为 h，下列说法正确的是（　）



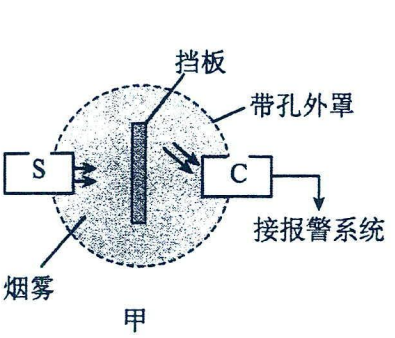
A．电流表示数为零时，滑片 P 位于 O 点右侧

B．光电子的最大初动能为 eU

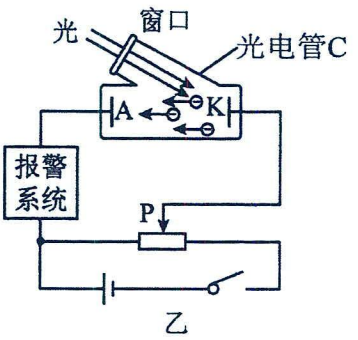
C．光电管阴极 K 材料的逸出功为$h\nu+eU$

D．用频率更大的光照射光电管时，电流表示数一定增大

2．某烟雾报警器结构和原理如图甲和乙所示。光源 S 向外发射某一特定频率的光，发生火情时有烟雾进入报警器内，由于烟雾对光的散射作用，会使部分光进入光电管 C 从而发生光电效应，于是有电流输入报警系统，当电流大于 I_0 就会触发报警系统报警。某次实验中，当滑动变阻器的滑片 P 处于图乙所示位置，烟雾浓度增大到 n 时恰好报警。假设烟雾浓度越大，单位时间内光电管接收到的光子个数越多。已知元电荷为 e，下列说法正确的是（　　）



甲



乙

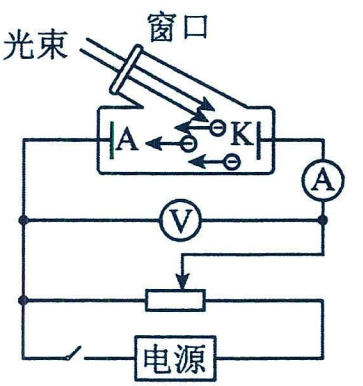
A．光电管内单位时间激发出的光电子数为 $\frac{I_0}{e}$ 时，一定会触发报警

B．将滑片 P 向左移动，当烟雾浓度小于 n 时有可能报警

C．仅提高光源 S 发出光的强度，光电子的最大初动能将增大

D．报警器报警时，将滑片 P 向左移动警报有可能会被解除

3．如图所示为某实验小组研究光电效应现象的实验电路图，照射光的频率 ν 大于光电管阴极 K 的截止频率 ν_0，普朗克常数为 h，闭合电键，调节滑动变阻器滑片，下列说法正确的是（　　）



A．若发现电压表的示数增大，电流表的示数减小，则电源的左侧为正极

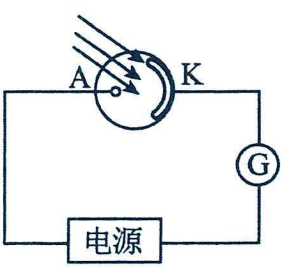
B．欲测量遏止电压来计算光电子的最大初动能，电源左侧应是正极

C．若调节滑动变阻器使电流表的示数刚好为零，此时电压表的示数应等于 $\frac{h\nu_0}{e}$

D．若照射光的频率增大为 2ν，则逸出的光电子最大初动能增大 $h\nu$

4．如图为研究光电效应的装置，当分别利用波长为 2λ、λ的单色光照射锌板时，从锌板表面逸出的光电子的最大初速度之比为 1∶3，电流计的示数均不为零。已知单色光在真空中的传播速度为 c，普朗克常量为 h。则（　　）

A．锌板的极限频率为 $\frac{9c}{16\lambda}$



B．用波长为 2λ的光照射锌板时，电流计的示数较大

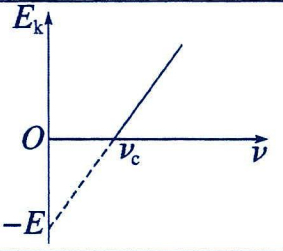
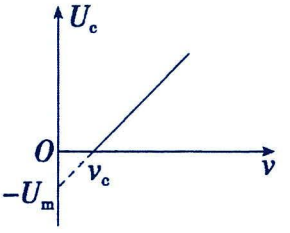
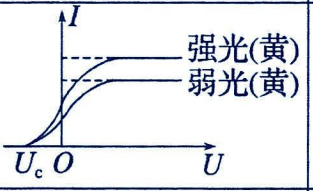
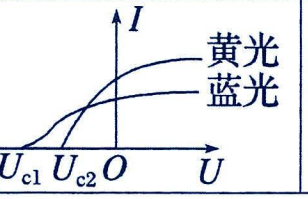
C．用波长为 3λ的单色光照射锌板时，定能从锌板表面逸出光电子

D．用波长为 2λ、λ的单色光分别照射锌板时，二者遏止电压之比为 1∶9

题型三：光电效应图像

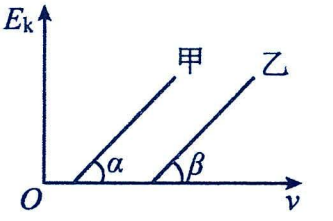
解题要点：

光电效应中的四类图像

图像名称	图线形状	获取信息
最大初动能 E_k 与入射光频率ν的关系		①截止频率ν_c：图线与ν轴交点的横坐标 ②逸出功 W_0： 图线与 E_k 轴交点的纵坐标的绝对值 $W_0=\lvert-E\rvert=E$ ③普朗克常量 h：图线的斜率 $k=h$
遏止电压 U_c 与入射光频率ν的关系		①截止频率ν_c：图线与横轴的交点的横坐标 ②遏止电压 U_c：随入射光频率的增大而增大 ③普朗克常量 h：等于图线的斜率与电子电荷量的乘积，即 $h=ke$(注：此时两极之间接反向电压) ④逸出功：图线与 U_c 轴交点的纵坐标的值的绝对值与电荷量的乘积 $W_0=eU_m$
颜色相同、 强度不同的光， 光电流与电压的关系		①遏止电压 U_c：图线与横轴的交点的横坐标 ②饱和电流：电流的最大值 ③最大初动能：$E_k=eU_c$
颜色不同时， 光电流与电压的关系		①遏止电压 U_{c1}、U_{c2} ②饱和电流 ③最大初动能 $E_{k1}=eU_{c1}$，$E_{k2}=eU_{c2}$

【精选例题】

【例 1】在研究甲、乙两种金属的光电效应现象实验中，光电子的最大初动能 E_k与入射光频率ν的关系如图所示，则下列说法正确的是（　　）



A．甲金属的逸出功大于乙金属的逸出功

B．两条图线与横轴的夹角α和β可能不相等

C．若增大入射光的频率，则所需遏止电压随之增大

D．若增大入射光的强度，但不改变入射光的频率，则光电子的最大初动能将增大

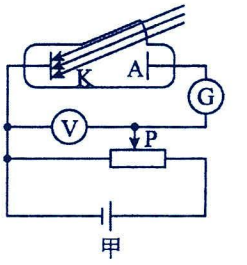
【例 2】如图甲是研究光电效应规律的实验装置图，用绿光照射阴极 K，实验测得电流 I 与电势差U_{AK}满足图乙规律，电子的电荷量约为1.6×10^{-19}C，下列说法正确的是（　　）

A．光电子的最大初动能为0.64eV

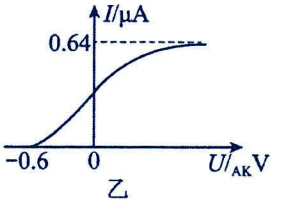
B．每秒钟阴极逸出的光电子个数一定刚好等于4×10^{12}个

C．滑动变阻器划片从图示位置向右滑动，电流计示数可能不变

D．如果改用紫光照射阴极 K，饱和光电流一定变大

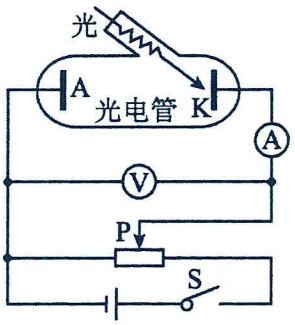


甲

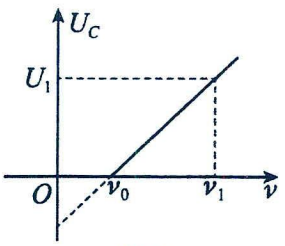


乙

【例 3】某实验小组利用如图（a）所示的电路研究某种金属的遏止电压 U_C 与入射光的频率 ν 的关系，描绘出如图（b）所示的图像。根据光电效应规律，结合图像分析，下列说法正确的是（　　）



图(a)



图(b)

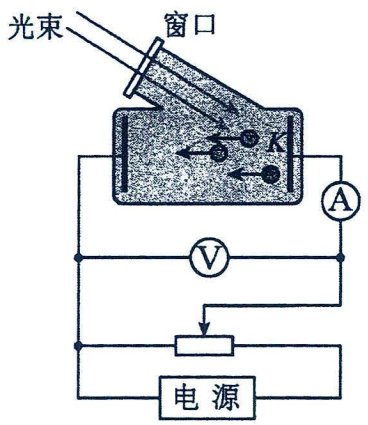
A．滑片 P 向右移动，电流表示数会变大

B．仅增大入射光的强度，则光电子的最大初动能增大

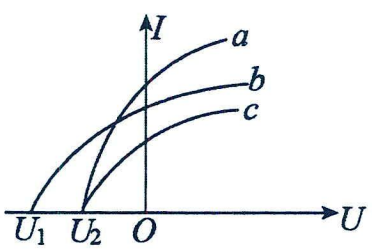
C．由 U_C-ν 图像可得出普朗克常量为 $\frac{eU_1}{\nu_1-\nu_0}$（e 为电子的电荷量）

D．开关 S 断开时，若入射光的频率为 ν_1，则电压表的示数为 U_1

【例 4】图甲为某实验小组探究光电效应规律的实验装置，用 a、b、c 三束单色光分别照射同一光电管，得到光电流与对应电压之间的关系图像如图乙所示，下列判断正确的是（　　）



甲



乙

A．光电管单位时间逸出光电子的个数关系为 $n_a>n_b>n_c$　　B．单色光的频率 $v_a>v_b>v_c$

C．逸出光电子的最大初动能 $E_{ka}>E_{kb}>E_{kc}$　　D．从开始照射到产生光电流的时间 $t_a>t_b>t_c$

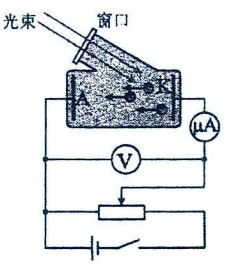
【例 5】如图甲所示，用频率不同的两束光 a、b 分别照射同一光电管的阴极 K，得到的光电流与光电管两端电压的关系如图乙所示。下列说法正确的是（　　）

A．光电管两端电压越大，光电流就越大

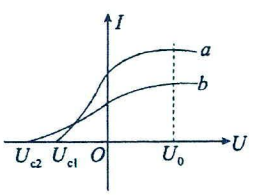
B．a 光的光子动量比 b 光的动量大

C．当电压为图乙中的 U_0 时，a 光照射强度一定大于 b 光照射强度

D．用 a 光、b 光分别照射光电管时，b 光照射时逸出光电子的最大初动能比 a 光照射时逸出光电子的最大初动能大



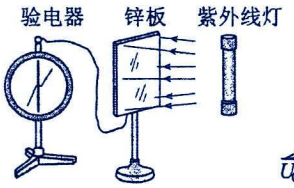
甲



乙

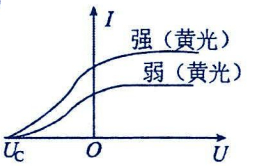
【跟踪训练】

1．与光电效应有关的四个图（图像）如图所示，下列说法正确的是（　　）



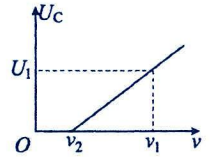
光电效应实验

甲



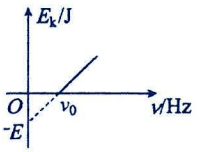
光电流与电压的关系

乙



金属的遏止电压U_C
与入射光频率ν的关系

丙



光电子最大初动能E_k
与入射光频率ν的关系

丁

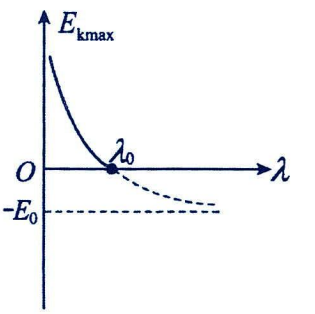
A．根据图甲装置，若开始锌板不带电，用紫外线照射锌板，则验电器的张角变大，验电器带负电

B．根据图乙可知，黄光越强，则饱和电流越大，说明光子的能量与光强有关

C．由图丙可知，ν_1为该金属的截止频率

D．由图丁可知E等于该金属的逸出功

2．在研究光电效应时，用不同波长的光照射某金属，产生光电子的最大初动能E_{kmax}与入射光波长λ的关系如图，$E_{kmax}=-E_0$为图像的渐近线，真空中光速为c，则（　　）



A．该金属的逸出功为$\frac{E_0}{2}$　　B．普朗克常量为$\frac{E_0\lambda_0}{c}$

C．$\lambda=\frac{\lambda_0}{2}$时，光电子的最大初动能为$2E_0$　　D．波长为$2\lambda_0$的光能使该金属发生光电效应

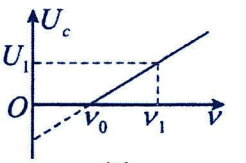
3．某实验小组研究光电效应规律时，用不同频率的光照射同一光电管并记录数据，得到遏止电压与频率的关系图线如图甲所示，当采用绿色强光、绿色弱光、紫色弱光三种光照射同一光电管时，得到的光电流与电压的关系如图乙所示。已知电子的电荷量为e，结合图中数据可知（　　）

A．普朗克常量$h=\frac{eU_1}{\nu_1-\nu_0}$

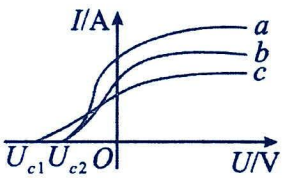
B．光电管的K极材料的逸出功为$\frac{U_1\nu_0}{\nu_1-\nu_0}$

C．a光为紫色弱光

D．c光为绿色强光

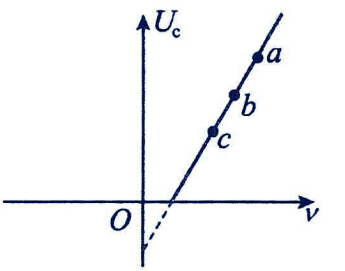


甲



乙

4．用大量氢原子发出的a、b、c三种光测试一新材料光电管，遏止电压U_c与三种光的频率关系如图所示，图像斜率为k，截距为$-d$，电子带电量的大小为e，下列说法正确的是（　　）



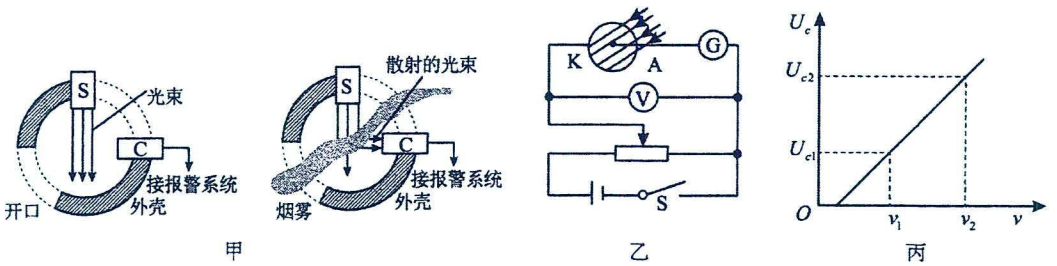
A．三种光子的动量$p_a<p_b<p_c$

B．由图像可知，普朗克常量为$\frac{k}{e}$

C．由图像可知，金属材料的逸出功为ed

D．若a、b、c是大量氢原子从能级$n=3$跃迁到低能级时发出的光，则$\lambda_c=\lambda_a+\lambda_b$

5．图甲为某种光电烟雾探测器装置示意图，光源 S 发出频率为ν_1的光束，当有烟雾进入该探测器时，光束会被烟雾散射进入光电管 C，当光照射到光电管中的金属钠表面时会产生光电子，进而在光电管中形成光电流，当光电流大于某临界值时，便会触发报警系统报警。用如图乙所示的电路（光电管 K 极是金属钠）研究光电效应规律，得到钠的遏止电压U_c与入射光频率ν之间的关系，如图丙所示，元电荷为 e。下列说法不正确的是（　　）



A．由图丙知，普朗克常量$h=\dfrac{e\left(U_{c2}-U_{c1}\right)}{\nu_2-\nu_1}$

B．由图丙知，金属钠的逸出功为$\dfrac{e\left(\nu_1U_{c2}-\nu_2U_{c1}\right)}{\nu_2-\nu_1}$

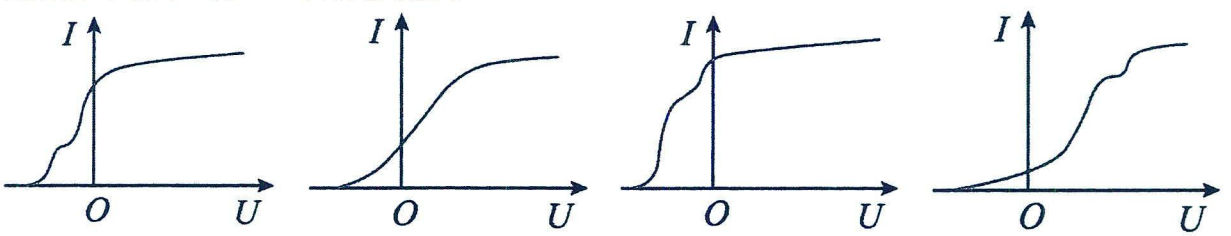
C．图甲中，光源 S 发出的光越强，探测器的灵敏度就越高，光电子的最大初动能就不变

D．图乙中，光电管 K 极使用的金属材料逸出功越大，截止频率越大，探测器的灵敏度就越高

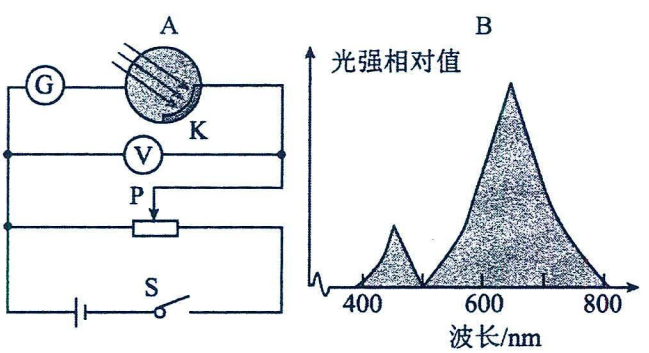
题型四：光电效应综合

【精选例题】

【例 1】瑞瑞在一节大学物理实验课上用光源发出的光照射光电管来测量光电流与所加电压关系。已知光源 L 的光谱如图所示，则$I-U$曲线最可能为（　　）

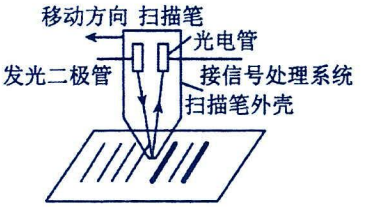


A　　B　　C　　D



【例 2】（多选题）某款条形码扫描笔的工作原理如图，将扫描笔在条形码上匀速移动，发光二极管发出的光遇到黑色线条几乎全部被吸收；遇到白色线条被大量反射到光电管中的金属表面（截止频率ν_0），产生光电流。如果光电流大于某个值，会使信号处理系统导通，将条形码变成一个个脉冲电信号。下列说法正确的是（　　）





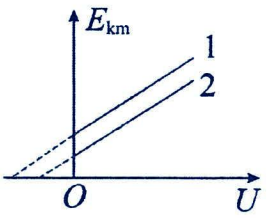
A．若快速移动扫描笔，有可能不产生光电流

B．条形码扫描笔的工作原理说明光是一种具有能量的粒子

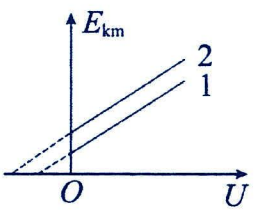
C．若发光二极管发出频率为$1.2\nu_0$的光，则光电子最大初动能为$0.2h\nu_0$

D．若发光二极管发出频率为$0.7\nu_0$的光，则可以通过增加光强，使其正常识别条形码

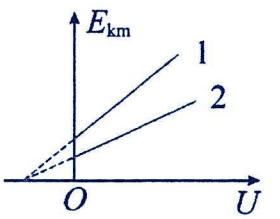
【例 3】如图所示，分别用 1、2 两种材料作 K 极进行光电效应探究，其逸出功的大小关系为$W_1 < W_2$，保持入射光不变，则光电子到达 A 极时动能的最大值 E_{km} 随电压 U 变化关系的图像是（　　）



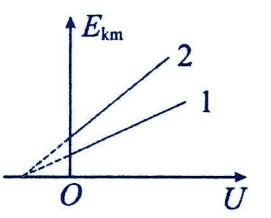
A



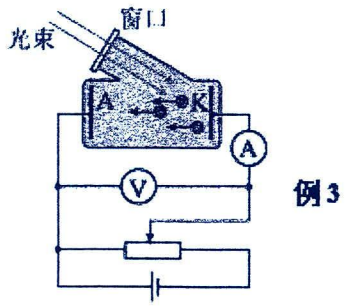
B



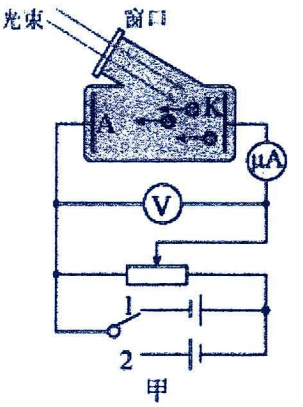
C



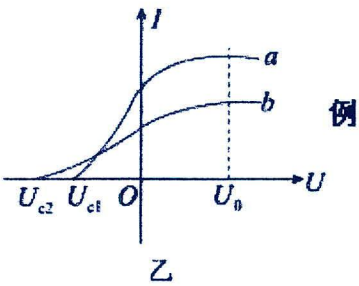
D



例 3



甲



乙

例 4

【例 4】（多选题）光电效应实验电路如图甲所示。用 a、b 两种单色光分别照射光电管的阴极 K，实验中得到的光电流 I 与光电管两端电压 U 的关系如图乙所示。则（　　）

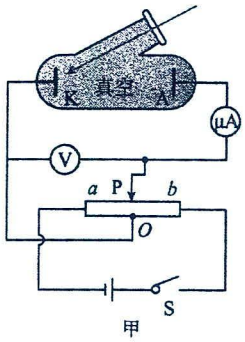
A．研究图乙中 $U<0$ 的规律时甲图开关需打在 1 上

B．用 a 光和 b 光以相同入射角θ（$0°<\theta<90°$）照射同一平行玻璃砖，a 光的侧移量小

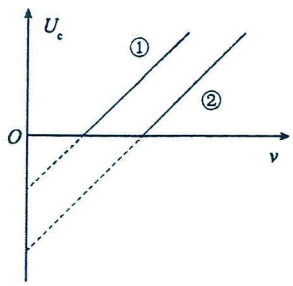
C．电压为图乙中 U_0 时，a 光照射时单位时间到达 A 极的光电子个数比 b 的多

D．若 b 光可以让处于基态的氢原子电离，则 a 光一定也可以

【例 5】（多选题）用如图甲所示电路图进行两次不同的光电效应实验，得到图乙所示$U_c-\nu$图像①、②，其中U_c为遏止电压，ν为入射光频率，则（　）



甲



乙

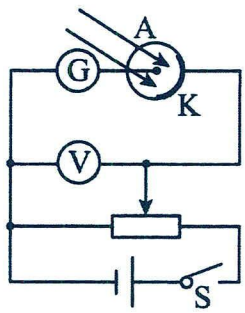
A．测遏止电压时滑动变阻器划片 P 应置于 Ob 之间

B．两次实验相比，①实验中的金属逸出功较②小

C．①②图线的斜率相同，斜率大小表示普朗克常量

D．同一入射光做光电效应实验时，①中的光电子最大初动能较②大

【例 6】某同学采用如图所示的装置来研究光电效应现象。某单色光照射光电管的阴极 K 时，会发生光电效应现象，闭合开关 S，在阳极 A 和阴极 K 之间加反向电压，通过调节滑动变阻器的滑片逐渐增大电压，直到电流计中电流恰为零，此时电压表显示的电压值 U 称为遏止电压。现分别用频率为ν_1和ν_2的单色光照射阴极，测量到的遏止电压分别为 U_1 和 U_2，设电子质量为 m，电荷量为 e，则下列关系式中不正确的是（　）



A．频率为ν_1的单色光照射阴极 K 时光电子的最大初速度 $v_{m1}=\sqrt{\dfrac{2eU_1}{m}}$

B．阴极 K 金属的截止频率$\nu_0=\dfrac{U_2\nu_1-U_1\nu_2}{U_2-U_1}$

C．普朗克常量 $h=\dfrac{e(U_2-U_1)}{\nu_1-\nu_2}$

D．阴极 K 金属的逸出功 $W_0=\dfrac{e(U_1\nu_2-U_2\nu_1)}{\nu_1-\nu_2}$

【跟踪训练】

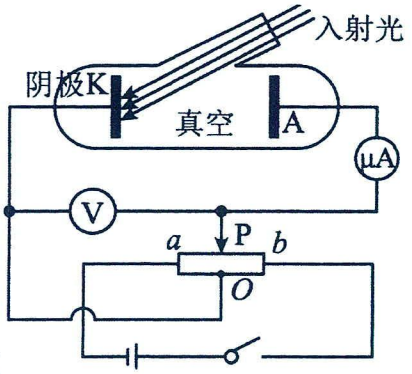
1．1887 年，德国物理学家海因里希·赫兹做实验时观察到了光电效应。后续的科学家利用如图所示的光电效应实验装置，对光电效应进行了系统研究。1905 年，爱因斯坦发表论文《关于光的产生和转化的一个试探性观点》，成功解释了光电效应的成因。如图所示电路中的电表均可视为理想电表，ab 为滑动变阻器，P 为滑片，O 为固定触点。下列选项中正确的是（　）

