**【核心问题】专题8--- 分子动理论 气体实验定律**

福建省普通教育教学研究室物理学科编写组

【**材料导读**】

本专题为选考内容，涉及物理概念较多，对考生的理解能力、推理论证能力、模型建构能力等物理学科关键能力有一定的要求。复习时应注意以下几个方面。

（1）加强对基本概念和基本规律的理解。强化概念和规律的认识，如布朗运动、分子动能、分子势能、物体内能、热传递、分子力等概念；分子力的特点、分子力随分子间距离的变化关系、分子势能随分子间距离的变化关系、分子动能与温度的关系、三个气体实验定律、热力学第一定律及热力学第二定律等基本定律。

（2）固体、液体部分内容常结合实例考查晶体和非晶体的特点及液体表面张力产生的原因；应学会用表面张力解释一些生活现象。

（3）建立宏观量与微观量的关系。对一个物体而言,其分子动能与物体的温度相对应,其分子势能与物体的体积相对应。物体的内能与物体的温度、体积、物质的量相对应。物体内能的改变同做功和热传递相对应。

（4）加强贴近高考的典型题训练。精选符合考试大纲且贴近高考的试题,巩固本专题的基本概念和基本规律，提高分析问题和解决问题的能力。

【**典例分析**】

**例1**热等静压设备广泛应用于材料加工中。该设备工作时，先在室温下把惰性气体用压缩机压入到一个预抽真空的炉腔中，然后炉腔升温，利用高温高气压环境对放入炉腔中的材料加工处理，改善其性能。一台热等静压设备的炉腔中某次放入固体材料后剩余的容积为0.13 m3，炉腔抽真空后，在室温下用压缩机将10瓶氩气压入到炉腔中。已知每瓶氩气的容积为3.2×10 -2 m3，使用前瓶中气体压强为1.5×107 Pa，使用后瓶中剩余气体压强为2.0×106 Pa；室温温度为27 ℃。氩气可视为理想气