A．爱因斯坦认为光是由无数个不可分割的能量子组成的

B．将滑片 P 置于 O 点处，使用紫光进行实验时电流表的示数一定比使用蓝光时更大

C．该实验表明，无论何种光照射，只要照射的时间足够长，都能够产生光电流

D．使用蓝光进行实验时，若仅增大光照强度，则需要将滑片 P 进一步向左移动才能够使电流表示数归零



2. （多选题）关于光电效应，下列说法正确的是（　　）

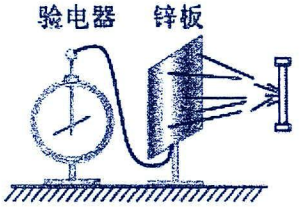


图1

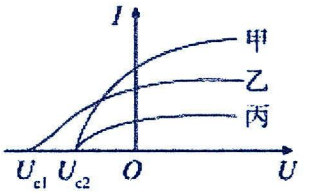


图2

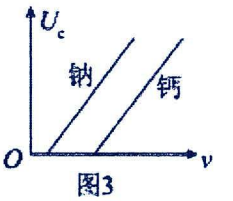


图3

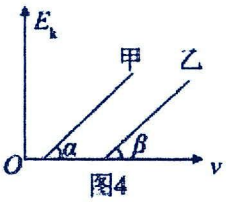


图4

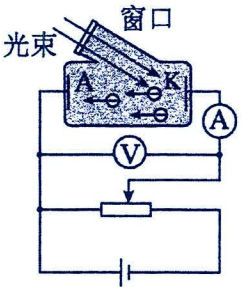
A．在图 1 的光电效应实验中，光电子从锌板逸出，验电器带正电

B．图 2 中光电子的最大初动能 $E_{k甲}=E_{k丙}<E_{k乙}$，三种光的频率关系是 $\nu_{甲}=\nu_{丙}>\nu_{乙}$

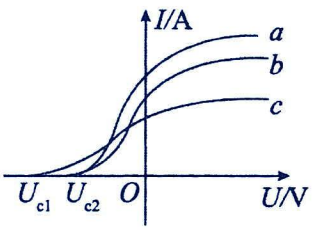
C．由图 3 可知钠的逸出功小于钙的逸出功

D．由图 4 若某一频率的光可以使甲金属发生光电效应，则一定也能使乙金属发生光电效应

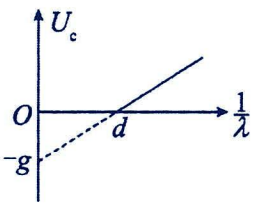
3．（多选题）如图所示，甲图为用光电管演示光电效应的实验装置；乙图为 a、b、c 三种单色光照射下得到的三条电流表与电压表读数之间的关系曲线；图丙为遏止电压与照射光波长倒数的关系图像。已知光在真空中传播速度为 c，电子电荷量大小为 e，则下列说法正确的是（　　）



甲



乙



丙

A．由图乙可知，单色光 a 的光强比单色光 b 的光强小

B．由图乙可知，单色光 a 的频率比单色光 c 的频率高

C．由图丙可知，该光电管阴极材料的逸出功大小为 eg

D．由图丙可知，普朗克常数等于 $\frac{eg}{cd}$

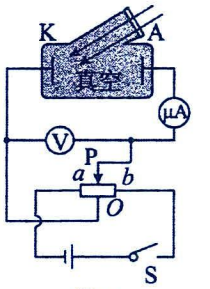
4．（多选题）用 a、b、c 三束光照射图甲中的实验装置，移动滑片 P，电流表示数随电压表示数变化的关系如乙图所示。则（　　）

A．若 P 在 O 点的左侧，三种光照射时电流表均有示数

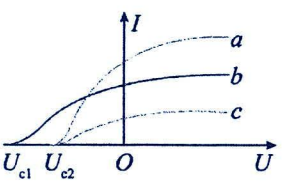
B．若 P 在 O 点的右侧同一位置，a 光照射时电流表示数一定最大

C．用同一装置做双缝干涉实验，b 光产生的条纹间距最小

D．a、b 两束光的光子动量之比为 $U_{c2}:U_{c1}$

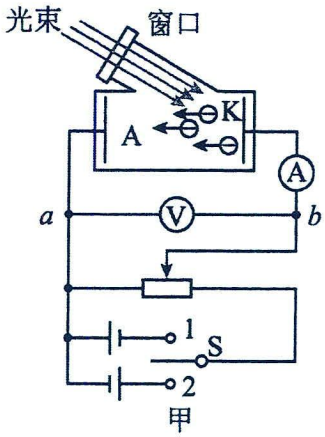


图甲

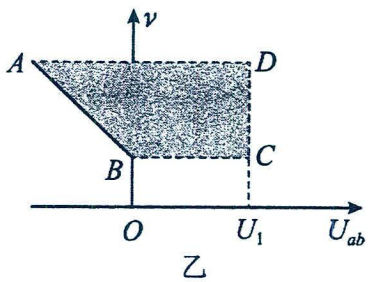


图乙

5. 如图甲为研究光电效应的实验装置，图乙为入射光频率ν与光电管A、K两极电势差U_{ab}的图像，已知电子电荷量为-e，已知直线AB的斜率的绝对值为k，且该直线对应的灵敏电流计的读数恰好均为0直线AD平行于横轴，B点坐标为$(0,\nu_0)$，D点坐标为(U_1,ν_1)，下列说法正确的是（　）



甲



乙

A．普朗克常量等于k

B．D点条件下形成的光电流一定比C点条件下形成的光电流大

C．满足D点条件的光电子到达A极的最大动能为$U_1e+\frac{e}{k}(\nu_1-\nu_0)$

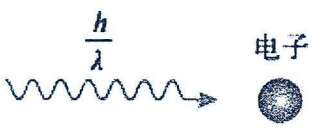
D．在光照强度相同的情况下，沿直线从A到D，灵敏电流计示数一定逐渐变大

考点三：康普顿效应

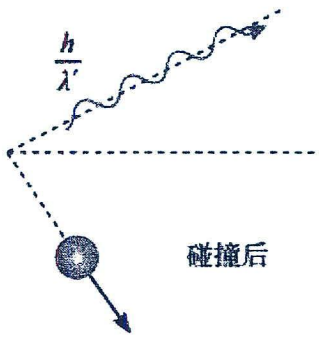
解题要点：

1.引入：美国物理学家康普顿在研究石墨对X射线的散射时，发现在散射的X射线中，除了与入射波长l_0相同的成分外，还有波长大于N_0的成分，这个现象称为康普顿效应。

利用光的经典电磁理论无法合理解释康普顿效应，正如光电效应一样，经典理论再次遇到困难。



碰撞前



碰撞后

康普顿的解释：如图所示，X射线的光子与物质中的电子发生碰撞，由于光子的速度是光速，而物质中的电子速度相对很小，电子可以看作静止，碰撞前后动量和能量都守恒，碰撞后电子的动量和能量增加，光子的动量和能量减小，因此散射后光子的频率要减小，光子的波长变长。

2.康普顿效应的物理意义：光电效应已经说明光具有能量和粒子性;康普顿效应表明光子除了具有能量之外还具有动量，进一步揭示了光的粒子性的一面。

3.光子的动量

光子的能量：$e=h\nu$；　　质能方程：$e=mc^2$；　　电磁波：$c=\lambda\nu$；

故光子的动量：$p=mc=\frac{e}{c}=\frac{h\nu}{c}=\frac{h}{\lambda}$。

结论：由$e=h\nu$与$p=\frac{h}{\lambda}$知，光子的能量与动量具有高度的对称性。

题型一：康普顿效应

【精选例题】

【例 1】关于“康普顿效应”下列说法中错误的是（　　）

A．康普顿效应说明了光具有粒子性

B．康普顿效应说明了光具有波动性

C．康普顿效应不仅证明了光具有能量，还进一步证明了光具有动量

D．康普顿效应实验现象表明光子散射后波长变大

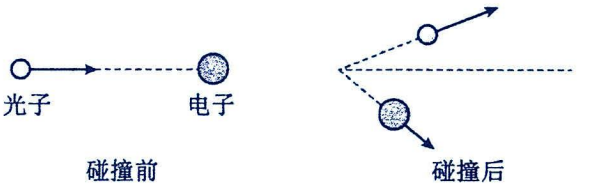
【例 2】物理学家康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时，发现在散射的 X 射线中，部分波长发生改变，这个现象称为康普顿效应，我国物理学家吴有训进一步证实了该效应的普遍性。如图所示，一个光子和一个静止的电子相互碰撞后，电子向某一个方向运动，光子沿另一个方向散射出去，下列说法正确的是（　　）

A．散射光子的速度变小

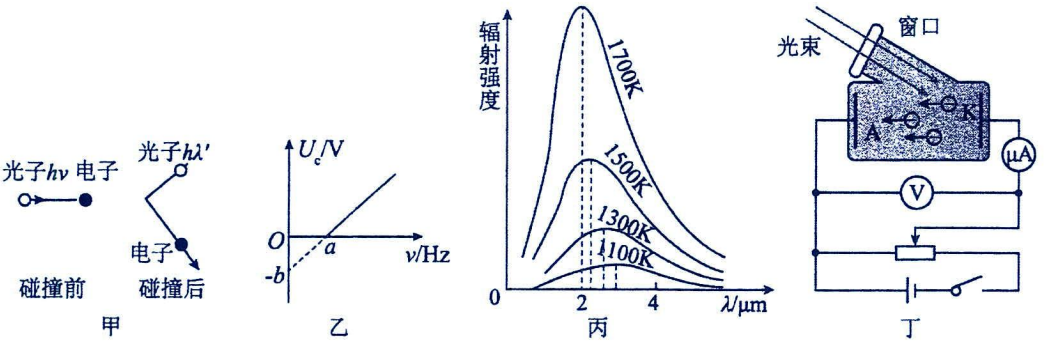
B．散射光子的速度可能变大

C．散射光子的频率变小

D．散射光子的波长变短



【例 3】（多选题）下列说法正确的是（　）



A．　图甲为康普顿效应的示意图，入射光子与静止的电子发生碰撞，碰后散射光的波长变长

B．　如图乙所示为遏止电压 U_C 与入射光的频率 ν 的关系，图中横轴截距为 a，纵轴截距为-b，元电荷为 e，该金属的逸出功为 eb

C．　图丙中随着温度的升高，黑体辐射强度的极大值向频率较低的方向移动

D．　图丁光电效应实验中滑动变阻器的触头向右移动，电流表的示数一定增大

【跟踪训练】

1．（多选题）关于康普顿效应，下列说法正确的是（　　）

A．康普顿效应证明光具有粒子性

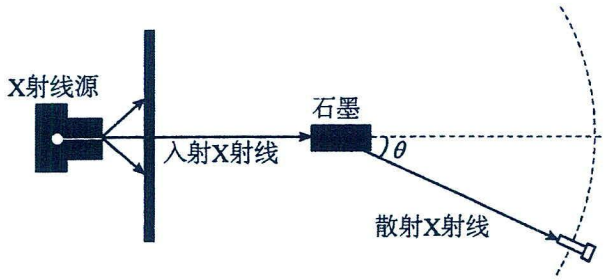
B．康普顿效应可用经典电磁理论进行解释

C．康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时发现，在散射的 X 射线中，有些波长变长了

D．康普顿在研究石墨对 X 射线的散射时发现，在散射的 X 射线中，有些波长变短了

2．如图所示，石墨对X射线散射时，发现散射的X射线的波长比入射的X射线波长大，则散射的X射线比入射的X射线（　　）

A．频率大　　B．能量大　　C．动量小　　D．速度小



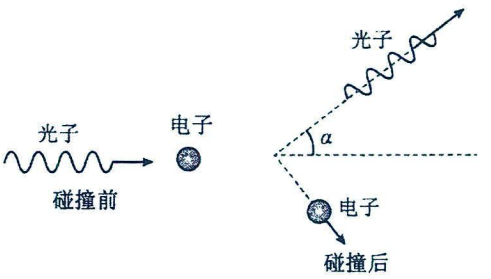
3．（多选题）康普顿在研究石墨对射线的散射时，发现在散射的射线中，除了与入射波长λ_0相同的成分外，还有波长大于λ_0的成分。如图所示，在某次碰撞中，入射光子与静止的无约束自由电子发生弹性碰撞，碰撞后光子的方向与原入射方向成α角，与电子碰后的速度方向恰好垂直，已知普朗克常量为h，光速为c。下列说法正确的是（　　）

A．入射光的光子动量大小为$\frac{\lambda_0}{h}$

B．入射光的光子能量为$\frac{hc}{\lambda_0}$

C．碰撞后电子的动能为$\frac{hc}{\lambda_0}-\frac{hc\cos\alpha}{\lambda_0}$

D．碰撞后光子的动量大小为$\frac{h\sin\alpha}{\lambda_0}$



考点四：光波粒二象性

1.光的波粒二象性

(1)光的干涉、衍射、偏振现象证明光具有波动性；

(2)光子说、光电效应康普顿效应说明光具有粒子性；

(3)光既具有波动性，又具有粒子性，称为光的波粒二象性。

2.对光的波粒二象性的理解

从数量上看	个别光子的作用效果往往表现为粒子性； 大量光子的作用效果往往表现为波动性。
从频率上看	频率越低，波动性越显著，越容易看到光的干涉和衍射现象； 频率越高，粒子性越显著，越不容易看到光的干涉和衍射现象，贯穿本领越强。
从传播与作用上看	光在传播过程中往往表现出波动性； 在与物质发生作用时往往表现出粒子性。
波动性与粒子性的统一	由光子的能量$\varepsilon=h\nu$、光子的动量表达式$p=\frac{h}{\lambda}$也可以看出，光的波动性和粒子性并不矛盾， 表示粒子性的能量和动量的计算式中都含有表示波的特征的物理量——频率ν和波长λ

题型一：光波粒二象性

【精选例题】

【例 1】关于光的本质下列说法正确的是（　）

A．有的光是波，有的光是粒子

B．光的衍射现象说明光具有粒子性

C．在任何情况下，光既具有波动性，又具有粒子性

D．光的波动性和粒子性是相互矛盾的

【例 2】关于光的波粒二象性，下列说法错误的是（　）

A．光的频率越高，光子的能量越大，粒子性越显著

B．光的波长越长，光的能量越小，波动性越显著

C．频率高的光子不具有波动性，波长较长的光子不具有粒子性

D．个别光子产生的效果往往显示粒子性，大量光子产生的效果往往显示波动性

【跟踪训练】

1．关于光的波粒二象性，下列说法正确的是（　　）

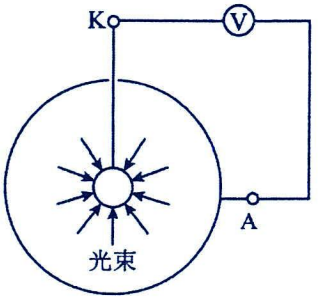
A．康普顿效应揭示了光具有波动性

B．个别光子只有粒子性，大量光子的作用效果才表现为波动性

C．动能相等的电子和质子，电子的动量小，波长也短

D．光电效应揭示了光具有粒子性，光的波长越短，其粒子性越显著

2．（多选题）某种光伏电池的工作原理如图所示。半径为R的透明导电的球壳为阳极 A，球形感光材料为阴极 K，电压表为理想电压表。现用动量为p的黄光照射 K 极，K 极能发射出最大初动能为E_k的光电子。已知电子电荷量为e，光速为c，普朗克常量为h，忽略光电子重力及之间的相互作用。下列说法正确的是（　　）



A．入射光子的波长为$\frac{p}{h}$

B．阴极感光材料的逸出功为$cp-E_k$

C．若仅增大入射光强度，电压表的示数将增大

D．若用紫光照射 K 极，电压表的最大示数将大于$\frac{E_k}{e}$

第七讲：原子结构

考点一：电子的发现

题型一：电子的发现

1.萤光现象：普里克尔在研究稀薄气体放电时发现，当玻璃管内的气体足够稀薄时，阴极就发出一种射线。它能使对着阴极的玻璃管壁发出荧光；戈德斯坦认为这种荧光是由阴极发射的某种射线，称为阴极射线

2.两种观点：一种观点认为，它是一种电磁辐射；另一种观点认为，它是带电微粒。

3.电子的发现：英国物理学家J.J.汤姆孙让阴极射线在电场和磁场中偏转，测出了阴极射线的比荷，随后测出电荷量，粗略证明该粒子电荷量大小与氢离子相同，后来该粒子被称为电子。

4.意义：电子的发现说明原子可以再分，拉开了探究原子的序幕。

【精选例题】

【例1】（多选题）1897年英国物理学家汤姆孙发现了电子。下列关于电子的说法正确的是（　）

A．汤姆孙通过对阴极射线在电场和磁场中的运动得出了阴极射线是带负电的粒子的结论，并求出了阴极射线的比荷

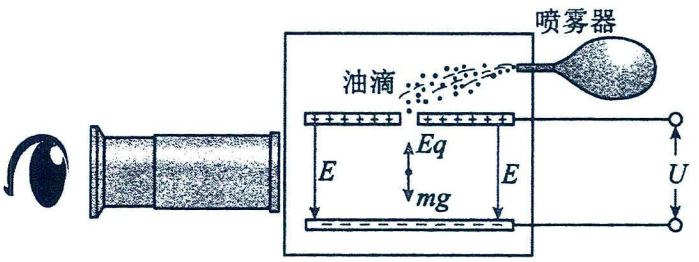
B．汤姆孙通过对光电效应的研究，发现了电子

C．电子质量约是质子质量的1800倍

D．汤姆孙通过对不同材料做成的阴极发出的射线的研究，推断出电子是原子的组成部分

【例2】许多物理学家的科学研究推动了人类文明的进程。

如图是科学史上一个著名的实验，以下说法正确的（　）



A．此实验是库仑测量油滴电荷量的实验

B．此实验是法拉第测量电子电荷量的实验

C．通过此油滴实验直接测定了元电荷的数值

D．通过多次实验测量，发现油滴所带的电荷量虽不相同，但都是某个最小电荷量的整数倍，这个最小电荷量被认为是元电荷

【例3】如图1是一款阴极射线管，K极是圆形金属板电极，A极为圆环状金属电极，对于KA间的电场分布来说，A极可以等效为圆形金属板电极，在KA之间加上如图所示的高压，阴极射线就可以在K极和A极之间运行，如图2是K极和A极之间的部分电场分布，下列阐述正确的是（　　）

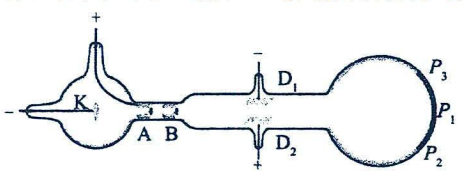


图1

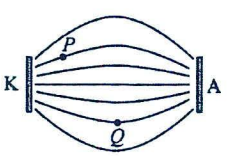


图2

A．阴极射线的本质是α射线　　B．图2中P点电势低于Q点电势

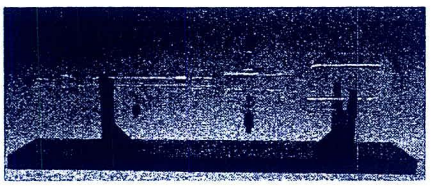
C．如果在图2中P点从静止释放一电子，则电子会沿该处电场线运动到A极

D．从K极静止出发的阴极射线粒子，沿中间直线电场线到达A极电场力做功最多

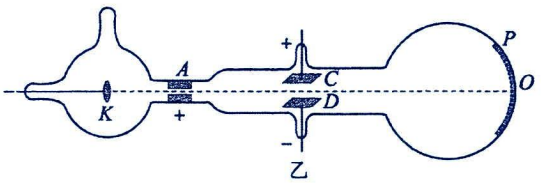
【例 4】1897 年，英国科学家汤姆孙利用阴极射线粒子受到的静电力和洛伦兹力平衡等方法确定出阴极射线粒子的带电性质，速度和比荷，图甲为实验示意图。如图乙，真空玻璃管内，阴极发出的电子经 KA 间的电场加速后，以一定的速度沿玻璃管的中轴线射入两平行极板 C、D。若两极板无电压，电子打在荧光屏上的 O 点；若两极板加上偏转电压 U，电子打在荧光屏上的 P 点；若两极板间再加上垂直纸面方向的匀强磁场，磁感应强度大小为 B，则电子又打到 O 点；若撤去电场只留磁场，电子恰好从极板 C、D 右侧边缘射出。已知两极板间距为 d，长度为 $2d$，设电子的质量为 m、电荷量大小为 q，求：

（1）电子进入两极板时的速度大小 v；

（2）电子比荷 $\left(\frac{q}{m}\right)$ 的表达式。



甲



乙

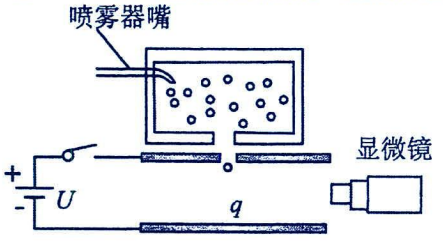
【跟踪训练】

1. J.J.汤姆孙通过对阴极射线的研究，最终发现了电子，由此被称为“电子之父”。关于电子的说法正确的是（　　）

A．电子是构成物质的基本单元　　B．不同的物质中具有不同的电子

C．不同物质中的电子是相同的　　D．电子质量是质子质量的 1836 倍

2．（多选题）如图是密立根油滴实验的示意图。油滴从喷雾器嘴喷出，落到图中的匀强电场中，调节两板间的电压，通过显微镜观察到某一油滴静止在电场中，下列说法正确的是（　　）



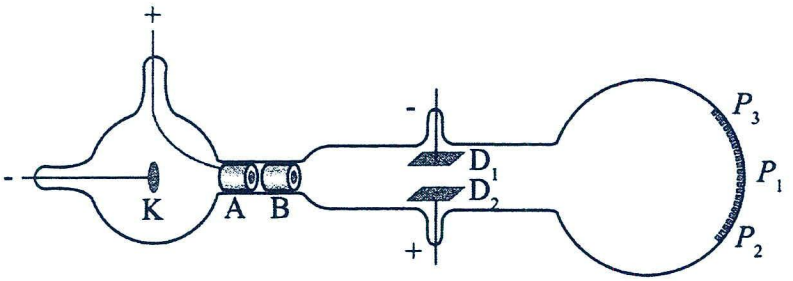
A．油滴带负电

B．油滴质量可通过天平来测量

C．只要测出两板间的距离和电压就能求出油滴所带的电荷量

D．该实验测得油滴所带电荷量等于元电荷的整数倍

3．如图，真空玻璃管内，阴极发出的电子（初速度为零）经 KA 间的电场加速后，以一定的速度沿玻璃管的中轴线射入平行极板 D_1、D_2。若两极板无电压，电子打在荧光屏中心 P_1 点；若两极板加上偏转电压 U，电子打在荧光屏上的 P_2 点；若两极板间再加上垂直纸面方向的有界匀强磁场（磁场只存在于板间区域），磁感应强度大小为 B，则电子又打到 P_1 点；若撤去电场只留磁场，电子恰好从极板 D_1、D_2 右侧边缘射出。已知两极板间距为 d，板长为 $2d$，设电子的质量为 m、电荷量大小为 q，则（　　）



A．电子进入两板间的速度 $v=\sqrt{\dfrac{2cU}{m}}$

B．将 KA 的加速电压和 D_1、D_2 两板间的电压同时加倍，电子还是打在 P_2 点

C．只留磁场，电子恰好从极板右侧边缘射出时速度偏转角的正切值为 $\dfrac{1}{2}$

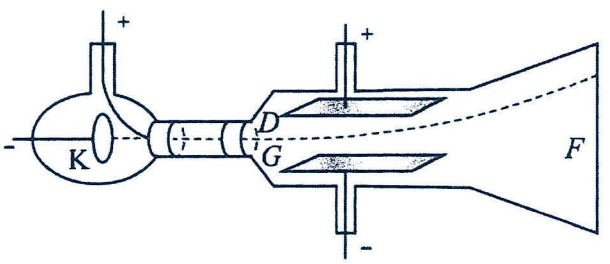
D．电子的比荷 $\dfrac{q}{m}=\dfrac{2U}{17B^2d^2}$

4．在汤姆孙测量阴极射线比荷的实验中，采用了如图所示的阴极射线管，从 K 出来的阴极射线经过电场加速后，水平射入长度为 L 的 D、G 平行板间，接着在荧光屏 F 中心出现荧光斑，若在 D、G 间加上方向向下，场强为 E 的匀强电场，阴极射线将向上偏转；如果在 D、G 电场区再加上一垂直纸面的磁感应强度为 B 的匀强磁场（图中未画），荧光斑恰好回到荧光屏中心，接着再去掉电场，阴极射线向下偏转，偏转角为 θ，试解决下列问题：

（1）说明阴极射线的电性；

（2）说明图中磁场沿什么方向；

（3）根据 L、E、B 和 θ，求出阴极射线的比荷.



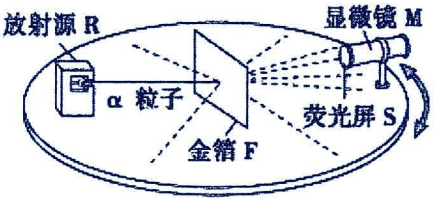
考点二：原子核式结构

解题要点：

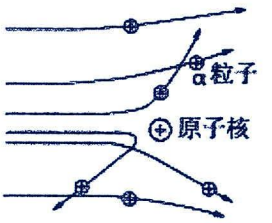
1.枣糕模型：原子是一个球体，正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内，电子镶嵌其中。有人形象地把他的这个模型称为“西瓜模型”或“枣糕模型”，如图甲。



甲



乙



丙

2.原子的核式结构

(1)α粒子散射实验：1909～1911 年，英国物理学家卢瑟福和他的助手进行了用α粒子轰击金箔的实验，如图乙；实验发现绝大多数α粒子穿过金箔后基本上仍沿原来方向前进，但有极少数α粒子发生了大角度偏转，偏转的角度甚至大于 90°，也就是说它们几乎被“撞”了回来，如图丙。卢瑟福在此实验基础上提出了核式结构模型。

(2)α粒子散射估算核半径:对于一般的原子核，实验确定的核半径的数量级为 10^{-15} m，而整个原子半径的数量级是 10^{-10} m，两者相差十万倍之多。可见原子内部是十分“空旷”的。

(3)原子的核式结构模型：在原子中心有一个很小的核，原子全部的正电荷和几乎全部质量都集中在核里，带负电的电子在核外空间绕核旋转。

题型一：原子核式结构

【精选例题】

【例 1】（多选题）以原子的核式结构模型为基础，下列对原子结构的认识，正确的是

A．原子中绝大部分是空的，原子核很小　　B．电子绕核旋转，库仑引力提供向心力

C．原子的全部正电荷都集中在原子核里　　D．原子核的半径的数量级为10^{-10} m

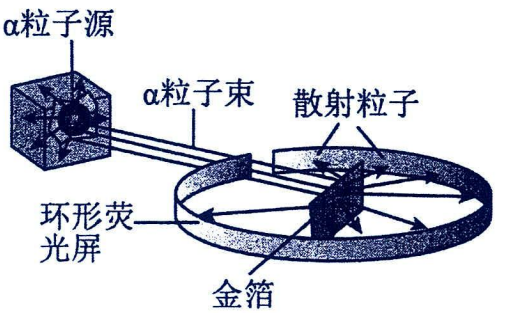
【例 2】卢瑟福的α粒子散射实验装置如图所示，开有小孔的铅盒里面包裹着少量的放射性元素钋。铅能够很好地吸收α粒子使得α粒子只能从小孔射出，形成一束很细的射线射到金箔上，最后打在荧光屏上产生闪烁的光点。下列说法正确的是（　　）

A．α粒子碰撞到了电子会反向弹回

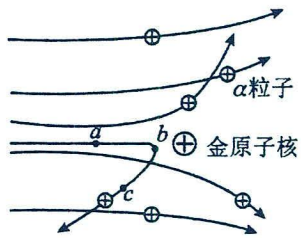
B．绝大多数α粒子发生了大角度偏转

C．该实验为汤姆孙的“枣糕模型”奠定了基础

D．该实验说明原子具有核式结构，正电荷集中在原子核上



【例 3】如图所示，在α粒子散射实验中，图中实线表示α粒子的运动轨迹，假定金原子核位置固定，a、b、c 为某条轨迹上的三个点，其中 a、c 两点距金原子核的距离相等（　）



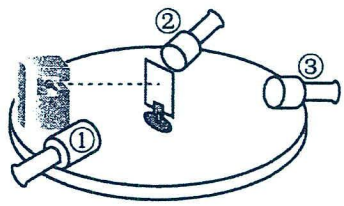
A．卢瑟福根据α粒子散射实验提出了核式结构模型

B．大多数α粒子几乎沿原方向返回

C．从 a 经过 b 运动到 c 的过程中，α粒子的电势能一直增大

D．α粒子经过 a、b 两点时动能相等

【例 4】（多选题）下列有关α粒子散射实验的说法正确的是（　　）



A．在位置③接收到的α粒子最多

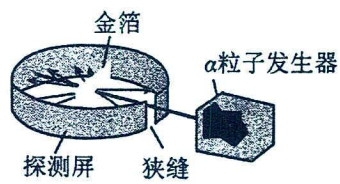
B．正电荷均匀分布在原子内

C．在位置①不能接收到α粒子

D．卢瑟福首先进行了α粒子散射研究

【跟踪训练】

1．α粒子散射实验装置如图所示。通过该实验，我们可以知道（　　）



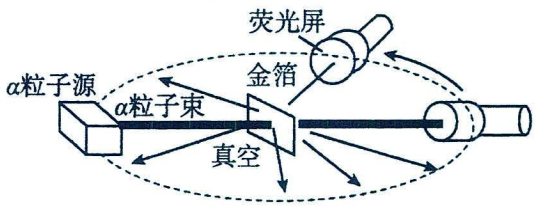
A．该实验证实了汤姆孙的“葡萄干面包模型”是正确的

B．大多数α粒子穿过金箔后，其运动方向受到较大的影响

C．占原子质量绝大部分的带正电的那部分物质集中在很小的空间范围内

D．原子是一个球体，正电荷弥漫性地均匀分布在整个球体内，电子镶嵌在其中

2．如图是 α 粒子散射实验装置的示意图。从 α 粒子源发射的 α 粒子射向金箔，利用观测装置观测发现，绝大多数 α 粒子穿过金箔后，仍沿原来的方向前进，有少数 α 粒子发生了大角度偏转，极少数 α 粒子偏转的角度大于 90°。下列说法正确的是（　）



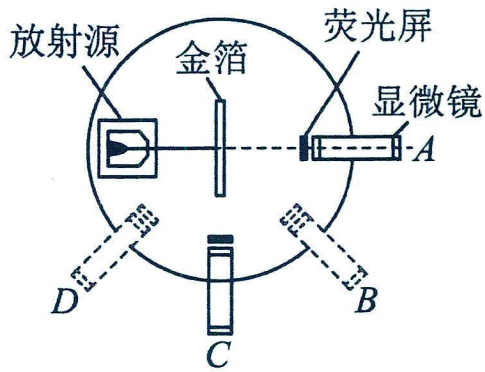
A．α 粒子是从放射性物质中发射出来的快速运动的质子流

B．实验结果说明原子中的正电荷弥漫性地均匀分布在原子内

C．α 粒子发生大角度偏转是金箔中的电子对 α 粒子的作用引起的

D．α 粒子发生大角度偏转是带正电的原子核对 α 粒子的库仑力引起的

3．（多选题）卢瑟福α粒子散射实验的装置示意图如图所示，荧光屏和显微镜一起分别放在图中 A、B、C、D 四个位置时，关于在相同时间（足够长）内观察到的现象，下列说法正确的是（　　）



A．在 A 位置时观察到屏上的闪光最多

B．在 B 位置时屏上能观察到闪光，是因为α粒子发生了衍射

C．在 D 位置时屏上一定不能观察到闪光

D．在 C 位置时观察到屏上的闪光次数比在 D 位置时观察到的多

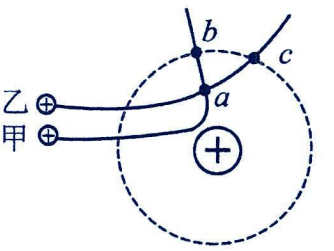
4.（多选题）1909至1911年，英国物理学家卢瑟福和他的合作者用α粒子轰击厚度为微米的金箔，发现少数α粒子发生较大偏转。如图所示，甲、乙两个α粒子从较远处分别以相同的初速度轰击金箔，实线为两个α粒子在某一金原子核附近电场中的运动轨迹，虚线表示以金原子核为圆心的圆，两轨迹与该圆的交点分别为b、c，两轨迹的交点为a。（只考虑一个金原子核与α粒子之间的相互作用力），下列说法正确的是（　　）

A．在金原子核形成的电场中，b、c两点的场强和电势均相同

B．甲乙两个α粒子经过a点时加速度相同

C．甲乙两个α粒子在分别在b、c点的电势能相同

D．α粒子是一种带负电的粒子

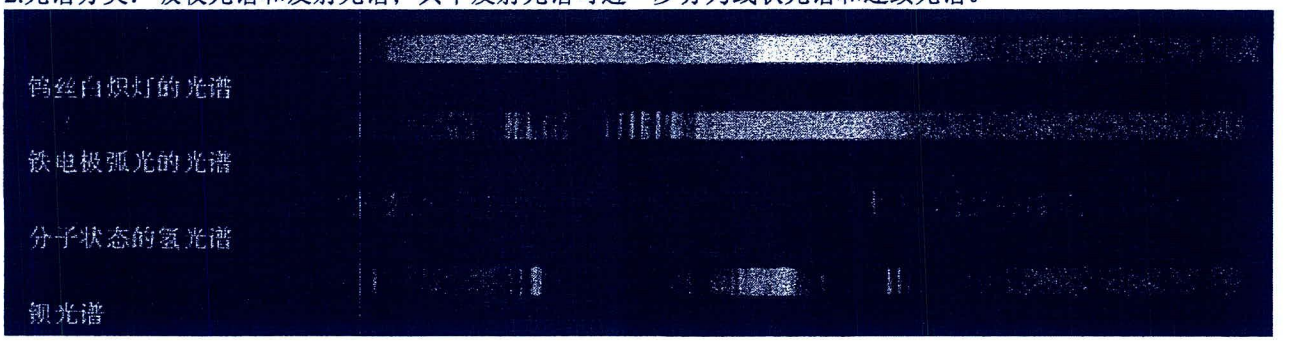


考点三：氢原子光谱

解题要点：

1.光谱：用光栅或棱镜可以把各种颜色的光按波长频率展开，获得光的波长(频率)和强度分布的记录，即光谱。

2.光谱分类：吸收光谱和发射光谱；其中发射光谱可进一步分为线状光谱和连续光谱。



有些光谱是一条条的亮线，叫作谱线，这样的光谱叫作线状谱。

有的光谱看起来不是一条条分立的谱线，而是连在一起的光带，叫作连续谱。

图中最上一条是连续谱，其他几条则既有线状分立谱又有连续谱。

3.气体中中性原子的发光光谱都是线状谱，说明原子只发出几种特定频率的光。不同原子的亮线位置不同，说明不同原子的发光频率是不一样的，因此，这些亮线称为原子的特征谱线。

4.每种原子都有自己的特征谱线，我们就可以利用 它来鉴别物质和确定物质的组成成分。这种方法称为光谱分析。它的优点是灵敏度高，样本中一种元素的含量达到10^{-13}kg 时就可以被检测到。

5.氢原子光谱的实验规律：

在氢原子光谱图中的可见光区内，由右向左，相邻谱线间的距离越来越小，表现出明显的规律性。

巴耳末对氢原子光谱在可见光区的四条谱线进行研究得到了下面的公式，该公式称为巴耳末公式。

$$\frac{1}{\lambda}=R_{\infty}\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)\ (n=3，4，5，\ldots)$$

(1)公式中n只能取整数，不能连续取值，波长也只会是分立的值。

(2)除了巴耳末系，氢原子光谱在红外光和紫外光区的其他谱线也都满足与巴耳末公式类似的关系式。

6.光谱分析：每种原子都有自己的特征谱线，因此可以用光谱来鉴别物质和确定物质的组成成分，且灵敏度很高，在发现和鉴别化学元素上有着重大的意义。

		产生条件	光谱形式	应用
发射光谱	线状谱	稀薄气体发光形成的光谱	一些不连续的亮线组成，不同元素的亮线光谱不同(又叫特征光谱)	可用于光谱分析
	连续谱	炽热的固体、液体和高压气体发光形成的	连续分布，一切波长的光都有	不能用于光谱分析
吸收光谱		炽热的白光通过温度较白光低的气体后，再色散形成的	用分光镜观察时，见到连续光谱背景上出现一些暗线(与特征谱线相对应)	可用于光谱分析

题型一：认识光谱

【精选例题】

【例 1】关于光谱和光谱分析，下列说法错误的是（　　）

A．发射光谱包括连续谱和线状谱

B．太阳光谱是连续谱，氢光谱是线状谱

C．线状谱和吸收光谱都可用作光谱分析

D．光谱分析可以帮助人们发现新元素

【例 2】关于光谱，下列说法正确的是（　）

A．霓虹灯和炼钢炉中炽热铁水产生的光谱都是连续谱

B．明线光谱和暗线光谱都可以用来对物质进行分析

C．太阳光谱中的暗线，说明太阳中缺少与这些暗线相对应的元素

D．发射光谱一定是连续谱

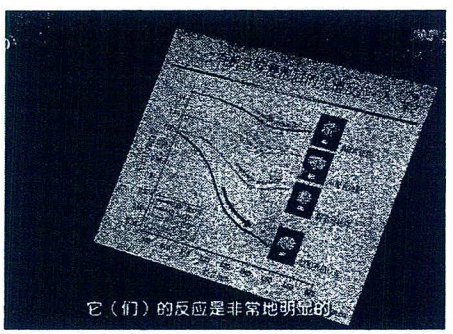
【例 3】高光谱仪能又快又准地鉴别毒豆芽。检测时，将一束光近距离照射在物体上，靠反射回来的光谱信息进行分析判断。下列说法错误的是（　　）

A．每一种物质都有自己独特的光谱特征

B．检测原理：先提取原始物质的光谱信息再通过检测物与光谱库数据的比对分析来完成

C．光谱检测只能检测高温稀薄气体中游离态原子的光谱

D．物质中的原子吸收光的能量跃迁到高能级再回到较低能级时能发出自己独特的光谱



【跟踪训练】

1．有关光谱的说法中正确的是（　　）

A．太阳光谱和白炽灯光谱都是线状谱

B．根据月光的光谱可以分析出月球上有哪些元素

C．高温物体发出的光通过某物质后的光谱上的暗线反映了高温物体的组成成分

D．霓虹灯和煤气灯火焰中燃烧的钠蒸气产生的光谱是线状谱

2．包含各种波长的复合光，被原子吸收了某些波长的光子后，连续光谱中这些波长的位置上便出现了暗线，这样的光谱叫作吸收光谱。传到地球表面的太阳光谱就是吸收光谱（　）

A．太阳光谱中的暗线是太阳大气中的原子吸收光子后产生的

B．太阳光谱中的暗线是地球大气中的原子吸收光子后产生的

C．利用太阳光谱可以分析地球大气中含有哪些元素

D．利用太阳光谱可以分析太阳光中含有哪些元素

3．光谱分析为深入原子世界打开了道路。关于光谱，下列说法正确的是（　　）

A．原子发射连续光谱是因为电子绕原子核运动的变化是连续的

B．玻尔的原子理论能成功的解释各种原子光谱的实验规律

C．原子吸收光谱中的每一条暗线都跟这种原子的发射光谱中的一条亮线相对应

D．进行光谱分析时，可以用连续谱，也可以用线状谱

题型二：氢原子光谱

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列有关氢原子光谱的说法正确的是（　　）

A．氢原子的吸收光谱是连续谱　　B．氢原子光谱说明氢原子只发出特定频率的光

C．氢原子光谱说明氢原子能级是分立的　　D．氢原子光谱线的频率与氢原子能级的能量差无关

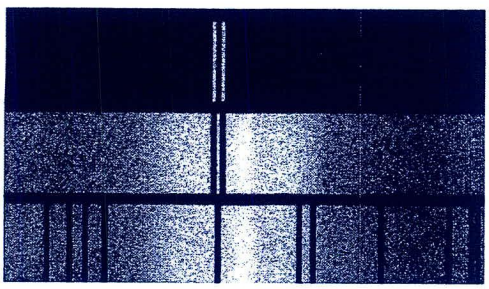
【例 2】如图所示是原子的发射光谱、原子的吸收光谱、太阳光谱图像，下则说法正确的是（　　）

A．大多数原子的发射光谱是线状谱

B．太阳光谱中的暗线表明，太阳中正好不存在这些金属

C．可见光谱有分立特征，不可见光的光谱没有分立特征

D．电子绕原子核运动的轨道是不连续的，所以我们看到了原子光谱的分立特征



【例 3】如图所示，巴尔末由氢原子在可见光区的四条谱线 H_α，H_β，H_γ，H_δ。总结出巴尔末系谱线波长公式：$\frac{1}{\lambda}=R_\infty\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，$n=3$，4，5，6…。其中 $\lambda_{H_\delta}<\lambda_{H_\gamma}<\lambda_{H_\beta}<\lambda_{H_\alpha}$，且 H_α 为红光，H_δ 为紫光，则下列说法正确的是（　　）



A．H_α 对应的是电子从 $n=5$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁所释放光的谱线

B．四条谱线中 H_α 谱线所对应的光子的能量最高

C．大量处于同一能级的氢原子要能够发出这四条谱线，必须使得原子所处的能级 $n\geq 6$

D．若电子从 $n=6$ 能级向 $n=3$ 能级跃迁时能辐射紫外线

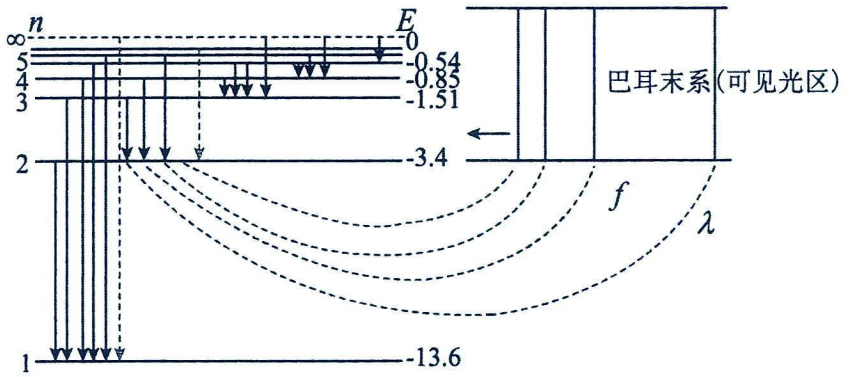
【例 4】如图所示，能级间的跃迁产生不连续的谱线，从不同能级跃迁到某一特定能级就形成一个线系，比如：巴耳末系就是氢原子从 n=3，4，5…能级跃迁到 $n=2$ 的能级时辐射出的光谱，其波长 λ 遵循以下规律：$\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，R 为常数，下列说法正确的是（　　）

A．氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级时辐射出的光子，在巴耳末系中波长最短

B．氢原子从 $n=3$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级，该氢原子放出光子，其核外电子的动能增大

C．用能量为 14.0eV 的光子去照射一群处于基态的氢原子，受照射后，氢原子能跃迁到 $n=4$ 的能级

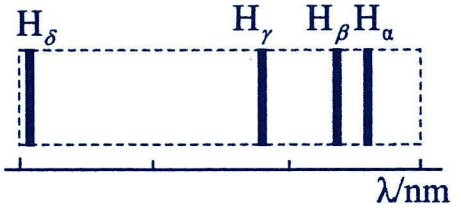
D．用大量电子去撞击一群处于基态的氢原子，使处于基态的氢原子跃迁到 $n=4$ 能级的电子德布罗意波长 $\lambda>\frac{hc}{E_4-E_1}$



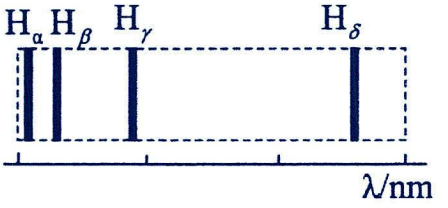
【跟踪训练】

1．1885 年，瑞士科学家巴尔末对当时已知的氢原子在可见光区的 4 条谱线（记作 H_α、H_β、H_γ 和 H_δ）作了分析，发现这些谱线的波长满足一个简单的公式，称为巴尔末公式。这 4 条特征谱线是玻尔理论的实验基础。如图所示，这 4 条特征谱线分别对应氢原子从 $n=3$、4、5、6 能级向 $n=2$ 能级的跃迁，下面 4 幅光谱图中，合理的是（选项图中标尺的刻度均匀分布，刻度尺从左至右增大）（　　）

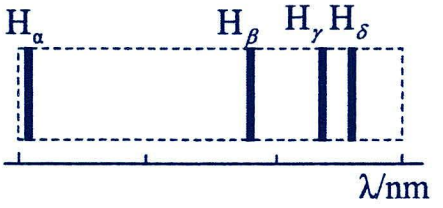
A.



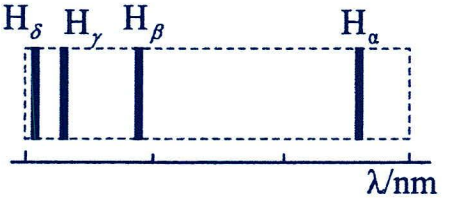
B.

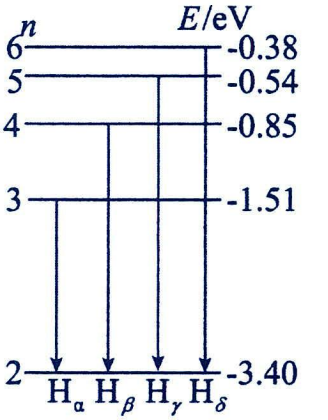


C.



D.





2．氢原子光谱按频率展开的谱线如图所示，此四条谱线满足巴耳末公式 $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$，n=3、4、5、6 用 H_δ 和 H_γ 光进行如下实验研究，则（　　）



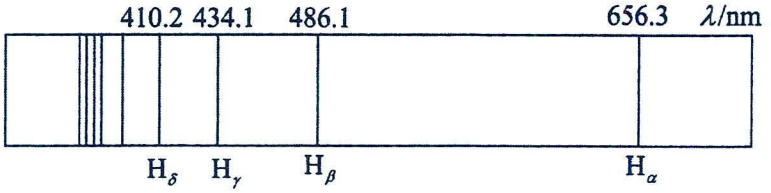
A．照射同一单缝衍射装置，H_δ 光的中央明条纹宽度宽

B．以相同的入射角斜射入同一平行玻璃砖，H_δ 光的侧移量小

C．以相同功率发射的细光束，真空中单位长度上 H_γ 光的平均光子数多

D．相同光强的光分别照射同一光电效应装置，H_γ 光的饱和光电流小

3．如图为氢原子的发射光谱，H_α、H_β、H_γ、H_δ是其中的四条光谱线，已知普朗克常量$h=6.63\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$、真空中光速$c=3\times10^8\text{m/s}$，可见光的波长400nm－700nm之间，则下列说法正确的是（　　）



A．该光谱由氢原子核能级跃迁产生

B．H_α谱线对应光子的能量最大

C．H_γ谱线对应的是可见光中的红光

D．H_β谱线对应光照射逸出功为2.25eV的金属钾，该金属钾可以发生光电效应

4．（多选题）氢原子从高能级向低能级跃迁时，会产生四种频率的可见光，其光谱如图1所示。氢原子从能级6跃迁到能级2产生可见光I，从能级3跃迁到能级2产生可见光II。用同一双缝干涉装置研究两种光的干涉现象，得到如图2和图3所示的干涉条纹。用两种光分别照射如图4所示的实验装置，都能产生光电效应。下列说法正确的是（　　）

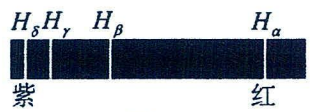


图1


图2


图3

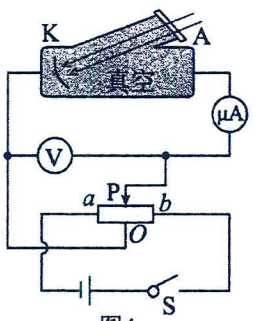


图4

A．图1中的H_α对应的是II

B．图2中的干涉条纹对应的是II

C．I的光子动量大于II的光子动量

D．P向a移动，电流表示数为零时I对应的电压表示数比II的大

考点四：玻尔原子模型

解题要点：

1.玻尔原子理论

(1)轨道量子化假设：原子不同的能量状态与电子绕核运动的不同轨道相对应；原子的能量是不连续的特定值，电子的轨道也是不连续的；原子这些量子化的能量值称为能级。

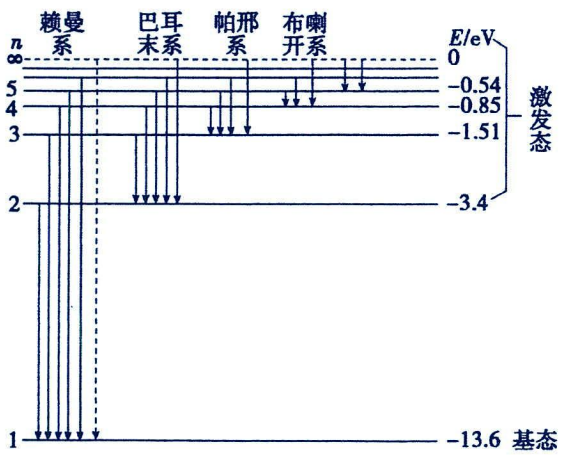
(2)定态假设：当电子在不同轨道上运动时，原子处于不同的状态，具有不同的能量，即原子的能量是量子化的。这些确定能量的稳定状态称为定态，在这些能量状态中，原子是稳定的，不向外辐射能量。

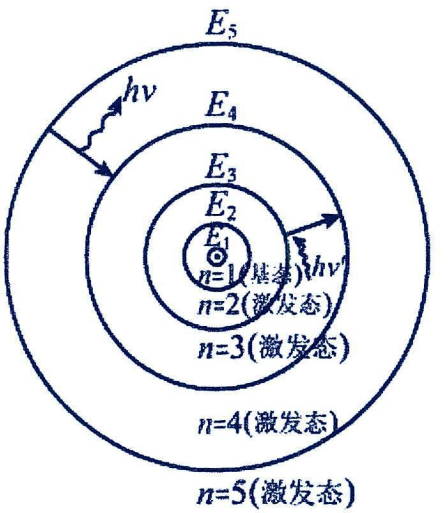
(3)频率条件

当电子从能量较高的定态轨道(能量记为 E_n)跃迁到能量较低的定态轨道(能量记为 E_m，$m<n$)时，会放出能量为 $h\nu$的光子(h 是普朗克常量)，这个光子的能量由前后两个能级的能量差决定，即 $h\nu=E_n-E_m$，此式称为频率条件，又称辐射条件。

2.氢原子的能级图和能级公式

(1)氢原子的能级图





(2)能级图中相关量意义的说明

相关量	意义
能级图中的横线	表示氢原子可能的能量状态——定态
横线左端的数字“1，2，3，…”	表示量子数
横线右端的数字“-13.6，-3.4，…”	表示氢原子的能量
相邻横线间的距离	表示相邻的能量差，量子数越大，相邻的能量差越小，距离越小
带箭头的竖线	表示原子由较高能级向较低能级跃迁，原子跃迁的条件为 $h\nu=E_m-E_n$

(3)能级和半径公式：

①氢原子的能级公式：$E_n=\frac{E_1}{n^2}$ ($n=1$，2，3，…)，其中 E_1 为基态能量，$E_1=-13.6\text{eV}$。

②氢原子核外电子的轨道半径公式：$r_n=n^2r_1$($n=1$，2，3，…)，其中 r_1 为基态半径，又称玻尔半径，$r_1=0.53\times10^{-10}\text{m}$。

题型一：玻尔原子模型

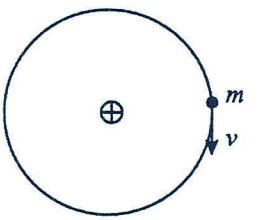
【精选例题】

【例 1】（多选题）下列说法正确的是（　　）

A．经典的电磁场理论可以很好地解释黑体辐射　　B．原子量子化的能量值叫能级

C．温度升高时，热辐射中波长较长的成分占比越来越大　　D．原子的能量是量子化的

【例 2】经典理论认为，氢原子的核外电子在库仑力作用下绕固定不动的原子核做圆周运动，则核外电子运动半径越大，其（　）



A．线速度越大　　B．角速度越大

C．周期越大　　D．等效的环形电流越大

【跟踪训练】

1．（多选题）对于原子、原子核，人们无法直接观察到其内部结构，只能通过对各种实验事实提供的信息进行分析、猜想、提出微观模型，并进一步接受实验事实的检验，进而再对模型进行修正。下列实验事实支持相应观点的是（　　）

A．电子的发现，说明原子是可以再分的

B．康普顿散射现象及规律，说明原子具有核式结构

C．玻尔依据氢原子光谱的实验规律，将量子观念引入原子领域

D．天然放射现象，说明原子核内部是有结构的

2．根据玻尔理论，下列说法正确的是（　　）

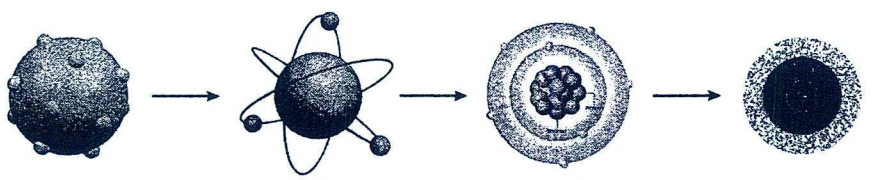
A．氢原子可以吸收任意能量的光子，因而轨道半径可以连续增大

B．电子运行轨道的半径是任意的

C．原子处于定态时，虽然电子做变速运动，但并不向外辐射能量

D．氢原子的核外电子由较高能级跃迁到较低能级时，要释放一定频率的光子，电势能的减少量等于动能的增加量

3．核能的利用离不开人类对微观世界的不断探索。下图表示科学家对原子认识的演变史，下列说法正确的（　　）



A．德布罗意基于电子的发现事实建构了枣糕模型

B．卢瑟福建构的行星棋型（核式结构模型）不仅揭示了原子内存在原子核而且揭示了原子核的组成结构

C．玻尔基于行星模型（核式结构模型）和氢原子光谱的实验规律建构了氢原子模型并做了有限推广

D．基于量子理论建构的电子云模型完全否定了玻尔模型的正确性及其科学研究价值

题型二：跃迁

解题要点：

1.两类能级跃迁

(1)自发跃迁：高能级→低能级，释放能量，发出光子。

光子的频率$\nu=\frac{\Delta E}{h}=\frac{E_{高}-E_{低}}{h}$。

(2)受激跃迁：低能级→高能级，吸收能量。

①光照(吸收光子)：吸收光子的全部能量，光子的能量必须恰等于能级差 $h\nu=\Delta E=E_m-E_n$。

②碰撞、加热等：可以吸收实物粒子的部分能量，只要入射粒子能量大于或等于能级差即可，$E_{外}\geq\Delta E$。

③大于电离能的光子被吸收，将原子电离。

2.电离

(1)电离态：$n=\infty$，$E=0$。

(2)电离能：指原子从基态或某一激发态跃迁到电离态所需要吸收的最小能量。

例如：对于氢原子

①基态→电离态：$E_{吸}=0-(-13.6\ \text{eV})=13.6\ \text{eV}$，即基态的电离能。

②$n=2$→电离态：$E_{吸}=0-E_2=3.4\ \text{eV}$，即 $n=2$ 激发态的电离能。

如吸收能量足够大，克服电离能后，电离出的自由电子还具有动能。

3.谱线条数的确定方法

(1)一个氢原子跃迁发出可能的光谱线条数最多为 $n-1$。

(2)一群氢原子跃迁发出可能的光谱线条数的两种求解方法。

①用数学中的组合知识求解：$N=C_n^2=\frac{n(n-1)}{2}$。

②利用能级图求解：在氢原子能级图中将氢原子跃迁的各种可能情况一一画出，然后相加。

【精选例题】

【例 1】（多选题）下列说法中正确的是（　　）

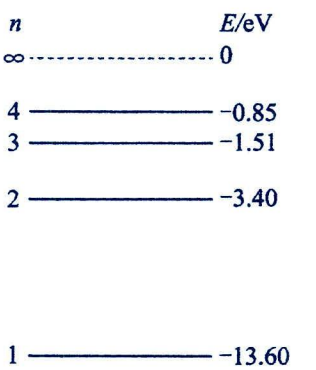
A．原子处于能级最低的状态时，最稳定　　B．原子由高能级向低能级跃迁时，放出光子

C．能量量子化成功解释了原子光谱的分立特征　　D．原子能吸收任意能量值的光子向高能级跃迁

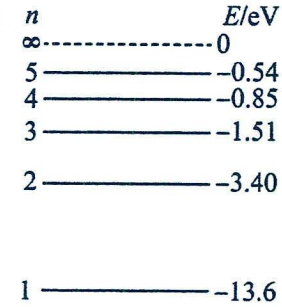
【例 2】如图所示为氢原子的能级示意图，用一群处于第 4 能级的氢原子跃迁到 1 能级发出的光照射锌板，锌板表面有光电子逸出，已知锌的逸出功为 3.3eV，则光电子的最大初动能为（　　）

A．12.75eV　　B．8.79eV

C．9.45eV　　D．10.3eV



【例 3】氢原子能级图如图所示。大量处在 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，下列说法正确的是（　）



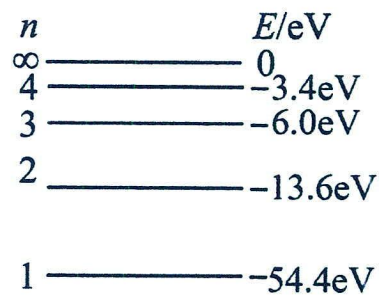
A．可能辐射出三种不同频率的光

B．氢原子辐射出能量，电子的动能减少，电势能减少

C．从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=1$ 能级时辐射出的光子频率最小

D．从 $n=4$ 能级跃迁到 $n=3$ 能级时辐射出的光子波长最长

【例 4】一价氦离子具有与氢原子类似的结构，其能级图如图所示，一价氦离子基态能量为 $E_1=-54.4\text{eV}$。关于这种氦离子，下列说法正确的是（　　）



A．用能量为 8.0eV 的光子照射大量处于 $n=2$ 能级的一价氦离子，能够使其电子跃迁到 $n=3$ 能级

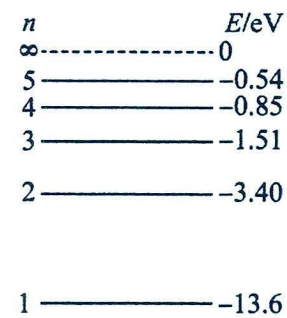
B．用能量为 60eV 的光子照射大量处于基态的一价氦离子，能够使其电子电离

C．一个处于 $n=4$ 能级的一价氦离子，其电子向低能级跃迁所辐射光子频率的种类为 6 种

D．处于基态的一价氦离子的电子的动能最小

【跟踪训练】

1．如图为氢原子的能级图。大量氢原子处于 n=3 的激发态，在向低能级跃迁时放出光子，用这些光子照射逸出功为 2.29 eV 的金属钠。下列说法正确的是（　　）



A．逸出光电子的最大初动能为 10.80 eV

B．n=3 跃迁到 n=1 放出的光子动量最大

C．有 3 种频率的光子能使金属钠产生光电效应

D．用 0.85 eV 的光子照射，氢原子跃迁到 n=4 激发态

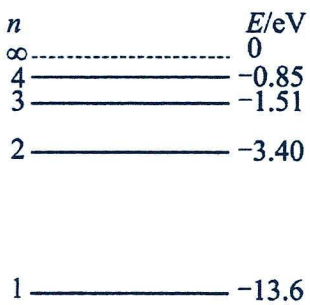
2．氢原子能级示意图如图所示．光子能量在1.64～3.10eV之间的光为可见光。大量处于 $n=4$ 能级的氢原子向低能级跃迁时，辐射出若干不同频率的光．下列说法正确的是（　）

A．这些氢原子共能辐射出 5 种不同频率的光子

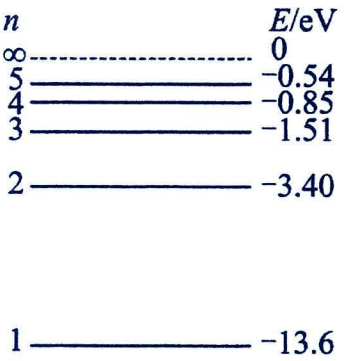
B．这些氢原子共能辐射出 3 种不同频率的可见光

C．电子处在 $n=4$ 能级上时比处在 $n=3$ 能级上时的动能更小

D．用 $n=4$ 能级跃迁到 $n=2$ 能级辐射出的光子照射逸出功为6.34eV 的金属铂，能发生光电效应



3．速度接近光速的电子在磁场中偏转时，会沿圆弧轨道切线发出电磁辐射，这个现象最初是在同步加速器上观察到的，称为“同步辐射”。同步辐射光具有光谱范围宽（从远红外到X光波段，波长范围约为10^{-5}m~ 10^{-11}m，对应能量范围约为10^{-1}eV~10^{5}eV）、光源亮度高等特点。已知金属钠的逸出功$W_0=2.29$eV，可见光的光子能量范围为1.63eV~3.11eV，氢原子能级图如图所示，已知普朗克常量$h=6.63\times10^{-34}$J·s。下列说法正确的是（　　）



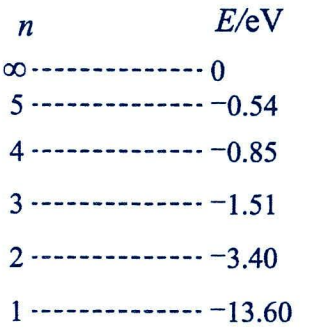
A．能量为1.89eV的同步辐射光遇到线度约为10^{-8}m的蛋白质分子时，能发生明显衍射

B．能量为1.89eV的同步辐射光，其动量约为6.3×10^{-9}kg· m/s

C．能量为1.89eV的同步辐射光照射金属钠，可使金属钠发生光电效应

D．能量为12.09eV的同步辐射光照射基态氢原子，氢原子能级跃迁后不会发出可见光

4．如图所示为氢原子的能级示意图，已知锌的逸出功是3.34eV，那么对氢原子在能级跃迁过程中发射或吸收光子的特征认识正确的是（　）



A．一群处于$n=5$能级的氢原子向基态跃迁时，能放出8种不同频率的光

B．一群处于$n=5$能级的氢原子向基态跃迁时，发出的光照射锌板，其中有4种不同频率的光能使锌板发生光电效应

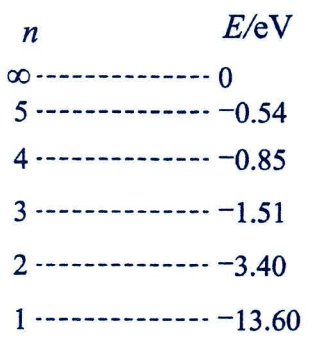
C．用能量为10.30eV的光子照射，可使处于基态的氢原子跃迁到激发态

D．假设氢原子从n能级向较低的各能级跃迁的概率均为$\frac{1}{n-1}$，则对N_A个处于$n=3$能级的氢原子，跃迁过程中辐射的光子的总数为$2N_A$个

题型三：综合

【精选例题】

【例1】如图所示为氢原子能级示意图的一部分，根据玻尔理论，下列说法中正确的是（　）



A．从$n=4$能级跃迁到$n=3$能级比从$n=3$能级跃迁到$n=2$能级辐射出的电磁波的波长长

B．处于$n=4$的定态时电子的轨道半径r_4比处于$n=3$的定态时电子的轨道半径r_3小

C．从$n=4$能级跃迁到$n=3$能级，氢原子的能量减小，电子的动能减小

D．从$n=3$能级跃迁到$n=2$能级时辐射出的光子可以使逸出功为2.5eV的金属发生光电效应

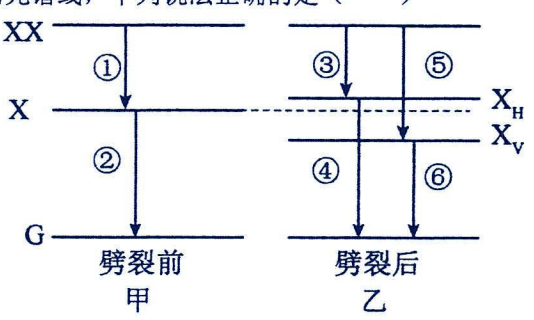
【例2】原子处于磁场中时，某些能级会发生劈裂现象。劈裂前的能级，如图甲所示，X代表激发态1，XX代表激发态2，G代表基态；由于能级劈裂，X态劈裂为两支，分别为X_H、X_V两个能级，如图乙所示。①和②为原子劈裂前辐射出的光谱线，③、④、⑤和⑥为劈裂后辐射出的光谱线，下列说法正确的是（　　）

A．X_H的能级低于X_V的能级

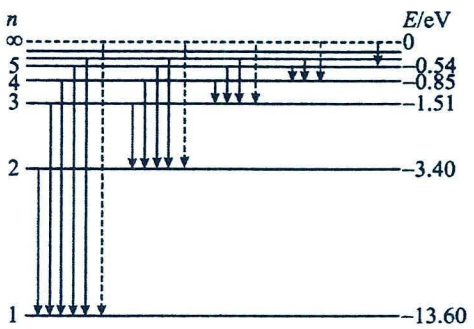
B．②的波长大于⑥的波长

C．①和②的频率之和等于③和④的频率之和

D．⑤和③的频率之差小于④和⑥的频率之差



【例 3】狭义相对论中给出静质量与动质量的关系为 $m=\dfrac{m_0}{\sqrt{1-\left(\dfrac{v}{c}\right)^2}}$，其中 m 为动质量、m_0 为静质量、v 为物体的速度、c 为真空中的光速。氢原子能级如图所示，能使处于基态的静止氢原子发生跃迁的物体的速度、c 为真空中的光速。氢原子能级如图所示，能使处于基态的静止氢原子发生跃迁的电子的动质量至少为静质量的（　　）（电子质量为 9.1×10^{-31}kg，元电荷的值为 $e=1.6\times10^{-19}$C）



A．1 倍　　B．2 倍

C．4 倍　　D．6 倍

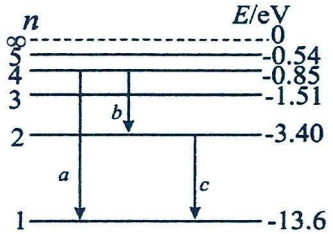
【例 4】氢原子能级跃迁可以帮助我们更好地理解宇宙的结构，并从中得到很多有价值的信息。大量氢原子处于 n=4 能级上，其能级图如图。下列关于这些氢原子能级跃迁过程中所发出的 a、b、c 三种光的说法正确的是（　　）

A．用 b 光照射处于 n=4 能级的氢原子，氢原子会发生电离

B．b 光光子的动量最大

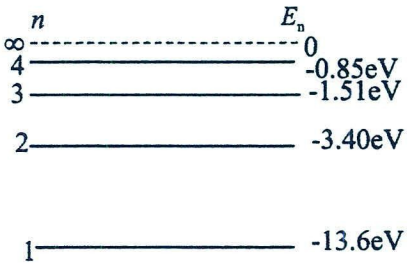
C．相同条件下，a 光最容易发生明显的衍射现象

D．在真空室中，c 光的波长等于 a、b 两光波长之和



【例 5】如图所示为氢原子的能级结构示意图，一群处于基态的氢原子在某种单色光束照射下，只能发出波长为 λ_1、λ_2、λ_3 的三种光，且 $\lambda_1<\lambda_2<\lambda_3$，真空中光速为 c，普朗克常量为 h，则该照射光的光子的能量为（　　）

A．$h\dfrac{c}{\lambda_3}$　　B．$\dfrac{hc(\lambda_1+\lambda_2)}{\lambda_1\lambda_2}$hν2　　C．$\dfrac{hc(\lambda_2+\lambda_3)}{\lambda_2\lambda_3}$　　D．$\dfrac{hc(\lambda_1+\lambda_3)}{\lambda_1\lambda_3}$



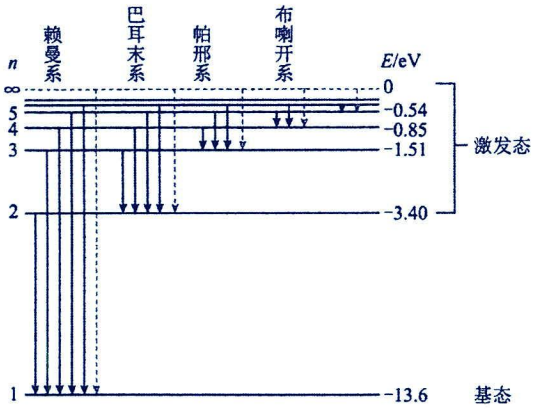
【例 6】1885 年瑞士的中学教师巴耳末发现，氢原子光谱中可见光部分的四条谱线的波长可归纳成一个简单的经验公式：$\dfrac{1}{\lambda}=R\left(\dfrac{1}{2^2}-\dfrac{1}{n^2}\right)$，n 为大于 2 的整数，R 为里德伯常量。1913 年，丹麦物理学家玻尔受到巴耳末公式的启发，同时还吸取了普朗克的量子假说、爱因斯坦的光子假说和卢瑟福的核式结构原子棋型提出了自己的原子理论、根据玻尔理论，推导出了氢原子光谱谱线的波长公式：$\dfrac{1}{\lambda}=R\left(\dfrac{1}{m^2}-\dfrac{1}{n^2}\right)$，m 与 n 都是正整数，且 $n>m$。当 m 取定一个数值时，不同数值的 n 得出的谱线属于同一个线系．如：m=1，n=2、3、4、…组成的线系叫赖曼系；m=2，n=3、4、5、…组成的线系叫巴耳末系；m=3，n=4、5、6、…组成的线系叫帕邢系；m=4，n=5、6、7、…组成的线系叫布喇开系；m=5，n=6、7、8、…组成的线系叫逢德系．以上线系只有一个在紫外光区，这个线系是……如图是氢原子的能级图。则下列说法正确的是（　　）

A．在氢原子的能级图中只有一个线系在紫外光区，它应该是帕邢系

B．若巴尔末系的某种光能使一金属发生光电效应，则赖曼系的都能使该金属发生光电效应

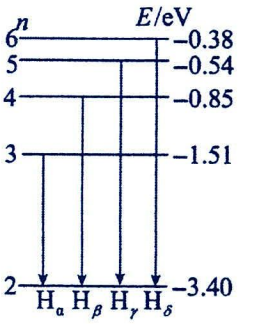
C．每一次能级跃迁都会释放出一个电子，使原子变为离子

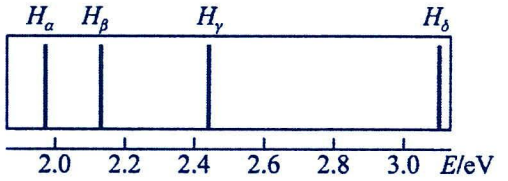
D．巴耳末线系中能量最小的光子的频率与赖曼系中能量最大的光子频率之比为 5∶27

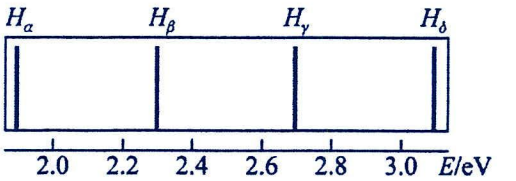


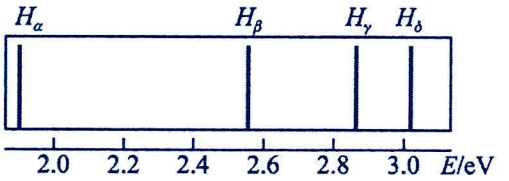
【跟踪训练】

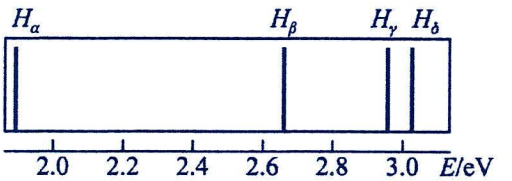
1．1885 年，瑞士科学家巴尔末对当时已知的氢原子在可见光区的 4 条谱线（记作 H_α、H_β、H_γ 和 H_δ）作了分析，发现这些谱线的波长满足一个简单的公式，称为巴尔末公式。这 4 条特征谱线是玻尔理论的实验基础。如图所示，这 4 条特征谱线分别对应氢原子从 $n=3$、4、5、6 能级向 $n=2$ 能级的跃迁，下面 4 幅是跃迁时辐射光子的能量，合理的是（　　）



A.


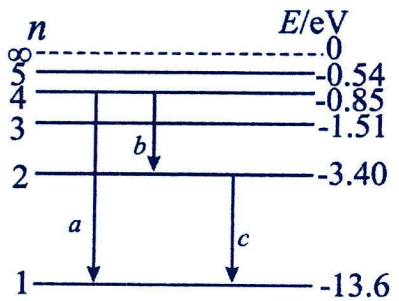
B.


C.


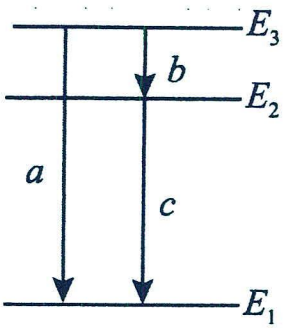
D.


2．玻尔意识到经典理论在解释原子结构方面的困难后，提出了自己的原子结构假说，他的理论很好地解释了氢原子光谱。已知大量氢原子处于 $n=4$ 能级上，如图所示，这些氢原子在能级跃迁过程中发出的光中有 a、b、c 三种光，其频率分别为 ν_a、ν_b、ν_c，则下列选项中频率关系正确的是（　　）

A．$\nu_a=\dfrac{\nu_b+\nu_c}{\nu_b\nu_c}$　　B．$\nu_a=\nu_b-\nu_c$　　C．$\nu_a=\dfrac{\nu_b}{\nu_c}$　　D．$\nu_a=\nu_b+\nu_c$



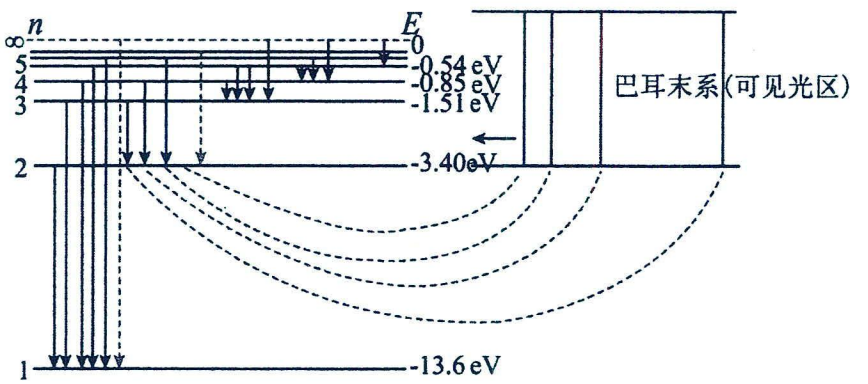
3．如图所示是某原子的能级图，a、b、c为原子跃迁所发出的三种波长的光，其对应光子的动量为p_a、p_b、p_c，则（　　）



A．$\frac{1}{p_a}=\frac{1}{p_b}+\frac{1}{p_c}$　　B．$\frac{1}{p_b}=\frac{1}{p_a}+\frac{1}{p_c}$

C．$p_a=p_b+p_c$　　D．$p_b=p_a+p_c$

4．（多选题）氢原子跃迁与巴耳末系的对比图像如图所示，已知光速为c，普朗克常量为h，下列说法正确的是（　　）



A．巴耳末系就是氢原子从n=3，4，5…能级跃迁到基态时辐射出的光谱

B．气体的发光原理是气体放电管中原子受到光子的撞击跃迁到激发态，再向低能级跃迁，放出光子

C．氢原子从n=3能级跃迁到n=2能级时辐射出的光是可见光，但不属于巴耳末系

D．若处于某个激发态的几个氢原子，只发出λ_1、λ_2、λ_3三种波长的光，当$\lambda_1>\lambda_2>\lambda_3$，则有$(\lambda_1+\lambda_2)\lambda_3=\lambda_1\lambda_2$

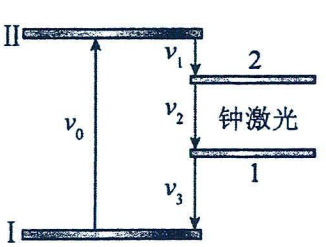
5．“梦天号”实验舱携带世界首套可相互比对的冷原子钟组发射升空，对提升我国导航定位、深空探测等技术具有重要意义。某原子钟工作的四能级体系如图所示，原子吸收频率为ν_0的光子从基态能级I跃迁至激发态能级II，然后自发辐射出频率为ν_1的光子，跃迁到钟跃迁的上能级2，并在一定条件下可跃迁到钟跃迁的下能级1，实现受激辐射，发出钟激光，最后辐射出频率为ν_3的光子回到基态。已知该原子钟在时间t内产生的钟激光光子的个数为n，光在真空中的速度为c，普朗克常量为h，则（　　）

A．该原子钟产生的钟激光光子的波长为$\frac{c}{\nu_0+\nu_1-\nu_3}$

B．该原子钟产生的钟激光光子的动量为$\frac{hc}{\nu_0-\nu_1-\nu_3}$

C．该原子钟产生的钟激光光子的能量为$h(\nu_0+\nu_1-\nu_3)$

D．该原子钟产生钟激光光子的功率为$\frac{nh(\nu_0-\nu_1-\nu_3)}{t}$



6. （多选题）玻尔的原子结构模型认为：电子在第 n 轨道上匀速圆周运动的轨道半径 $r_n = n^2 r_1$（其中 r_1 为基态时电子轨道半径），当电子在第 n 轨道运动时，氢原子的能量 E_n 为核外电子的动能与“电子—原子核”系统电势能的总和。已知系统电势能 E_p 和电子绕氢原子核做圆周运动的半径 r 存在关系 $E_p = -k\frac{e^2}{r}$（以无穷远为电势能的零点），电子电量大小为 e。则（　　）

A．电子在 4 能级的动能比在 3 能级的动能小

B．氢原子在 4 能级的能量比在 3 能级的能量小

C．电子绕氢原子核在第 1 轨道上做圆周运动时的动能为 $k\frac{e^2}{r_1}$

D．电子在第 n 轨道运动时氢原子的能量为 $E_n = -k\frac{e^2}{2r_n}$

考点五：物质波与概率波

题型一：概率波

解题要点：

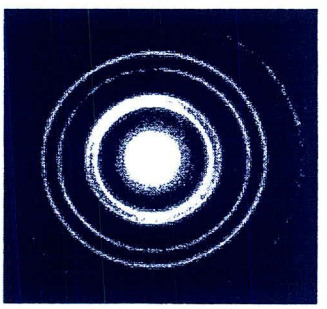
1.概率波：光的干涉现象是大量光子的运动遵守波动规律的表现，亮条纹是光子到达概率大的地方，暗条纹是光子到达概率小的地方，因此光波又叫概率波。

2.物质波

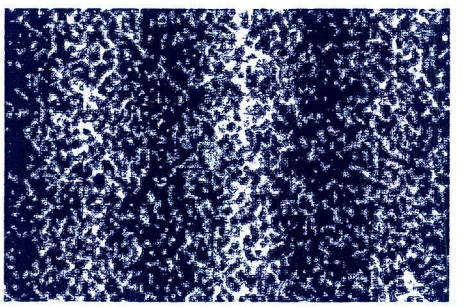
(1)定义：任何运动着的物体都有一种波与之对应，这种波叫做物质波，也叫德布罗意波。

(2)物质波的波长：$\lambda=\frac{h}{p}=\frac{h}{mv}$，$h$ 是普朗克常量。

(3)验证：戴维孙和 G. P. 汤姆孙分别用单晶和多晶晶体做了电子束衍射的实验，得到了类似图的衍射图样，如图甲，从而证实了电子的波动性；在后来的实验中，人们还进一步观测到了电子德布罗意波的干涉现象如图乙。



甲



乙

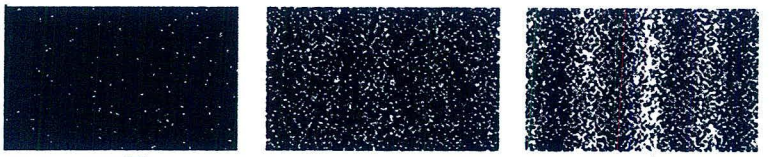
【精选例题】

【例 1】下列说法正确的是（　　）

A．声波是概率波　　B．地震波是概率波

C．水波是概率波　　D．光波是概率波

【例 2】（多选题）如图所示分别为 100 多个、3000 多个、70000 多个电子通过双缝后的干涉图样，则（　　）



甲　　乙　　丙

A．图样是因为电子之间相互作用引起的

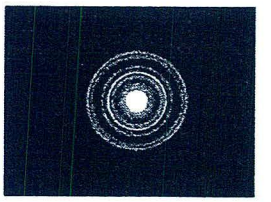
B．假设现在只让一个电子通过单缝，那么该电子一定落在亮纹处

C．图样说明电子已经不再遵守牛顿运动定律

D．根据不确定性关系，不可能同时准确地知道电子的位置和动量

【跟踪训练】

1．（多选题）让电子束通过电场加速后，照射到金属晶格（大小约 10^{-10}m）上，可得到电子的衍射图样，如图所示。下列说法正确的是（　　）



A．电子衍射图样说明了电子具有粒子性

B．加速电压越大，电子的物质波波长越长

C．电子物质波波长比可见光波长更短

D．动量相等的质子和电子，对应的物质波波长也相等

2．（多选题）a、b 两种光的频率之比为 $\nu_a:\nu_b=3:2$，将两种光分别照射到截止频率为 $\frac{\nu_b}{2}$ 的金属 X 上，都发生了光电效应。下列选项正确的是（　）

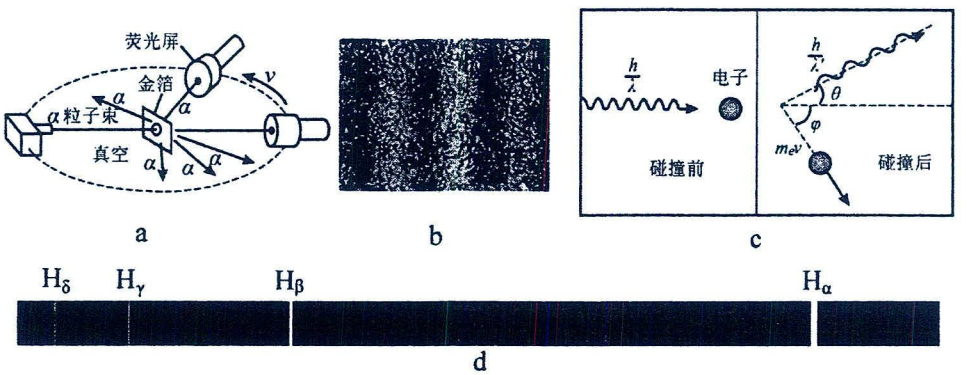
A．a、b 两种光，光子的动量之比 2:3

B．a、b 两种光，光子的动量之比 3:2

C．a、b 两种光照射到金属 X 上，逸出光电子对应的德布罗意波，最短波长之比为 $1:\sqrt{2}$

D．a、b 两种光照射到金属 X 上，逸出光电子对应的德布罗意波，最短波长之比为 $\sqrt{2}:1$

3．（多选题）以下关于原子结构相关内容，说法正确的是（　）



A．图 a 为 α 粒子散射实验，该实验说明原子核是有结构的

B．图 b 为电子的干涉实验，干涉条纹的产生是电子之间相互作用的结果

C．图 c 为康普顿效应示意图，应满足 $\frac{h}{\lambda'}\sin\theta=m_e v\sin\varphi$

D．图 d 为氢原子光谱，光谱中 Hγ 是电子从第 5 激发态向第 2 激发态跃迁产生的

题型二：物质波

【精选例题】

【例 1】（多选题）以下说法正确的是（　　）

A．宏观粒子也具有波动性　　B．抖动细绳一端，绳上的波就是物质波

C．物质波也是一种概率波　　D．物质波就是光波

【例 2】（多选题）以下关于物质波的说法中正确的是（　　）

A．实物粒子与光子都具有波粒二象性，故实物粒子与光子是本质相同的物体

B．一切运动的物体都与一个对应的波相联系

C．电子的衍射证实了物质波的假设是正确的

D．实物粒子的动量越大，其波动性越明显，越容易观察

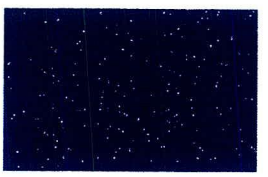
【跟踪训练】

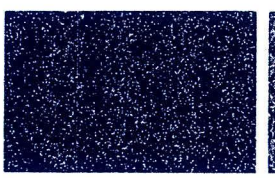
1．已知一个激光发射器功率为P，发射波长为λ的光，光速为c，普朗克常量为h，则（　　）

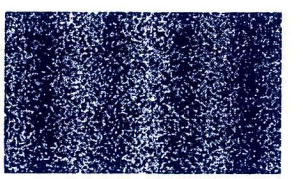
A．光的频率为$\frac{c}{\lambda}$　　B．光子的能量为$\frac{h}{\lambda}$

C．光子的动量为$h\lambda$　　D．在时间t内激光器发射的光子数为$\frac{Ptc}{h\lambda}$

2．（多选题）用1000V 的电压对初速度为 0 的电子加速，然后让它们通过双缝打到屏上，得到如图所示的图样，图甲、图乙、图丙分别表示 100 多个电子、3000 多个电子、70000 多个电子通过双缝后的干涉图样，取电子的质量$m_e=9\times10^{-31}\text{kg}$，电量$e=1.6\times10^{-19}\text{C}$，普朗克常量取$6.6\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$，下列说法正确的是（　　）


图甲

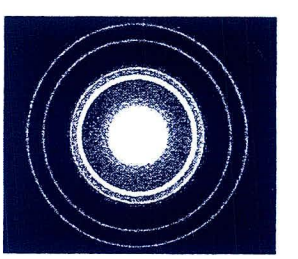

图乙


图丙

A．加速后电子的物质波波长约为$4\times10^{-11}\text{m}$　　B．图丙的图样是由于电子的干涉相互作用引起的

C．与电子、光子相联系的德布罗意波是概率波　　D．电子的物质波是用“轨迹”来描述电子的运动

3．（多选题）著名物理学家汤姆孙曾在实验中让电子束经过电场加速后通过多晶薄膜，得到了如图的衍射图样，已知电子质量为$m=9.1\times10^{-31}\text{kg}$，加速后电子速度$v=5.0\times10^{5}\text{m/s}$，普朗克常量$h=6.63\times10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$，则（　　）



A．该图样说明了电子具有粒子性

B．该实验中电子的德布罗意波长约为 1.5nm

C．加速电压越大，电子的物质波波长越长

D．使用电子束工作的电子显微镜中，加速电压越大，分辨本领越强

第八讲：原子核

考点一：天然放射现象与三种射线

题型一：天然放射现象

解题要点：

1.天然放射现象:

①法国物理学家贝克勒尔发现某些物质具有放射性，

②物质发出射线的性质称为放射性，具有放射性的元素称为放射性元素。

③放射性元素自发地发出射线的现象，叫作天然放射现象。

④原子序数大于 83 的元素，都能自发地发出射线，原子序数小于或等于 83 的元素，有的也能发出射线。

⑤居里夫人发现这种沥青中存在着两种能够发出更强射线的新元素，把其中一种元素命名为钋（Po），另一种元素命名为镭（Ra）。

⑥天然放射现象的发现，说明原子核具有复杂的结构。

2.三种射线

名称	构成	符号	电荷量	质量	电离能力	贯穿本领
α射线	氦核	${}_2^4\mathrm{He}$	$+2e$	4 u	最强	最弱
β射线	电子	${}_{-1}^{0}\mathrm{e}$	$-e$	$\frac{1}{1\,837}$ u	较强	较强
γ射线	光子	γ	0	0	最弱	最强

【精选例题】

【例 1】关于天然放射现象，下列说法正确的是（　　）

A．天然放射现象表明原子内部是有结构的　　B．β 射线是原子核外电子形成的电子流

C．升高温度可以减小放射性元素的半衰期　　D．β 射线比α射线的穿透能力强

【例 2】关于天然放射性，下列说法正确的是（　　）

A．所有元素都具有天然放射性　　B．放射性元素的半衰期与外界温度无关

C．放射性元素与别的元素形成化合物后不再具有放射性　　D．α、β 和 γ 三种射线中，β 射线的穿透能力最强

【例 3】下列关于放射性的说法中，正确的是（　　）

A．居里夫人首先发现了天然放射性现象

B．人类对原子核的探索，是从发现原子核放射性开始的

C．某放射性物质在和另外物质发生化学反应后，半衰期会改变

D．医院普遍使用的γ刀，是利用了γ射线超强的电离本领

【例 4】下列关于原子和原子核的说法正确的是（　　）

A．α粒子的穿透能力比β粒子的穿透能力强

B．天然放射现象的发现说明了原子有复杂的结构

C．紫外线照射到锌板表面能够发生光电效应，则当增大紫外线的照射强度时，从锌板表面逸出的光电子的最大初动能不变

D．按照玻尔理论，氢原子由较高能级跃迁到较低能级，核外电子的动能和电势能都减小

【跟踪训练】

1．以下哪些实验现象可以说明原子核内部有复杂的结构（　　）

A．α粒子散射实验　　B．伦琴射线的发现

C．元素发光时产生明线光谱的现象　　D．天然放射现象

2．关于天然放射现象，下列说法正确的是（　　）

A．γ射线在磁场中不能发生偏转　　B．α射线是由氦原子核衰变产生的

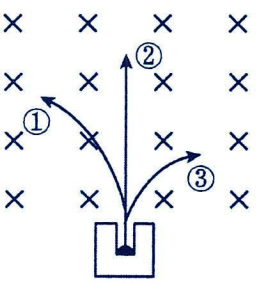
C．β射线是原子核外的电子受激跃迁而产生的　　D．工业上常用α射线来探测塑料板或金属板的厚度

3．下列说法正确的是（　　）

A．原子核中，质子与质子间有核力，质子和中子间没有核力　　B．β射线是由原子核外电子电离产生

C．通过化学反应不能改变物质的放射性　　D．原子核的结合能越大，原子核越稳定

4．（多选题）1896 年，法国物理学家贝克勒尔发现，铀和含铀的矿物能够发出看不见的射线，它能穿透黑纸使照相底版感光。如图所示，这种射线的粒子流进入磁场中分裂成①、②、③三束，则（　　）



A．①一定带正电　　B．②一定带正电

C．③一定带负电　　D．②一定带负电

考点二：原子核的组成

解题要点：

1.原子核探究史

(1)1919 年，卢瑟福用镭放射出的α粒子轰击氮原子核，从氮原子核发现了质子。

(2)卢瑟福猜想，原子核内可能还存在着另一种粒子，它的质量与质子相同，但不带电，他把这种粒子叫作中子。

(3)1932 年，卢瑟福的学生查德威克通过云室进行实验证实了中子的存在。

2.原子核的组成：原子核由质子和中子组成，质子和中子统称为核子。质子带正电，中子不带电。

3.基本关系

①核电荷数(Z)＝质子数＝元素的原子序数＝中性原子的核外电子数。

②质量数(A)＝核子数＝质子数＋中子数。

4.同位素：具有相同质子数而中子数不同的原子核组成的元素，在元素周期表中处于同一位置，因而互称同位素。氢有三种同位素，分别叫作氕（也就是氢）、氘（也叫重氢）、氚（也叫超重氢），符号分别是${}_1^1H$，${}_1^2H$，${}_1^3H$。

题型一：原子核的组成

【精选例题】

【例 1】一个镭核 ${}_{88}^{226}\mathrm{Ra}$ 中，有（　　）

A．226 个核子，88 个中子　　B．88 个核子，226 个中子

C．138 个核子，88 个中子　　D．226 个核子，138 个中子

【例 2】某原子核内有核子 N 个，其中包含中子 n 个，当该核俘获一个中子后，放出一个 α 粒子，变成新的原子核，可知这个新的原子核（　　）

A．质量数是 $(N-4)$　　B．原子序数是 $(N-n-2)$

C．有中子 $(n-2)$ 个　　D．核子数是 $(n-3)$ 个

【跟踪训练】

1．在研究原子核结构的过程中，人们首先发现了质子，之后就认定原子核中一定还存在另外不同种类的粒子（后来把它称为中子），理由是（　　）

A．质子不带电，原子核带正电　　B．质子带正电，原子核也带正电

C．质子的质量小于原子核的质量　　D．质子的电荷量小于原子核的电荷量

2．（多选题）已知 $^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ 是 $^{228}_{88}\mathrm{Ra}$ 的一种同位素，则下列说法正确的是（　　）

A．两者具有相同的质子数和不同的质量数　　B．两者具有相同的中子数和不同的原子序数

C．两者具有相同的核电荷数和不同的中子数　　D．两者具有相同的核外电子数和不同的化学性质

3．（多选题）物理学中，将如同 $^{3}_{2}\mathrm{He}$ 和 $^{3}_{1}\mathrm{H}$ 这样质子数与中子数互换的原子核互称为“镜像核”。则下列说法正确的是（　　）

A．$^{15}_{7}\mathrm{N}$ 和 $^{16}_{8}\mathrm{O}$ 互为“镜像核”　　B．$^{13}_{7}\mathrm{N}$ 和 $^{13}_{6}\mathrm{O}$ 互为“镜像核”

C．$^{15}_{7}\mathrm{N}$ 和 $^{13}_{7}\mathrm{N}$ 互为“镜像核”　　D．互为“镜像核”的两个核质量数相同

考点三：原子核的衰变与半衰期

解题要点：

1.原子核的衰变

(1)衰变：原子核自发地放出α粒子或β粒子，变成另一种原子核的变化称为原子核的衰变。

(2)α衰变、β衰变

衰变类型	α衰变	β衰变
衰变方程	${}^{M}_{Z}\mathrm{X}\rightarrow{}^{M-4}_{Z-2}\mathrm{Y}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$	${}^{M}_{Z}\mathrm{X}\rightarrow{}^{M}_{Z+1}\mathrm{Y}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
衰变实质	2个质子和2个中子能紧密地结合在一起，作为一个整体从原子核中抛出来	核内的1个中子转化成1个质子和1个电子，电子发射到核外
	$2{}^{1}_{1}\mathrm{H}+2{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}$	${}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{1}_{1}\mathrm{H}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$
衰变规律	电荷数守恒、质量数守恒、动量守恒	

(3) γ射线：α衰变、β衰变产生的新核处于较高能级，不稳定，向低能级跃迁时辐射出γ光子。

2.确定衰变次数的方法

(1)设放射性元素 ${}_{Z}^{A}X$ 经过 n 次α衰变和 m 次β衰变后，变成稳定的新元素 ${}_{Z'}^{A'}Y$，

则表示该核反应的方程为：${}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{Z'}^{A'}Y + n{}_{2}^{4}He + m{}_{-1}^{0}e$

根据电荷数守恒和质量数守恒可列方程：$\begin{cases} A = A' + 4n \\ Z = Z' + 2n - m \end{cases}$

(2)因为β衰变对质量数无影响，先由质量数的改变确定α衰变的次数，然后再根据衰变规律确定β衰变的次数。

3.半衰期

(1)定义：放射性元素的原子核有半数发生衰变所需的时间。

(2)公式：$N_{余} = N_{原}(\frac{1}{2})^{\frac{t}{T_{1/2}}}$，$m_{余} = m_{原}(\frac{1}{2})^{\frac{t}{T_{1/2}}}$

式中 $N_{原}$、$m_{原}$ 表示衰变前的放射性元素的原子数和质量，

$N_{余}$、$m_{余}$ 表示衰变后尚未发生衰变的放射性元素的原子数和质量，t 表示衰变时间，τ 表示半衰期。

(3)影响因素：放射性元素衰变的快慢是由核内部自身的因素决定的，跟原子所处的外部条件(如温度、压强)和化学状态(如单质、化合物)无关。

(4)半衰期是一个统计学概念,是对大量原子核衰变规律的总结,对于几个或者少量的原子核,不能说经过一个半衰期,还剩下半数的原子核未衰变。

4.核反应方程式的书写

(1)熟记常见基本粒子的符号，是正确书写核反应方程的基础．如质子(${}_{1}^{1}H$)、中子(${}_{0}^{1}n$)、α粒子(${}_{2}^{4}He$)、β粒子(${}_{-1}^{0}e$)、正电子(${}_{+1}^{0}e$)、氘核(${}_{1}^{2}H$)、氚核(${}_{1}^{3}H$)等。

(2)掌握核反应方程遵循的规律：质量数守恒，电荷数守恒；但质量一般不守恒。

(3)由于核反应不可逆，所以书写核反应方程式时只能用“→”表示反应方向，不能用等号连接。

题型一：原子核的衰变

【精选例题】

【例 1】原子核 ${}_{92}^{235}U$ 可以经过多次α和β衰变成为稳定的原子核 ${}_{82}^{207}Pb$，在该过程中，可能发生的β衰变是（　　）

A. ${}_{87}^{223}Fr \rightarrow {}_{88}^{223}Ra + {}_{-1}^{0}e$　　B. ${}_{83}^{213}Bi \rightarrow {}_{84}^{213}Po + {}_{-1}^{0}e$

C. ${}_{88}^{223}Ra \rightarrow {}_{89}^{225}Ac + {}_{-1}^{0}e$　　D. ${}_{84}^{218}PO \rightarrow {}_{85}^{218}At + {}_{-1}^{0}e$

【例 2】钍基熔盐是一种新型核能系统，使用钍作为核燃料，熔盐作为热介质进行发电，我国计划 2025 年在内陆戈壁滩建造全球首个钍基熔盐商业堆。${}_{90}^{232}Th$（钍）不易发生核裂变，在反应堆里通过吸收一个中子变成 ${}_{90}^{233}Th$，${}_{90}^{233}Th$ 发生衰变后变成 ${}_{91}^{233}Pa$（镤），而 ${}_{91}^{233}Pa$ 衰变后生成 ${}^{233}U$（铀），${}^{233}U$ 才是真正发生链式反应的裂变材料，钍一铀循环的核燃料利用率可达 70%以上。下列说法正确的是（　　）

A. ${}_{91}^{233}Pa$ 发生 α 衰变后生成 ${}^{233}U$　　B. ${}^{233}U$ 中含有 141 个中子

C. ${}_{90}^{233}Th$ 衰变过程中满足质子数守恒　　D. ${}_{90}^{233}Th$ 与 ${}_{91}^{233}Pa$ 的质量相同

【例 3】钚的放射性同位素 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$ 衰变为激发态铀核 $^{235}_{92}\mathrm{U}^{*}$ 和粒子 X，而激发态铀核 $^{235}_{92}\mathrm{U}^{*}$ 又立即衰变为铀核 $^{235}_{92}\mathrm{U}$，该过程的衰变方程为 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}\rightarrow{}^{235}_{92}\mathrm{U}+\mathrm{X}$。已知 $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$ 的半衰期约为 87 年，下列说法正确的是（　　）

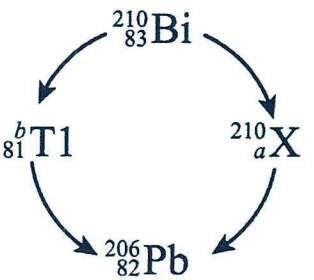
A．粒子 X 是质子

B．该过程发生的是 α 衰变

C．一个钚核（$^{238}_{94}\mathrm{Pu}$）的质量等于一个铀核（$^{234}_{92}\mathrm{U}$）和一个粒子 X 的质量之和

D．经过 87 年，钚（$^{238}_{94}\mathrm{Pu}$）的质量数变为 119

【例 4】（多选题）放射性元素 $^{238}_{92}\mathrm{U}$ 衰变有多种可能途径，其中一种途径是先变成 $^{210}_{83}\mathrm{Bi}$，而 $^{210}_{83}\mathrm{Bi}$ 可以经一次衰变变成 $^{210}_{a}\mathrm{X}$（X 代表某种元素），也可以经一次衰变变成 $^{b}_{81}\mathrm{Tl}$，$^{210}_{a}\mathrm{X}$ 和 $^{b}_{81}\mathrm{Tl}$ 最后都变成 $^{206}_{82}\mathrm{Pb}$，衰变路径如图所示。则（　）



A．$a=82$，$b=211$　　B．$a=84$，$b=206$

C．$^{210}_{83}\mathrm{Bi}\rightarrow{}^{210}_{a}\mathrm{X}$ 是α衰变，$^{210}_{83}\mathrm{Bi}\rightarrow{}^{b}_{81}\mathrm{Tl}$ 是β衰变　　D．$^{210}_{a}\mathrm{X}\rightarrow{}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ 是α衰变，$^{b}_{81}\mathrm{Tl}\rightarrow{}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ 是β衰变

【跟踪训练】

1．下列说法正确的是（　　）

A．$^{226}_{88}\mathrm{Ra}\rightarrow{}^{222}_{86}\mathrm{Rn}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$ 是 β 衰变　　B．$^{2}_{1}\mathrm{H}+{}^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow{}^{4}_{2}\mathrm{He}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}$ 是聚变

C．$^{235}_{92}\mathrm{U}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{140}_{54}\mathrm{Xe}+{}^{94}_{38}\mathrm{Sr}+2{}^{1}_{0}\mathrm{n}$ 是衰变　　D．$^{24}_{11}\mathrm{Na}\rightarrow{}^{24}_{12}\mathrm{Mg}+{}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ 是裂变

2．同位素热源是利用放射性同位素的衰变热制成的热源，具有抗干扰性强、工作准确可靠和可长期使用的优点，可为电子设备保温，是未来宇宙深空探索不可或缺的能源装置。当前的同位素热源主要采用锶 $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ 与钚 $^{238}_{94}\mathrm{Pu}$ 等半衰期长的同位素，衰变方程分别为 $^{90}_{38}\mathrm{Sr}\rightarrow{}^{90}_{39}\mathrm{Y}+\mathrm{X}$、$^{238}_{94}\mathrm{Pu}\rightarrow{}^{234}_{92}\mathrm{U}+\mathrm{Z}$。已知锶 $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ 与钚 $^{238}_{94}\mathrm{Pu}$ 的半衰期分别约为 29 年、87 年，若大量的锶 $^{90}_{38}\mathrm{Sr}$ 与钚 $^{238}_{94}\mathrm{Pu}$ 衰变前的数目相等，经历 174 年，衰变释放出的 X、Z 的总电荷量分别约为 Q_1、Q_2，则（　）

A．$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{63}{32}$　　B．$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{32}{63}$　　C．$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{32}{21}$　　D．$\frac{Q_1}{Q_2}=\frac{21}{32}$

3．（多选题）下列说法中正确的是（　　）

A．原子核发生一次β衰变，该原子外层就一定失去一个电子

B．核泄漏事故污染物 $^{137}_{55}\mathrm{Cs}$ 会产生对人体有害的辐射，其核反应方程式为 $^{137}_{55}\mathrm{Cs}\rightarrow{}^{137}_{56}\mathrm{Ba}+\mathrm{X}$，可以判断 X 为电子

C．某种钍同位素的半衰期为 24 天，1 g 钍经过 120 天后还剩 0.2 g

D．质子、中子、α粒子的质量分别是 m_1、m_2、m_3，质子和中子结合成一个α粒子，释放的能量是（$2m_1+2m_2-m_3$）c^2

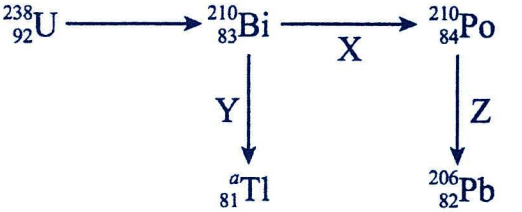
4. $^{238}_{92}U$ 是一种放射性元素，能够自发地进行一系列衰变，如图所示，则下列说法正确的是（　　）

A．图中 a 是 208

B．Y 和 Z 都是β衰变

C．X 衰变放出的电子是中子转变为质子时产生的

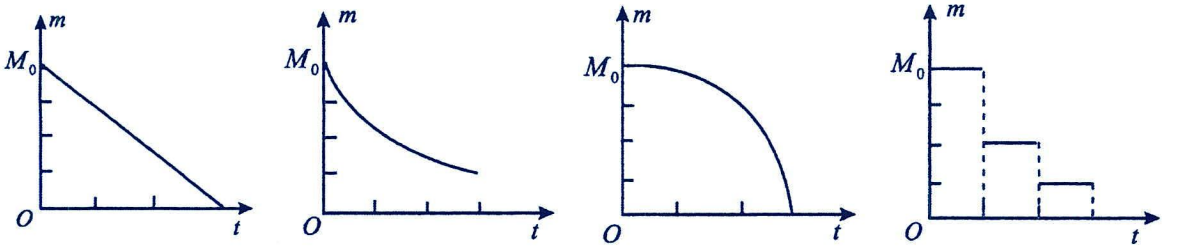
D．X 衰变中放出的射线电离能力最强



题型二：半衰期

【精选例题】

【例 1】设放射性物质 $^{59}_{26}Fe$ 的初始质量为 M_0，经过时间 t 后剩余 $^{59}_{26}Fe$ 的质量为 m，下面四幅图中符合质量 m 随时间 t 的变化规律是（　　）



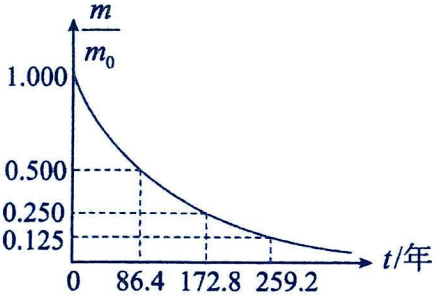
A　　B　　C　　D

【例 2】碘－131 的半衰期为 8 天。衰变释放的β射线可用于治疗甲状腺疾病，若某人单次服用药物时，药物内碘－131 每分钟衰变 8×10^4 次，之后不再服药。在 16 天后进行检测，发现其甲状腺内碘－131 每分钟衰变的次数为 10^4 次。则其服药后甲状腺吸收的碘－131 大概占服用量的（　　）

A．20%　　B．30%　　C．50%　　D．60%

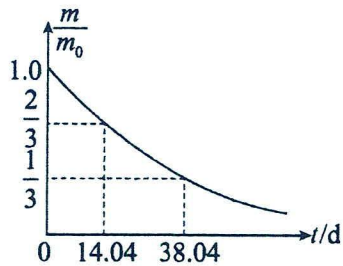
【例 3】我国造出世界首个人造迷你心脏，人造心脏的放射性同位素动力源用的燃料是钚 238，钚 238 衰变快慢有一定的规律。如图所示，横坐标表示时间，纵坐标表示任意时刻钚 238 的质量 m 与 $t=0$ 时的质量 m_0 的比值。则经过 43.2 年剩余钚 238 的质量与初始值的比值约为（　）

A．0.250　　B．0.875　　C．0.500　　D．0.707



【跟踪训练】

1. ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 发生衰变的方程是 ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}\rightarrow{}_{91}^{234}\mathrm{Pa}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$，质量为 m_0 的 ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 经过时间 t 后剩余 ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 的质量为 m，其 $\frac{m}{m_0}-t$ 图线如图所示。下列关于 ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 衰变的说法正确的是（　　）



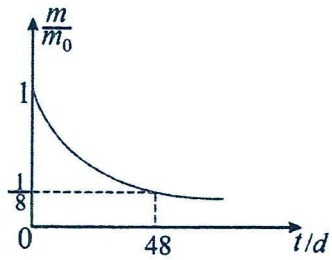
A．衰变过程中电荷数守恒，质量也守恒

B．从图中可以得到 ${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 的半衰期为 24.00d

C．β衰变的实质是核内的质子捕获一个电子变成了中子

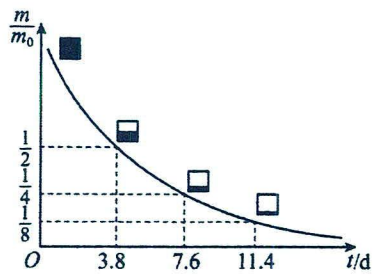
D．当压强增大、温度升高时，${}_{90}^{234}\mathrm{Th}$ 的半衰期会变小

2. 医学中常用某些放射性元素治疗疾病。假设质量为 m_0 的放射性元素 Y 经过时间 t 后剩余 Y 的质量为 m，对应的 $\frac{m}{m_0}-t$ 图线如图所示。则 Y 的半衰期为（　　）



A．16d　　B．12d　　C．8d　　D．6d

3．（多选题）放射性同位素衰变的快慢有一定的规律，例如 ${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 经过一次衰变成为 ${}_{84}^{218}\mathrm{Po}$，如图所示。结合这些信息可以判定下列说法正确的是（　　）



A．${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 衰变为 ${}_{84}^{218}\mathrm{Po}$ 的衰变方式为 α 衰变

B．${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 衰变为 ${}_{84}^{218}\mathrm{Po}$ 的衰变方式为 β 衰变

C．当已生成的 ${}_{84}^{218}\mathrm{Po}$ 数量是 ${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 剩余数量的 7 倍时，${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 衰变所经历时间为 11.4 天

D．20 个 ${}_{86}^{222}\mathrm{Rn}$ 在经过一个半衰期后，一定还剩 10 个

题型三：原子核的衰变次数计算

【精选例题】

【例 1】我国科学家将放射性元素锔 243$\left({}_{95}^{243}\mathrm{Am}\right)$ 引入到能量转换器中来提高转换效率。若锔 243 的衰变方程为：${}_{95}^{243}\mathrm{Am}\rightarrow{}_{93}^{a}\mathrm{X}+{}_{b}^{4}\mathrm{Y}$，X、Y 代表两种不同的元素符号，则（　）

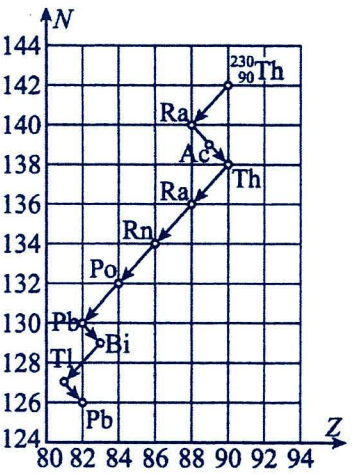
A．$a=239,b=1$　　B．$a=239,b=2$　　C．$a=247,b=1$　　D．$a=247,b=2$

【例 2】天然放射性元素 ${}_{90}^{232}\mathrm{Th}$（钍）经过一系列 α 衰变和 β 衰变之后，变成 ${}_{82}^{208}\mathrm{Pb}$（铅）。下列判断中正确的（）

A．衰变过程共有 6 次 α 衰变和 2 次 β 衰变　　B．铅核比钍核少 8 个质子

C．β 衰变所放出的电子来自原子核外　　D．钍核比铅核多 24 个中子

【例 3】（多选题）自然界存在的放射性元素的原子核并非只发生一次衰变就达到稳定状态，而是要发生一系列连续的衰变，最终达到稳定状态。某些原子核的衰变情况如图所示（N 表示中子数，Z表示质子数），则下列说法正确的是（　）



A．由 $^{228}_{88}\mathrm{Ra}$ 到 $^{228}_{89}\mathrm{Ac}$ 的衰变是 β 衰变

B．已知 $^{228}_{88}\mathrm{Ra}$ 的半衰期是 T，则 8 个 $^{228}_{88}\mathrm{Ra}$ 原子核经过 $2T$ 时间后还剩 2 个

C．从 $^{228}_{90}\mathrm{Th}$ 到 $^{208}_{82}\mathrm{Pb}$ 共发生 5 次 α 衰变和 2 次 β 衰变

D．图中原子核发生的 α 衰变和 β 衰变分别只能产生 α 射线和 β 射线

【跟踪训练】

1．钍（$^{232}_{90}\mathrm{Th}$）是一种放射性元素，广泛分布在地壳中。钍经中子（$^{1}_{0}\mathrm{n}$）轰击可得到核燃料铀（$^{233}_{92}\mathrm{U}$），其反应方程为 $^{232}_{90}\mathrm{Th}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{233}_{92}\mathrm{U}+2\mathrm{X}$，此反应能将地球上现有的钍资源变成潜在的核燃料。下列说法正确的是（　　）

A．X 为质子　　B．该过程发生了一次 α 衰变

C．该过程发生了一次 β 衰变　　D．$^{232}_{90}\mathrm{Th}$ 原子核的质量小于 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 原子核的质量

2．日本政府决定将来自福岛核电站的逾 100 万吨污水排入大海的新闻引发了国际社会对放射性污染的担忧，下列有关放射性元素的说法中正确的是（　　）

A．β 射线与 γ 射线一样都是电磁波，但穿透本领远比 γ 射线弱

B．氡的半衰期为 3.8 天，4 个氡原子核经过 7.6 天后就一定只剩下 1 个氡原子

C．$^{238}_{92}\mathrm{U}$ 衰变成 $^{206}_{82}\mathrm{Pb}$ 要经过 8 次 β 衰变和 6 次 α 衰变

D．放射性元素发生 β 衰变时所释放的电子是原子核内的中子转化为质子时产生的

3．科学家用中子轰击 $^{19}_{9}\mathrm{F}$ 时，生成了人工放射性元素 $^{20}_{9}\mathrm{F}$，其放出一个 β 粒子后形成稳定的新核 X；用 α 粒子轰击 $^{19}_{9}\mathrm{F}$ 时，产生一个稳定的新核 Y 和一个质子。下列说法正确的是（　）

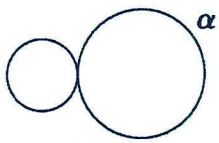
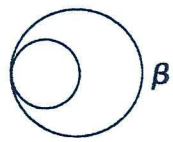
A．新核 X、Y 为同位素　　B．新核 X、Y 的质量数相等

C．新核 X 比新核 Y 少两个质子　　D．新核 X 与新核 Y 的比结合能相等

题型四：原子核的衰变与动量守恒

解题要点：

1.静止原子核在匀强磁场中自发衰变时，如果产生的新核和放出的粒子的速度方向与磁场方向垂直，则它们的运动轨迹为两相切圆；根据动量守恒定律有 $m_1v_1=m_2v_2$，又 $r=\frac{mv}{qB}$，则轨迹半径小的为新核，轨迹半径大的为α粒子或β粒子，其特点如表所示。

类别	α衰变：${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^{4}_{2}He$	β衰变：${}^{A}_{Z}X\rightarrow{}^{A}_{Z+1}Y+{}^{0}_{-1}e$
轨迹关系	两圆外切，α粒子半径较大	两圆内切，β粒子半径较大
匀强磁场中轨迹形状		

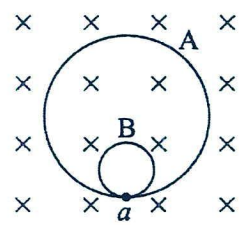
【精选例题】

【例 1】一静止的 ${}^{238}_{92}U$ 原子核发生衰变，其衰变方程为 ${}^{238}_{92}U\rightarrow{}^{234}_{90}Th+X$，生成的两粒子处于匀强磁场中，速度方向与磁场方向垂直，图中可以正确反映两粒子运动轨迹的是（　　）



A　　B　　C　　D

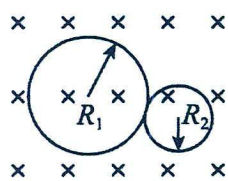
【例 2】1898 年，居里夫妇发现了一种能够发出很强射线的新元素—钋（${}^{210}_{84}Po$），为此居里夫人获得了诺贝尔化学奖。现把 ${}^{210}_{84}Po$ 原子核静止放在匀强磁场中的 a 点，某一时刻发生β衰变，产生了新核 At，形成了如图所示的 A 和 B 两个圆轨迹。下列说法正确的是（　　）



A．${}^{210}_{84}Po$ 的衰变方程为 ${}^{210}_{84}Po\rightarrow{}^{210}_{85}At+2{}^{0}_{-1}e$　　B．把 ${}^{210}_{84}Po$ 放在磁场中，其半衰期会增大

C．A、B 两个圆的半径之比为 85∶1　　D．释放出的粒子和新核圆周运动的旋转方向均为顺时针方向

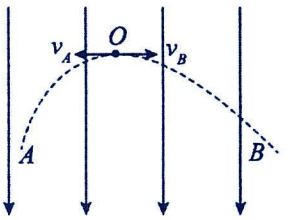
【例 3】静止在匀强磁场中的某放射性元素的原子核，当它放出一个α粒子后，其速度方向与磁场方向垂直，测得α粒子和反冲核的轨道半径之比为 44∶1，如图所示，则（　）



A．α粒子与反冲核的动量相同　　B．原来放射性元素的核电荷数为 90

C．反冲核的核电荷数为 86　　D．图中右侧是α粒子的运动轨迹

【例 4】（多选题）静止在 O 点的 $^{14}_{6}C$ 原子核发生衰变的同时，空间中加入如图所示的匀强电场。之后衰变产物 A、B 两粒子的运动轨迹 OA、OB 如图虚线所示，不计重力和两粒子间的相互作用，下列说法正确的是（　　）



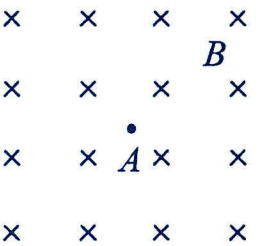
A．A、B 两粒子均带正电

B．$^{14}_{6}C$ 原子核发生的是α衰变

C．A 粒子为 $^{10}_{4}Be$

D．衰变后瞬间 A、B 粒子速度比为 5:2

【例 5】（多选题）在如图所示的匀强磁场中，有一个氡原子核 $\left(^{222}_{86}Rn\right)$ 静止在 A 点，某时刻氡原子核发生 α 衰变，若 α 粒子的径迹是纸面内的一个半径为 R_1 的圆，衰变产生的新核的径迹是纸面内的一个半径为 R_2 的圆。下列判断正确的有（　　）



A．两圆一定内切

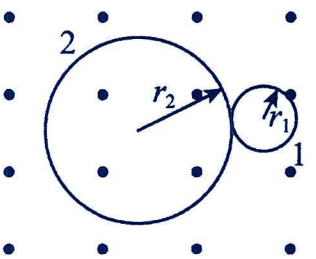
B．两圆一定都沿逆时针方向转动

C．$R_1:R_2=1:42$

D．在 α 粒子转动 42 圈之内，二者都不会相撞

【跟踪训练】

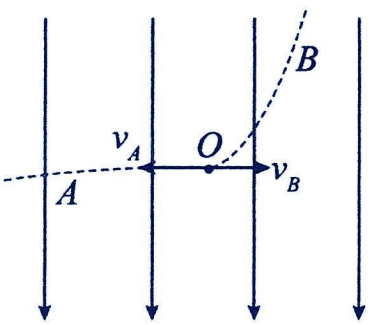
1．（多选题）将一个原来静止的 $^{238}_{92}U$ 核，静置在威耳逊云室的匀强磁场中，由于衰变放射出某种粒子，结果得到一张两个相切圆 1 和 2 的轨迹照片，两个相切圆的半径分别为 r_1、r_2（$r_1<r_2$），如图所示。下列说法正确的是（　　）



A．轨迹圆 2 是衰变后新核的轨迹　　B．该衰变方程为 $^{238}_{92}U\rightarrow^{234}_{90}Th+^{4}_{2}He$

C．该衰变方程为 $^{238}_{92}U\rightarrow^{238}_{93}Np+^{0}_{-1}e$　　D．两圆的半径比为 $r_1:r_2=1:45$

2．（多选题）空间中有如图所示的匀强电场，刚放入 O 点可视为静止的 $^{14}_{6}C$ 原子核立刻发生衰变。之后衰变产物 A、B 两粒子的初速度与电场强度垂直，A、B 两粒子的运动轨迹 OA、OB 如图虚线所示，不计粒子重力和两粒子间的库仑力作用，已知α粒子的质量 $m_\alpha=4.00151u$，$^{14}_{7}N$ 的质量 $m_N=14.00674u$，电子的质量 $m_e=0.00055u$，下列说法正确的是（ ）



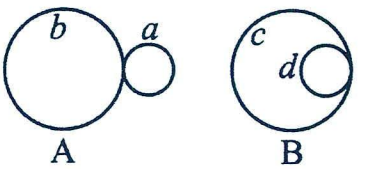
A．$^{14}_{6}C$ 原子核发生的是β衰变

B．A 粒子为β粒子

C．A、B 两粒子运动的加速度大小关系为 $a_B>>a_A$

D．A、B 两粒子运动的初速度大小相等

3．（多选题）A、B 是两种放射性元素的原子核，原来都静止在同一匀强磁场，其中一个放出α粒子，另一个放出β粒子，运动方向都与磁场方向垂直。图中 a、b 与 c、d 分别表示各粒子的运动轨迹，下列说法中正确的是（　　）



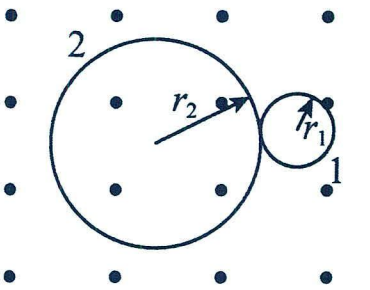
A．A 放出的是α粒子，B 放出的是β粒子

B．磁场方向可能垂直纸面向外

C．a 轨迹中的粒子比 b 轨迹中的粒子动量小

D．b 为α粒子运动轨迹，c 为β粒子运动轨迹

4．（多选题）如图所示，在匀强磁场中原来静止的原子核，由于衰变放射出某种粒子，结果得到一张两个相切圆 1 和 2 的径迹照片，已知两个相圆半径分别为r_1、r_2。下列说法正确的是（　　）



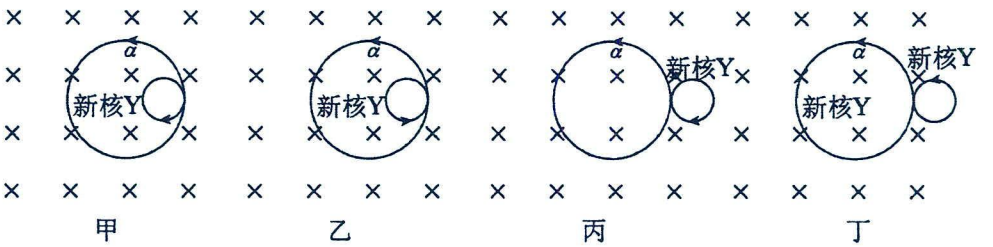
A．径迹 1 是衰变后新核的径迹

B．原子核发生的是α衰变，1 与 2 的径迹均是顺时针方向

C．若衰变方程是$^{238}_{92}\mathrm{U}\rightarrow^{234}_{90}\mathrm{Th}+^{4}_{2}\mathrm{He}$，则$r_1:r_2=1:45$

D．若衰变方程是$^{238}_{92}\mathrm{U}\rightarrow^{234}_{90}\mathrm{Th}+^{4}_{2}\mathrm{He}$，则衰变后新核和射出粒子的动能之比为$E_{k1}:E_{k2}=117:2$

5．（多选题）在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，一个静止的放射性原子核（$^{A}_{Z}\mathrm{X}$）发生α衰变放出了一个α粒子。放射出的α粒子（$^{4}_{2}He$）及生成的新核 Y 在与磁场垂直的平面内做圆周运动。α粒子的运动轨道半径为 R，质量为 m，电荷量为 q。下面说法正确的是（　　）



A．衰变后产生的α粒子与新核 Y 在磁场中运动的轨迹（箭头表示运动方向）正确的是图丙

B．衰变后经过时间$t=\dfrac{(A-4)\pi m}{(Z-2)Bq}$新核 Y 可能与α粒子再次相遇

C．α粒子的圆周运动可以等效成一个环形电流，环形电流大小为$\dfrac{q^2B}{2\pi m}$

D．若衰变过程中释放的核能都转化为α粒子和新核的动能，则衰变过程中的质量亏损为$\Delta m=\dfrac{A(BqR)^2}{2(A-4)mc^2}$

考点四：人工核转变

题型一：人工核转变

【精选例题】

【例 1】卢瑟福用α粒子轰击氮原子核（$^{14}_{7}\mathrm{N}$），产生了氧的同位素（氧 17）和一个粒子 X。这是人类第一次实验原子核的人工转变。在该原子核人工转变中释放的粒子 X 是（　　）

A．$^{1}_{0}\mathrm{n}$　　B．$^{1}_{1}\mathrm{H}$　　C．$^{0}_{-1}\mathrm{e}$　　D．$^{0}_{1}e$

【例 2】用粒子轰击氮核从原子核中打出了质子，该实验的核反应方程式是$\mathrm{X}+^{14}_{7}\mathrm{N}\rightarrow^{1}_{1}\mathrm{H}+^{17}_{8}\mathrm{O}$，粒子 X 为（　　）

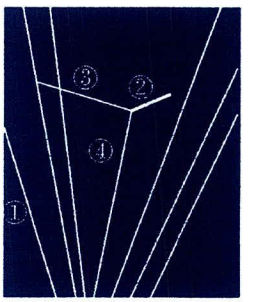
A．正电子$^{0}_{1}\mathrm{e}$　　B．中子$^{1}_{0}\mathrm{n}$　　C．氘核$^{1}_{2}\mathrm{H}$　　D．氦核$^{4}_{2}\mathrm{He}$

【例 3】“玉兔二号”巡视器的核电池中钚 238 的衰变方程为$^{238}_{94}\mathrm{Pu}\rightarrow^{234}_{92}\mathrm{U}+\mathrm{X}$，发现中子的核反应方程为$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{9}_{4}\mathrm{Be}\rightarrow\mathrm{Y}+^{1}_{0}\mathrm{n}$。下列说法正确的是（　　）

A．衰变方程中的 X 为$^{3}_{2}\mathrm{He}$　　B．钚 238 的衰变吸收能量

C．中子$^{1}_{0}\mathrm{n}$的质量数为零　　D．核反应方程中的 Y 为$^{12}_{6}\mathrm{C}$

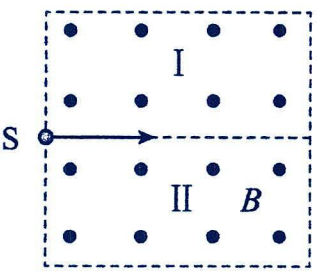
【例 4】如图为α粒子穿过充满氮气的云室时拍摄的照片，照片中的径迹（　　）



A．①是质子产生的　　B．②是氧核产生的

C．③是α粒子产生的　　D．④是氮核产生的

【例 5】科学史上，有一项发现的核反应方程是$^{14}_{7}\mathrm{N}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{17}_{8}\mathrm{O}+\mathrm{X}$。如图，让$^{17}_{8}\mathrm{O}$核和 X 核从 S 点沿图示垂直于磁场的方向进入有界匀强磁场区域，若仅考虑磁场对核的洛伦兹力，则在磁场中（　）



A．$^{17}_{8}\mathrm{O}$核和 X 核的径迹均在I区

B．$^{17}_{8}\mathrm{O}$核的径迹在II区，X 核的径迹在I区

C．$^{17}_{8}\mathrm{O}$核和 X 核运动的半径之比一定为17:8

D．$^{17}_{8}\mathrm{O}$核和 X 核运动的周期之比一定为17:8

【例 6】贝克勒尔在 120 年前首先发现了天然放射现象，如今原子核的放射性在众多领域中有着广泛应用。下列属于放射性衰变的是（　　）

A．$^{14}_{6}\mathrm{C}\rightarrow^{14}_{7}\mathrm{N}+^{0}_{-1}\mathrm{e}$　　B．$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{131}_{53}\mathrm{I}+^{103}_{39}\mathrm{Y}+2^{1}_{0}\mathrm{n}$

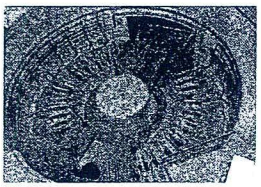
C．$^{2}_{1}\mathrm{H}+^{3}_{2}\mathrm{H}\rightarrow^{4}_{2}\mathrm{He}+^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D．$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{27}_{13}\mathrm{Al}\rightarrow^{30}_{15}\mathrm{P}+^{1}_{0}\mathrm{n}$

【跟踪训练】

1．如图所示，国家大科学工程——中国散裂中子源（CSNS）于2017年8月28日首次打靶成功，获得中子束流，可以为诸多领域的研究和工业应用提供先进的研究平台，下列核反应中放出的粒子为中子的是（　　）

A．${}^{14}_{7}\mathrm{N}$俘获一个α粒子，产生${}^{17}_{8}\mathrm{O}$并放出一个粒子　　B．${}^{27}_{13}\mathrm{Al}$俘获一个α粒子，产生${}^{30}_{15}\mathrm{P}$并放出一个粒子

C．${}^{11}_{5}\mathrm{B}$俘获一个质子，产生${}^{8}_{4}\mathrm{Be}$并放出一个粒子　　D．${}^{6}_{3}\mathrm{Li}$俘获一个质子，产生${}^{4}_{2}\mathrm{He}$并放出一个粒子



2．医学影像诊断设备PET/CT是诊断COVID—19的一种有效手段，其原理是借助于示踪剂可以聚集到病变部位的特点来发现疾病.示踪剂常利用同位素${}^{11}_{6}\mathrm{C}$作示踪原子标记，其半衰期仅有20min．${}^{11}_{6}\mathrm{C}$可由小型回旋加速器输出的高速质子流轰击${}^{14}_{7}\mathrm{N}$获得，下列说法正确的是（　）

A．用高速质子轰击${}^{14}_{7}\mathrm{N}$，生成${}^{11}_{6}\mathrm{C}$的同时释放出中子　B．用高速质子轰击${}^{14}_{7}\mathrm{N}$，生成${}^{11}_{6}\mathrm{C}$的同时释放出α粒子

C．1g的${}^{11}_{6}\mathrm{C}$经40min后，剩余${}^{11}_{6}\mathrm{C}$的质量为0.75g　　D．将${}^{11}_{6}\mathrm{C}$置于回旋加速器中，其半衰期可能发生变化

3．关于威耳逊云室探测射线，下列说法正确的是（　　）

①威耳逊云室内充满过饱和蒸气，射线经过时可显示出射线运动的径迹

②威耳逊云室中径迹粗而直的是α射线

③威耳逊云室中径迹细而长的是γ射线

④威耳逊云室中显示粒子径迹的原因是电离，所以无法由径迹判断射线所带电荷的正负

A．①②　　B．②③　　C．②④　　D．③④

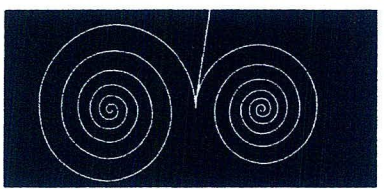
4．（多选题）在粒子物理的研究中，可以让粒子通过叫“云室”“气泡室”的装置，以显示它们的径迹，如图所示的是在液氢气泡室中拍摄到的带电粒子的径迹，气泡室中加有匀强磁场．关于粒子的径迹是一对紧绕的螺旋线的说法正确的是（　）

A．进入气泡室的是一对带相反电荷的粒子，在同一个磁场中它们所受的洛伦兹力方向相反

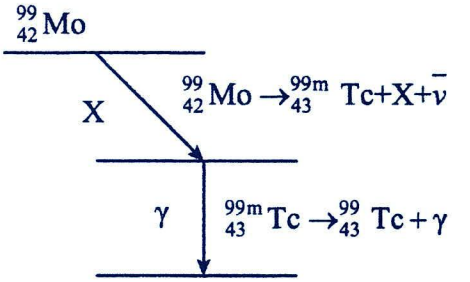
B．进入气泡室的粒子的比荷一定不同

C．粒子的径迹是螺旋线，是因为粒子在运动过程中能量减少

D．粒子的径迹是螺旋线，是因为粒子的带电荷量越来越少



5．（多选题）锝$^{-99m}$（Tc^{-99m}，m代表亚稳态同位素）是目前最广泛使用的核医药物，可用于甲状腺、骨骼、心肌、脑部等扫描检查。如图所示，铀核分裂得到的钼$^{-99}$（Mo^{-99}）衰变成锝$^{-99m}$，其过程为：$^{99}_{42}Mo \rightarrow {}^{99m}_{43}Tc + X + \bar{\nu}$（$\bar{\nu}$为不带电荷且质量非常小或近乎零的反微中子），接着将锝$^{-99m}$取出，并由注射或口服等方法送入人体内，在特定器官或组织发生衰变，其过程为：$^{99m}_{43}Tc \rightarrow {}^{99}_{43}Tc + \gamma$，释放出$\gamma$射线作为医学检测分析的讯号。下列有关此核医药物的叙述正确的是（　　）



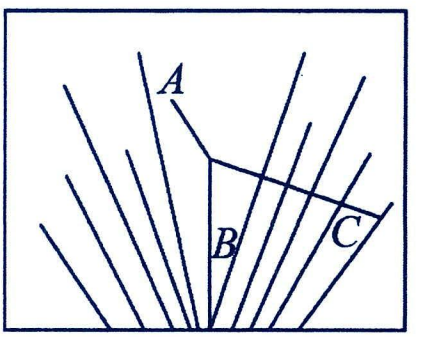
A．$^{99m}_{43}T_C$和$^{99}_{43}T_C$两者具有相同的化学性质

B．Mo^{-99}衰变成Tc^{-99m}过程中产生的X是电子

C．Tc^{-99m}衰变半衰期越长，医学检测分析效果越明显

D．γ射线为核外电子从高能级向低能级跃迁时放射的光子

6．用α射线照射充氮的云室（发生核反应$^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$），得到如图所示的照片，下列说法中正确的是（　）



A．A是α粒子的径迹，B是质子的径迹，C是新核的径迹

B．B是α粒子的径迹，A是质子的径迹，C是新核的径迹

C．C是α粒子的径迹，A是质子的径迹，B是新核的径迹

D．B是α粒子的径迹，C是质子的径迹，A是新核的径迹

题型二：放射性同位素应用

解题要点：

1.人工放射性同位素

(1)放射性同位素：有天然放射性同位素和人工放射性同位素两类，放射性同位素的化学性质相同。

(2)对放射性同位素的理解

① 原子序数大于或等于83的元素，都能自发地发出射线，原子序数小于83的元素，有的也能放出射线；

② 原子序数小于83的大多数元素相对稳定，无法自发地发生射线；

③ 居里夫妇发现低序数元素的同位素可以自发地发生射线，这种同位素成为放射性同位素；

④ 元素与该元素的同位素具有相同的化学性质。

(3)人工放射性同位素的发现1934年，约里奥·居里夫妇发现经过α粒子轰击的铝片中含有放射性磷$^{30}_{15}P$，核反应方程：$^{4}_{2}He + {}^{27}_{13}Al \rightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$

(4)人造放射性同位素的优点

① 放射强度容易控制；

② 可以制成各种所需的形状；

③ 半衰期很短，废料容易处理。

2.放射性同位素的应用

① 在工业上可以用γ射线来探测工件内部裂痕；

② 在工业上可以用α射线来消除静电；

③ 在农业上可以用γ射线照射种子，会使种子的遗传基因发生变异，从而培育出新品种；

④ 在农业上利用$^{30}_{15}P$作为示踪原子来研究农作物对磷肥的吸收情况。

3.放射性同位素的应防护：人类一直生活在放射性的环境中，过量的射线对人体组织有破坏作用，要防止放射性物质对水源、空气、用具等的污染。

【精选例题】

【例 1】同位素是指（　　）

A．核子数相同而质子数不同的原子　　B．核子数相同而中子数不同的原子

C．质子数相同而核子数不同的原子　　D．中子数相同而核子数不同的原子

【例 2】放射性同位素在工业、医疗、生物技术等领域都具有广泛应用，下列四个核反应方程中属于生成人工放射性同位素的是（　　）

A．$^{27}_{13}Al+^{4}_{2}He\rightarrow^{30}_{15}P+^{1}_{0}n$　　B．$^{235}_{92}U+^{1}_{0}n\rightarrow^{144}_{56}Ba+^{89}_{36}Kr+3^{1}_{0}n$

C．$^{238}_{92}U\rightarrow^{234}_{90}Th+^{4}_{2}He$　　D．$^{2}_{1}H+^{3}_{1}H\rightarrow^{4}_{2}He+^{1}_{0}n$

【例 3】有关放射性同位素$^{30}_{15}P$的下列说法中正确的是（　）

A．$^{30}_{15}P$与$^{30}_{14}X$互为同位素　　B．$^{30}_{15}P$与$^{31}_{15}P$具有不同的化学性质

C．用$^{30}_{15}P$制成化合物后它的半衰期变短

D．若磷肥中含有$^{30}_{15}P$，则可用$^{30}_{15}P$作为示踪原子，观察磷肥对植物的影响

【例 4】（多选题）^{14}C发生放射性衰变为^{14}N，半衰期约为 5700 年。已知植物存活其间，其体内^{14}C与^{12}C的比例不变；生命活动结束后，^{14}C的比例持续减少。现通过测量得知，某古木样品中^{14}C的比例正好是现代植物所制样品的四分之一。下列说法正确的是（　　）

A．该古木的年代距今约为 11400 年　　B．^{12}C、^{13}C、^{14}C具有相同的中子数

C．^{14}C衰变为^{14}N的过程中放出β射线　　D．增加样品测量环境的压强将加速^{14}C的衰变

【跟踪训练】

1．过量的放射线会对人体产生伤害，需要加以防范，下列做法中能防范放射线伤害的是（　　）

A．把放射性物质放在高温的环境里　　B．把放射性物质放在干燥的环境里

C．把放射性物质密封在铝盒内　　D．把放射性物质密封在铅罐内

2．核电站核泄漏的污染物中含有碘 131 和铯 137.碘 131 的半衰期约为 8 天，会释放β射线；铯 137 是铯 133 的同位素，半衰期约为 30 年，发生衰变期时会辐射γ射线．下列说法正确的是

A．碘 131 释放的β射线由氦核组成　　B．铯 137 衰变时辐射出的γ光子能量小于可见光光子能量

C．与铯 137 相比，碘 131 衰变更慢．　　D．与铯 133 和铯 137 含有相同的质子数

3．（多选题）有关放射性同位素 $^{15}_{8}O$ 的说法，正确的是( )

A．$^{15}_{8}O$ 与 $^{15}_{8}O$ 互为同位素

B．$^{15}_{8}O$ 与其同位素有相同的化学性质

C．用 $^{15}_{8}O$ 制成化合物后它的半衰期变长

D．$^{15}_{8}O$ 能释放正电子，可用其作示踪原子，观察磷肥对植物的影响

4．幽门螺杆菌可以引发多种胃病，因此能否准确、迅速地检测病人是否受到感染，治疗方案的选择是关键。现在医院里普遍选用的尿素是用无放射性的 ^{13}C 合成的，用质谱仪或光谱分析的方法检测呼出的二氧化碳中是否含有 ^{13}C，就可以判断病人的胃部是否被幽门螺杆菌感染，这种方法准确、迅速，现在已经得到了广泛应用，下列说法正确的是（　）

A．^{12}C、^{13}C、^{14}C 的化学性质不同　　B．^{12}C、^{13}C、^{14}C 的原子光谱不同

C．^{14}C 衰变后变为 ^{14}B　　D．^{14}C 衰变后生成的新核比 ^{14}C 的质量数少

考点五：核力与核能

解题要点：

1.四种相互作用力：万有引力、电磁相互作用力、强相互作用力、弱相互作用力。

2.核子：组成原子核的质子和中子统称为核子。

3.核力

①核力是强相互作用力，在原子核的尺度里，比库仑力大得多。

②核力是短程力:距离小于 $0.8\times10^{-15}m$，表现为斥力;距离在 $0.8\times10^{-15}m\sim1.5\times10^{-15}m$ 内，表现为引力;距离大于 $1.5\times10^{-15}m$，核力急剧减小。

③每个核子只跟临近的核子发生核力作用，这种性质称为核力的饱和性。

4.原子核的稳定问题

①质子与质子间既有核力也有库仑斥力，质子与中子或中子与中子间只有核力。

②随着核子数的增加，核子间的距离也会增加，距离增加，库仑力与核力均减小，但是核力减小得更快，当核力无法平衡库仑力时，原子核将不再稳定.

③由于中子不带电，中子间只有核力，没有库仑力，有助于原子核的稳定，这也是重核里中子数大于质子数的原因。但是中子数不能无限增长，当中子间的距离大到一定程度时，核力急剧下降，也会不稳定。

5.弱相互作用：弱相互作用是引起原子核β衰变的原因，即引起中子—质子转变的原因。弱相互作用也是短程力，其力程比强相互作用更短，只有 10^{-18} m。

题型一：核力

【精选例题】

【例 1】现代物理学认为，自然界存在着四种基本相互作用，那么引起原子核β衰变的是以下哪种相互作用（　　）

A．引力相互作用　　B．电磁相互作用

C．强相互作用　　D．弱相互作用

【例 2】（多选题）对于核力与四种基本相互作用，以下说法正确的是（　　）

A．核力是弱相互作用力，作用力很小　　B．核力是强相互作用的表现，是强力

C．核力使核子紧密结合为稳定的原子核　　D．核力是万有引力在短距离内的表现

【例 3】（多选题）关于原子内的相互作用力，下列说法正确的是（　　）

A．原子核与电子之间的作用力主要是电磁力

B．中子和质子间的作用力主要是核力

C．质子与质子间的核力，在8.0×10^{-15}m 的距离内远大于它们相互间的库仑力

D．原子核与电子之间的万有引力大于它们之间的电磁力

【例 4】（多选题）关于原子核的变化、核能及核力，下列说法正确的是（　　）

A．核力是一种弱相互作用，只能发生在原子核内相邻核子之间

B．某原子经过一次α衰变和两次β衰变后，核内质子数不变

C．放射性原子核 X 发生衰变，衰变产物的结合能之和一定大于原来 X 的结合能

D．原子核发生衰变时，不遵循能量守恒定律，但遵循动量守恒定律

【跟踪训练】

1．（多选题）关于四种基本相互作用，下列说法正确的是（　　）

A．原子核中质子间的万有引力和电磁力可以达到平衡

B．核力是强相互作用，在任何情况下都比库仑力大

C．弱相互作用是引起原子核β衰变的原因

D．强相互作用的力程大于弱相互作用的力程

2．（多选题）关于核力，下列说法中正确的是（　　）

A．核力是一种特殊的万有引力

B．原子核内只有质子和质子间有核力作用，而中子和中子之间、质子和中子之间则没有核力作用

C．核力是原子核稳定存在的原因　　D．核力是一种短程强相互作用

3．下列对核力的认识正确的是（　　）

A．任何物体之间均存在核力　　B．核力广泛存在于自然界中的核子之间

C．核力只存在于质子之间　　D．核力只发生在相距 1.5×10^{-15} m 内的核子之间

8．（多选题）对核力的认识，下列说法正确的是（　　）

A．任何核子之间均存在核力　　B．每个核子只跟邻近的核子发生核力作用

C．核力只存在于质子之间　　D．核力是原子核能稳定存在而不“分崩离析”的原因

题型二：质能方程、结合能与比结合能

解题要点：

1.结合能：原子核是核子凭借核力结合在一起构成的，要把它们分开需要的能量，叫作原子的结合能，也叫核能。

2.比结合能：原子核的结合能与核子数之比，叫作比结合能，也叫平均结合能。比结合能越大，原子核中核子结合得越牢固，原子核越稳定。

3.核能

(1)质能关系：$E=mc^2$。

(2)核能的释放：核子在结合成原子核时出现质量亏损Δm，其释放的能量$\Delta E=\Delta mc^2$。

(3)核能的吸收：原子核分解成核子时要吸收一定的能量，相应的质量增加Δm，吸收的能量为$\Delta E=\Delta mc^2$。

(4)质能方程仅仅表示质量与能量的数学关系,不能说质量转换为能量。

4.核能的计算方法

书写核反应方程 ⟶ 计算质量亏损Δm ⟶ 利用$\Delta E=\Delta mc^2$，计算释放的核能

(1)根据$\Delta E=\Delta mc^2$计算，计算时Δm的单位是“kg”，c的单位是“m/s”，ΔE的单位是“J”。

(2)根据$\Delta E=\Delta m\times 931.5$ MeV计算。

因1原子质量单位(u)相当于931.5 MeV的能量，所以计算时Δm的单位是“u”，ΔE的单位是“MeV”。

(3)根据核子比结合能来计算核能：原子核的结合能＝核子比结合能×核子数。

核反应中反应前系统内所有原子核的总结合能与反应后生成的所有新核的总结合能的差值，就是该核反应所释放(或吸收)的核能。

【精选例题】

【例1】核潜艇是以核反应堆为动力来源，若反应堆的一个核反应方程式为${}^{235}_{92}\mathrm{U}+{}^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow{}^{144}_{56}\mathrm{Ba}+{}^{89}_{36}\mathrm{Kr}+x\mathrm{Y}$，则（　　）

A．$x=1$，Y为Li元素　　B．$x=3$，Y为${}^{1}_{0}\mathrm{n}$

C．${}^{144}_{56}\mathrm{Ba}$有56个质子，144个中子　　D．${}^{144}_{56}\mathrm{Ba}$核比${}^{235}_{92}\mathrm{U}$核的比结合能小

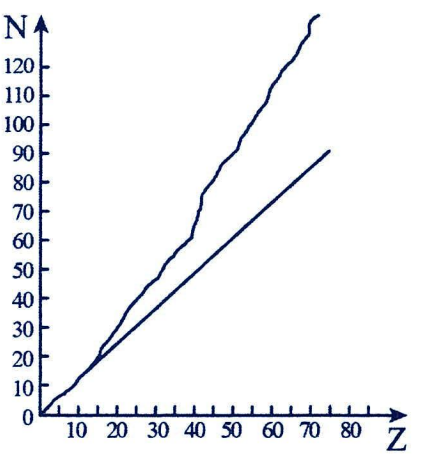
【例2】在自然界稳定的原子核中，中子数(N)和质子数(Z)之间的关系如图所示。根据图中所提供的信息及原子核的有关知识，对于在自然界中的稳定原子核，下列说法正确的是（　　）

A．较轻的原子核，质子数和中子数大致相等

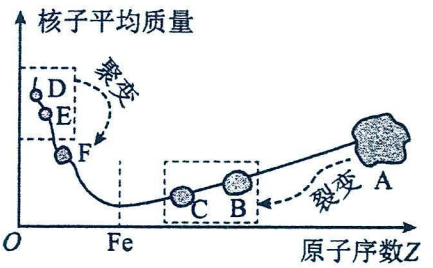
B．较重的原子核，质子数大于中子数

C．越重的原子核，质子数和中子数差值越小

D．在很大的原子核中，可以有质子数和中子数相等的情况



【例 3】研究表明原子核的质量虽然随着原子序数的增大而增大，但是二者之间并不成正比关系，其核子的平均质量（原子核的质量除以核子数）与原子序数的关系如图所示。一般认为大于铁原子核质量数（56）的为重核，小于则为轻核，下列对该图像的说法正确的是（　　）



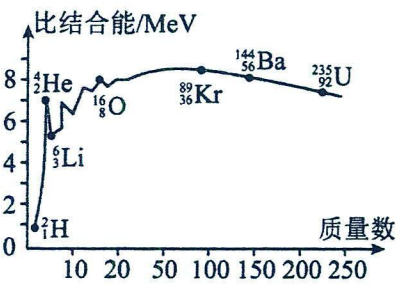
A．从图中可以看出，Fe 原子核最稳定

B．从图中可以看出，重核 A 裂变成原子核 B 和 C 时，由于重核 A 的结合能大于原子核 B 和 C 的总的结合能而释放核能

C．从图中可以看出，轻核 D 和 E 发生聚变生成原子核 F 时，由于轻核 D 和 E 的比结合能均大于原子核 F 的比结合能而释放核能

D．从图中可以看出，重核随原子序数的增加，其比结合能变大

【例 4】原子核的比结合能曲线如图所示。根据该曲线，下列判断正确的是（　　）



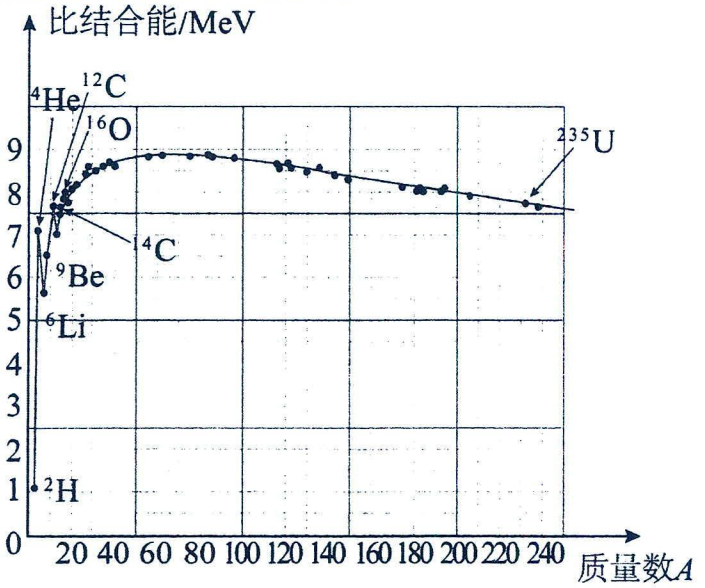
A．$^{4}_{2}$He 核的结合能约为 14 MeV

B．$^{6}_{3}$Li 核比 $^{4}_{2}$He 核更稳定

C．4 个 $^{4}_{2}$He 核反应生成 $^{16}_{8}$O 核时释放能量

D．$^{235}_{92}$U 核中核子的平均结合能比 $^{89}_{36}$Kr 核中的大

【例 5】下列说法中，正确的是（　　）



A．在真空中，光子的动量 $p=h\frac{c}{\lambda}$，其中 h 为普朗克常量，c 为光速，λ为波长

B．人类历史上第一次实现了原子核结构的人工转变的方程式为 $^{4}_{2}\mathrm{He}+^{14}_{8}\mathrm{N}\rightarrow{}^{16}_{8}\mathrm{O}+^{1}_{1}\mathrm{H}$

C．如图“比结合能—质量数”图像所示，锂原子核 $^{6}_{3}$Li 的比结合能小于氦原子核 $^{4}_{2}$He

D．玻尔的原子结构理论指出，电子围绕原子核运动的轨道是任意的

【跟踪训练】

1．几十亿年后太阳内部氢元素消耗殆尽，内部高温高压使三个氦核发生短暂的热核反应，被称为氦闪，核反应方程为$3{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow \mathrm{X}$，该反应放出的能量为$E$，真空中的光速为$c$。则下列说法中正确的是（　　）

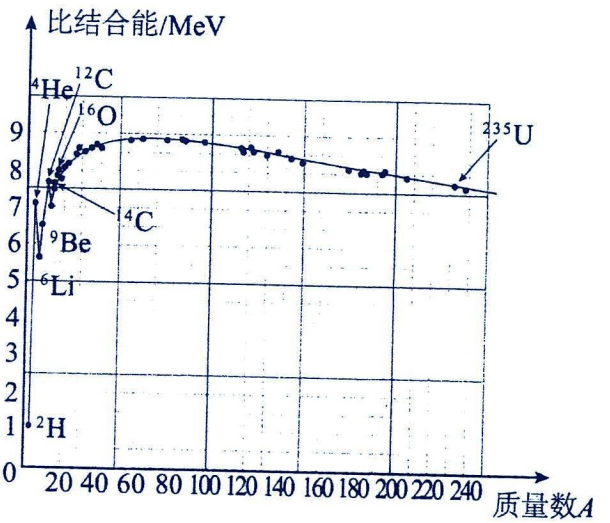
A．该反应属于α衰变

B．该反应的质量亏损为$\frac{E}{c^2}$

C．X核的平均结合能为$\frac{E}{12}$

D．X核中有12个中子

2．如图所示为不同原子核的比结合能随质量数A变化的图线，查德威克发现中子的核反应方程为${}_4^9\mathrm{Be}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow {}_Z^A\mathrm{X}+{}_0^1\mathrm{n}$。下列说法正确的是（　）



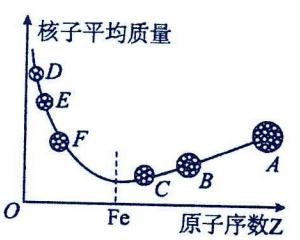
A．${}_Z^A\mathrm{X}$是${}_6^{14}\mathrm{C}$

B．${}_2^4\mathrm{He}$核的结合能大于${}_4^9\mathrm{Be}$核的结合能

C．${}_Z^A\mathrm{X}$核的平均核子质量小于${}_4^9\mathrm{Be}$核的平均核子质量

D．${}_4^9\mathrm{Be}$、${}_2^4\mathrm{He}$的总质量小于${}_Z^A\mathrm{X}$和${}_0^1\mathrm{n}$的总质量

3．人们发现，不同的原子核，其核子的平均质量（原子核的质量除以核子数）与原子序数有如图所示的关系。下列关于原子结构和核反应的说法正确的是（　　）



A．原子核D和E聚变成原子核F时会有质量亏损，要吸收能量

B．原子核A裂变成原子核B和C时会有质量亏损，要放出核能

C．已知原子核A裂变成原子核B和C时放出的γ射线能使某金属板逸出光电子，若增加γ射线强度，则逸出光电子的最大初动能增大

D．原子核D比原子核F更稳定

4．${}_7^{14}\mathrm{N}$与元素X作用后变成元素Y与${}_1^1\mathrm{H}$，此反应放出的核能为E_0；${}_6^{12}\mathrm{C}$与元素X作用后变成${}_8^{16}\mathrm{O}$。已知${}_7^{14}\mathrm{N}$、Y，${}_6^{12}\mathrm{C}$、${}_8^{16}\mathrm{O}$的比结合能分别为E_1、E_2、E_3、E_4，下列说法正确的是（　）

A．元素X是β粒子

B．Y与${}_8^{16}\mathrm{O}$不是同位素

C．X比结合能为$\frac{17E_2-E_0-14E_1}{4}$

D．${}_6^{12}\mathrm{C}$与X作用释放核能为$16E_4-12E_3$

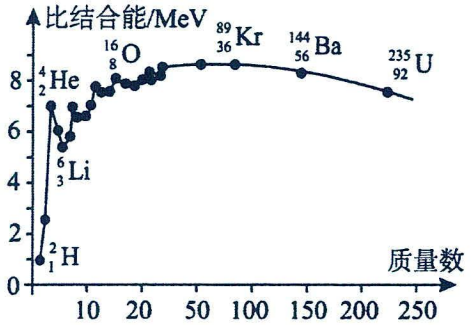
5．如图所示，图甲为原子核的比结合能与质量数关系曲线，图乙为原子核的平均核子质量与原子序数的关系曲线，根据两曲线，下列说法正确的是（　　）

A．根据图甲可知，$^{3}_{2}\mathrm{He}$核的结合能约为 7MeV

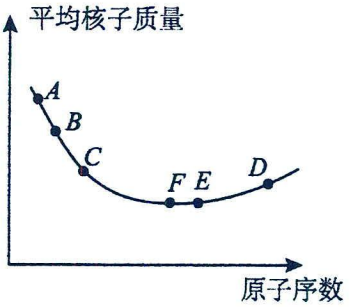
B．根据图甲可知，$^{235}_{92}\mathrm{U}$ 核的结合能比$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ 核的结合能更大

C．根据图乙可知，核 D 裂变成核 E 和 F 的过程中，比结合能减小

D．根据图乙可知，若 A、B 能结合成 C，结合过程一定要吸收能量



图甲



图乙

题型三：质量亏损与能量

【精选例题】

【例 1】一个中子$^{1}_{0}\mathrm{n}$被$^{235}_{92}\mathrm{U}$捕获后生成$^{136}_{54}Xe$和$^{90}_{38}Sr$的过程中释放出ΔE 的核能。已知真空中的光速为 c，下列说法正确的是（　　）

A．该反应是原子核的聚变

B．$^{235}_{92}\mathrm{U}$没有放射性

C．该反应过程中的质量亏损为$\dfrac{\Delta E}{c^2}$

D．$^{235}_{92}\mathrm{U}$的比结合能为$\dfrac{\Delta E}{235}$

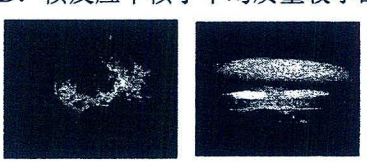
【例 2】科学家发现太阳的核聚变反应区只是中心很小的一部分，由于太阳强大的引力和磁场的束缚，使太阳内部的能量可以向外持续稳定地释放，而不会像氢弹那样瞬间爆炸，这就是可控核聚变技术的由来。太阳内部核聚变反应的一种可能形式为$^{2}_{1}\mathrm{H}+^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow\mathrm{X}+^{1}_{0}\mathrm{n}$，设$^{2}_{1}\mathrm{H}$、$^{3}_{1}\mathrm{H}$、X 和$^{1}_{0}\mathrm{n}$的质量分别为$m_1$、$m_2$、$m_3$和$m_4$，光速为 c，则下列说法正确的是（　　）

A．X 是$^{3}_{2}\mathrm{He}$

B．核反应中比结合能较小的原子核变成了比结合能较大的原子核

C．该核反应释放的核能为$\left(m_3+m_4-m_1-m_2\right)c^2$

D．核反应中核子平均质量较小的原子核变成了核子平均质量较大的原子核



【例 3】2023 年 4 月 12 日，我国全超导托卡马克核聚变实验装置（人造太阳）成功实现稳态高约束模式等离子体运行 403 秒，对提升核聚变能源经济性、可行性，加快实现聚变发电具有重要意义。实验装置内核反应方程为 ${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$。已知质子的质量为 m_p，中子的质量为 m_n，${}_1^2\mathrm{H}$、${}_1^3\mathrm{H}$、${}_2^4\mathrm{He}$ 原子核的质量分别为 m_1、m_2、m_3，光在真空中的速度为 c。下列说法正确的是（　　）

A．核聚变在常温下即可进行

B．${}_2^4\mathrm{He}$ 的结合能小于 ${}_1^2\mathrm{H}$ 的结合能

C．1 个 ${}_1^2\mathrm{H}$、1 个 ${}_1^3\mathrm{H}$ 聚变释放的能量为 $\left[\left(m_1+m_2\right)-m_3\right]c^2$

D．${}_2^4\mathrm{He}$ 的结合能为 $\left[\left(2m_\mathrm{p}+2m_\mathrm{n}\right)-m_3\right]c^2$

【例 4】将铀原料投入核电站的核反应堆中，其中一种核反应是：$\mathrm{X}+{}_{92}^{235}\mathrm{U}\rightarrow{}_{54}^{139}\mathrm{Xe}+{}_{38}^{95}\mathrm{Sr}+2\mathrm{X}$，已知 ${}_{92}^{235}\mathrm{U}$、${}_{54}^{139}\mathrm{Xe}$、${}_{38}^{95}\mathrm{Sr}$ 的比结合能分别为 7.6MeV、8.4MeV、8.7MeV。则（　　）

A．该核反应中的 X 是质子

B．投入核反应堆后，铀 235 的半衰期变短

C．1kg 铀矿石释放的能量为 $9.0\times10^{16}\mathrm{J}$

D．Xe 与 Sr 的平均核子质量相差约 $5.3\times10^{-31}\mathrm{kg}$

【跟踪训练】

1．静止的镭核 ${}_{88}^{226}\mathrm{Ra}$ 发生 α 衰变，释放出的 α 粒子的动能为 E_0，假设衰变时能量全部以动能形式释放出来，则衰变过程中总的质量亏损是（　）

A．$\dfrac{2E_0}{111c^2}$　　B．$\dfrac{113E_0}{111c^2}$　　C．$\dfrac{E_0}{c^2}$　　D．$\dfrac{2E_0}{c^2}$

2．（多选题）微型核电池是利用微型和纳米级系统开发出的一种超微型电源设备，这种设备通过放射性物质的衰变，释放出带电粒子，从而获得持续电流。镍 63$\left({}_{28}^{63}\mathrm{Ni}\right)$会发生 β 衰变，用它制成的大容量核电池，续航可超百年。已知镍 63$\left({}_{28}^{63}\mathrm{Ni}\right)$发生 β 衰变过程中的质量亏损为 Δm，真空中光速为 c。下列判断正确的是（　　）

A．镍 63 的衰变方程为 ${}_{28}^{63}\mathrm{Ni}\rightarrow{}_{29}^{64}\mathrm{Cu}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$

B．β 粒子来源的核反应方程为 ${}_0^1\mathrm{n}\rightarrow{}_1^1\mathrm{H}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$

C．升高镍 63 的温度，可使其半衰期缩短

D．镍 63 发生衰变时释放的能量为 Δmc^2

3．（多选题）太阳的能量来源是轻核的聚变，太阳中存在的主要元素是氢，核聚变反应可以看作是 4 个氢核（${}_1^1\mathrm{H}$）结合成 1 个氦核同时放出 2 个正电子的过程。下表中列出了部分粒子的质量：（取 $1\mathrm{u}=\dfrac{1}{6}\times10^{-26}\mathrm{kg}$）以下说法正确的是（　　）

粒子名称	质子(p)	α粒子	正电子(e)	中子(n)
质量/u	1.0078	4.0026	0.0005	1.0087

A．核反应方程为 $4{}_1^1\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+2{}_{+1}^{0}\mathrm{e}$

B．4 个氢核结合成 1 个氦核时的质量亏损约为 0.0276kg

C．4 个氢核结合成 1 个氦核时的质量亏损约为 $4.6\times10^{-29}\mathrm{kg}$

D．聚变反应过程中释放的能量约为 $4.14\times10^{-12}\mathrm{J}$

4．玉兔二号月球车是采用核能来提供能量的，它的核能电池系统主要包括两个组成部分：一个装填钚$\left(^{238}_{94}\mathrm{Pu}\right)$二氧化物的热源和一组固体热电偶。该装置使钚 238 衰变产生的核能转化为电能，这一系统设计使用寿命为 14 年。钚 238 的半衰期为 88 年，原来静止的一个钚 238 衰变时放出粒子α和γ光子，生成原子核 X。已知钚 238、α粒子、X 的质量分别为m_1、m_2、m_3，普朗克常量为h，真空中的光速为c，下列说法正确的是（　　）

A．X 的中子数比钚 238 的中子数少 4 个　　B．经过 176 年，钚 238 将全部衰变

C．钚 238 衰变过程一定有质量亏损，释放出能量　　D．γ光子的波长小于$\dfrac{h}{(m_1-m_2-m_3)c}$

考点六：核裂变与核聚变

解题要点：

1.定义：质量数较大的原子核受到高能粒子的轰击而分裂成几个质量数较小的原子核的过程。

2.特点

(1)裂变过程中释放出巨大能量。

(2)裂变的同时能够释放出 2～3(或更多)个中子。

(3)裂变的产物不是唯一的。对于铀核裂变有二分裂、三分裂和四分裂形式，但三分裂和四分裂概率比较小。

3.典型的裂变反应方程：$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{144}_{56}\mathrm{Ba}+^{89}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}$；$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{136}_{54}\mathrm{Xe}+^{90}_{38}\mathrm{Sr}+10^{1}_{0}\mathrm{n}$。

4.链式反应：由重核裂变产生的中子使核裂变反应一代接一代继续下去的过程。

5.临界体积和临界质量：裂变物质能够发生链式反应的最小体积及其相应的质量。

6.裂变的应用：原子弹、核反应堆。

7.核电站原理：核电站是利用重核裂变释放的核能发电的，它的核心设施是核反应堆，主要由以下几部分组成.

① 燃料：钟棒；② 慢化剂：石墨、重水、普通水（轻水）；③ 控制棒：镉棒。

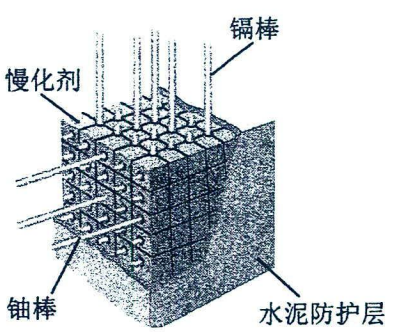
慢化剂的作用：铀核容易捕获慢中子而发生核反应，核裂变产生的中子速度过快，不容易被铀核“捕捉”发生碰撞，实验证明中子的速度与热运动的速度相当时，更容易被轴的原子核“捕捉”，故可采用石墨、重水、普通水作慢化剂，使快中子减速为慢中子。

控制棒的作用：为控制能量释放的速度，需控制中子的数目，采用镉棒作为控制棒来吸收中子，控制链式反应的速度，防止发生核爆炸。

8.工作原理：核燃料裂变释放的能量，使反应区温度升高。

9.能量输出：水或液态的金属钠等流体在反应堆内外循环流动，把反应堆内的热量传输出去，用于发电。

10.核污染的处理：在反应堆的外面需要修建很厚的水泥层，用来屏蔽裂变产物放出的各种射线。核反应堆中的核废料具有很强的放射性，需要装入特制的容器，深埋地下。



题型一：核裂变

【精选例题】

【例 1】如图所示为核反应堆的示意图，铀棒是核燃料，其中一种反应方程为$^{233}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{144}_{56}\mathrm{Ba}+^{89}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}$，则下列说法正确的是（　　）

A．铀核的比结合能比钡核的小　　B．该反应为热核反应

C．镉棒插入深一些可增大链式反应的速度　　D．铀核的半衰期会受到环境压强的影响

【例 2】钍基熔盐堆是第四代核能反应堆，具有更安全、更清洁的特点，该反应堆以钍232（$^{232}_{90}\mathrm{Th}$）为核燃料。再生层钍232（$^{232}_{90}\mathrm{Th}$）俘获一个中子后会变成钍233（$^{233}_{90}\mathrm{Th}$），钍233（$^{233}_{90}\mathrm{Th}$）不稳定，经过多次β衰变转化成易裂变铀233（$^{233}_{92}\mathrm{U}$）。下列说法正确的是（　　）

A．钍 232 和铀 233 的半衰期不相同　　B．β衰变中的电子是来源于原子核外的电子

C．钍 232 有 90 个中子，142 个质子　　D．铀 233 的裂变方程可能为 $^{233}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{142}_{56}\mathrm{Ba}+^{82}_{36}\mathrm{Kr}+2^{1}_{0}\mathrm{n}$

【例 3】我国自主研发的“玲珑一号”是全球首个陆上商用小型核反应堆。未来或将应用于我国的核动力航母。“玲珑一号”中有一种核反应方程是 $^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{144}_{56}\mathrm{Ba}+^{X}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}+\gamma$，则（　　）



A．$^{255}_{92}\mathrm{U}$ 比 $^{144}_{56}\mathrm{Ba}$ 的比结合能小　　B．核反应方程中的 X 等于 88

C．γ射线是 $^{235}_{92}\mathrm{U}$ 核由高能级向低能级跃迁放出的　　D．γ射线的频率比 X 射线的频率低

【例 5】我国第四代反应堆——钍基熔盐堆能源系统（TMSR）研究已获重要突破。在相关中企发布熔盐反应堆驱动的巨型集装箱船的设计方案之后，钍基熔盐核反应堆被很多人认为是中国下一代核动力航母的理想动力。钍基熔盐核反应堆的核反应方程式主要包括两个主要的核反应，其中一个是：$^{233}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{142}_{x}\mathrm{Ba}+^{y}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}$。已知核$^{142}_{x}\mathrm{Ba}$、$^{233}_{92}\mathrm{U}$、$^{y}_{36}\mathrm{Kr}$、$^{1}_{0}\mathrm{n}$的质量分别为是141.9134u、233.0154u、88.9059u、1.0087u，根据质能方程，1u 物质的能量相当于 931MeV。下列说法正确的是（　　）

A．核反应方程中的$x=56$，$y=89$

B．一个$^{233}_{92}\mathrm{U}$核裂变放出的核能约为 196.36MeV

C．核裂变放出一个光子，若该光子撞击一个粒子后动量大小变小，则波长会变短

D．核反应堆是通过核裂变把核能直接转化为电能发电

【跟踪训练】

1．（多选题）下列说法正确的有（　　）

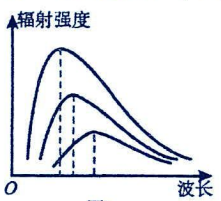


图1

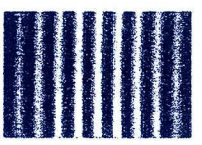


图2

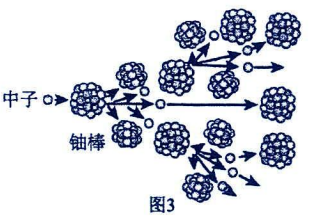


图3

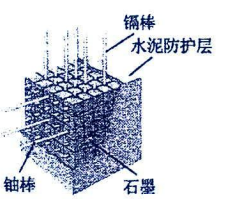


图4

A．图 1 可以看出随着温度的升高黑体辐射的强度的极大值向波长较长的方向移动

B．图 2 电子的干涉图像说明物质波是一种概率波

C．图 3 链式反应的示意图，铀块的体积足够大反应才能一代一代继续下去

D．图 4 核电反应堆示意图，控制棒插入深一些，让它吸收更多中子，反应速率会慢一些

2．核动力航空母舰因其性能强劲被称为海上霸主，它利用可控核裂变释放的核能获得动力。有一种核裂变的方程为 $^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow\mathrm{X}+^{94}_{38}\mathrm{Sr}+10^{1}_{0}\mathrm{n}$，关于该核裂变，下列说法正确的是（　）

A．X 的核子数为 141　　B．X 的中子数为 75

C．核反应方程可以简化为 $^{235}_{92}\mathrm{U}\rightarrow\mathrm{X}+^{94}_{38}\mathrm{Sr}+9^{1}_{0}\mathrm{n}$　　D．X 比 $^{235}_{92}\mathrm{U}$ 稳定

3．铀原子核既可发生衰变，也可发生裂变。其衰变方程为 $^{238}_{92}\mathrm{U}\rightarrow^{234}_{90}\mathrm{Th}+\mathrm{X}$，裂变方程为 $^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow\mathrm{Y}+^{89}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}$，其中 $^{235}_{92}\mathrm{U}$、$^{1}_{0}\mathrm{n}$、Y、$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ 的质量分别为 m_1、m_2、m_3、m_4，光在真空中的传播速度为 c。下列叙述正确的是（　）

A．$^{235}_{92}\mathrm{U}$ 衰变是 α 衰变，α 射线可以用来测量钢板的厚度　　B．$^{235}_{92}\mathrm{U}$ 裂变时释放的能量为 $(m_1-3m_2-m_3-m_4)c^2$

C．若提高温度，$^{235}_{92}\mathrm{U}$ 的半衰期将会变小　　D．Y 原子核中含有 88 个中子

4．钍基熔盐核反应堆使用了先进的液态燃料和高温熔盐冷却剂，当中子与含有 $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ 和 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 的氟化物溶液碰撞时，可以使 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 发生裂变反应，其典型产物是 $^{142}_{56}\mathrm{Ba}$ 和 $^{89}_{36}\mathrm{Kr}$，并将 $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ 转化为新的 $^{233}_{92}\mathrm{U}$，这样就形成了链式反应，裂变反应产生的热能通过熔盐循环传递到换热器中，并通过蒸汽轮机发电。下列说法正确的是（　）

A．$^{233}_{92}\mathrm{U}$ 发生裂变反应的方程为 $^{233}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{142}_{56}\mathrm{Ba}+^{89}_{36}\mathrm{kr}+4^{1}_{0}\mathrm{n}$　　B．$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ 的结合能大于 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 的结合能

C．$^{89}_{36}\mathrm{Kr}$ 的比结合能大于 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 的比结合能　　D．用中子轰击 $^{233}_{92}\mathrm{U}$ 一定会发生链式反应

题型二：核聚变

解题要点;

1.定义：两个轻核结合成质量较大的核的反应过程。

2.条件必须使它们的距离达到 10^{-15} m 以内;轻核聚变反应必须在高温下进行，因此又叫热核反应。

3.特点：①产能效率高；②燃料的储量丰富；③安全、清洁。

4.典型的聚变反应方程：$^{2}_{1}\mathrm{H}+^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{4}_{2}\mathrm{He}+^{1}_{0}\mathrm{n}+17.6\ \mathrm{MeV}$

5.核反应的四种类型

类型		可控性	核反应方程典例	
衰变	α衰变	自发	$^{238}_{92}\mathrm{U}\rightarrow^{234}_{90}\mathrm{Th}+^{4}_{2}\mathrm{He}$	
	β衰变	自发	$^{234}_{90}\mathrm{Th}\rightarrow^{234}_{91}\mathrm{Pa}+^{0}_{-1}\mathrm{e}$	
人工转变		人工控制	$^{14}_{7}\mathrm{N}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{17}_{8}\mathrm{O}+^{1}_{1}\mathrm{H}$	卢瑟福发现质子
			$^{4}_{2}\mathrm{He}+^{9}_{4}\mathrm{Be}\rightarrow^{12}_{6}\mathrm{C}+^{1}_{0}\mathrm{n}$	查德威克发现中子
			$^{27}_{13}\mathrm{Al}+^{4}_{2}\mathrm{He}\rightarrow^{30}_{15}\mathrm{P}+^{1}_{0}\mathrm{n}$	约里奥·居里夫妇
			$^{30}_{15}\mathrm{P}\rightarrow^{30}_{14}\mathrm{Si}+^{0}_{1}\mathrm{e}$	发现放射性同位素及正电子
重核裂变		比较容易进行人工控制	$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{144}_{56}\mathrm{Ba}+^{89}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}$	
			$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{0}\mathrm{n}\rightarrow^{136}_{54}\mathrm{Xe}+^{90}_{38}\mathrm{Sr}+10^{1}_{0}\mathrm{n}$	
轻核聚变		除氢弹外无法控制	$^{2}_{1}\mathrm{H}+^{3}_{1}\mathrm{H}\rightarrow^{4}_{2}\mathrm{He}+^{1}_{0}\mathrm{n}$	

【精选例题】

【例 1】下列方程中属于核聚变的是（　　）

A. ${}_1^3\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+2{}_0^1\mathrm{n}$

B. ${}_0^1\mathrm{n}+{}_{12}^{24}\mathrm{Mg}\rightarrow{}_{11}^{24}\mathrm{Na}+{}_1^1\mathrm{H}$

C. ${}_{27}^{60}\mathrm{Co}\rightarrow{}_{28}^{60}\mathrm{Ni}+{}_{-1}^{0}\mathrm{e}$

D. ${}_{92}^{235}\mathrm{U}+{}_0^1\mathrm{n}\rightarrow{}_{55}^{137}\mathrm{Cs}+{}_{37}^{88}\mathrm{Rb}+11{}_0^1\mathrm{n}$

【例 2】已知氘核质量为m_1，氚核质量为m_2，氦核质量为m_3，中子质量为m_4。关于氘与氚聚变成氦，下列说法正确的是（　　）

A. 核反应方程式为${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}={}_2^3\mathrm{He}+{}_0^1\mathrm{n}$

B. 氚核的比结合能比氦核的小

C. 氘核与氚核的间距达到$10^{-10}\mathrm{m}$就能发生核聚变

D. 该核反应释放的核能是$(m_3+m_4-m_1-m_2)c^2$

【例 3】恒星内部发生着各种热核反应，其中“氦燃烧”的核反应方程为${}_2^4\mathrm{He}+{}_2^4\mathrm{He}\rightarrow{}_4^4\mathrm{Be}+\gamma$，${}_4^4\mathrm{Be}$是不稳定的粒子，其半衰期为$T$，则下列说法正确的是（　　）

A. ${}_4^4\mathrm{Be}$的衰变需要外部作用激发才能发生

B. 经过两个半衰期T，剩下的${}_4^4\mathrm{Be}$粒子占开始时的$\frac{1}{8}$

C. 核反应的过程中质量数守恒，可知$A=8$

D. “氦燃烧”的核反应是聚变反应，反应过程中没有质量亏损

【例 4】我国科学家通过分析“嫦娥六号”探测器带回来的月壤发现，月球上含有丰富的${}_2^3\mathrm{He}$（氦 3），它是安全的核聚变燃料，${}_2^3\mathrm{He}$聚变的核反应方程为${}_2^3\mathrm{He}+{}_2^3\mathrm{He}\rightarrow2\mathrm{X}+{}_2^4\mathrm{He}+12.86\mathrm{MeV}$，1u 相当于 931 MeV，下列表述正确的是（　　）

A. X 为中子

B. 方程中核子平均释放的能量约为 4.28 MeV

C. 反应后总质量减少 0.0183 u

D. ${}_2^3\mathrm{He}$的比结合能比${}_2^4\mathrm{He}$的比结合能小

【跟踪训练】

1. 1967 年我国第一颗氢弹成功爆炸，氢弹爆炸的核反应方程为${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+\mathrm{X}$，下列说法中正确的是（　　）

A. 该核反应为α衰变

B. 该核反应为裂变反应

C. X 粒子为电子

D. ${}_2^4\mathrm{He}$的比结合能大于${}_1^3\mathrm{H}$的比结合能

2. 已知氘核${}_1^2\mathrm{H}$质量为 2.0141u，氦核${}_2^4\mathrm{He}$质量为 4.0026u，1u 相当于 931.5MeV 的能量，则两个氘核结合成一个氦核时（　　）

A. 释放 24MeV 的能量

B. 释放 1852MeV 的能量

C. 吸收 24MeV 的能量

D. 吸收 1852MeV 的能量

3．用中子轰击锂核，可产生α粒子和氚核，核反应方程为${}_0^1\mathrm{n}+{}_3^6\mathrm{Li}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+{}_1^3\mathrm{H}$；氚是“人造小太阳”的核燃料，“人造小太阳”中的核反应方程为${}_1^2\mathrm{H}+{}_1^3\mathrm{H}\rightarrow{}_2^4\mathrm{He}+\mathrm{X}$，关于两个核反应，下列说法正确的是（　　）

A．X是质子　　B．X是中子

C．两个核反应均为α衰变　　D．两个核反应均为轻核聚变

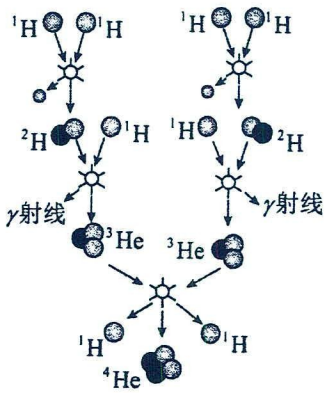
4．电影《流浪地球2》中太阳核心聚变加速，导致内核温度高达一亿度，足以点燃太阳，产生氦闪。如图所示，现实中太阳内层的氢发生聚变，每4个${}_1^1\mathrm{H}$会聚变成1个${}_2^4\mathrm{He}$，即质子—质子链反应。下列说法不正确的是（　　）

A．两个${}_1^1\mathrm{H}$合成${}_1^2\mathrm{H}$的过程中产生一个正电子

B．${}_1^1\mathrm{H}$比${}_1^2\mathrm{H}$少一个中子

C．${}_1^2\mathrm{H}$和${}_1^1\mathrm{H}$聚合成${}_2^3\mathrm{He}$，反应前后质量数守恒

D．${}_2^4\mathrm{He}$的比结合能小于${}_1^2\mathrm{H}$的比结合能



物理星空高中物理好资料
要刷就刷
练最好的题型提最狠的分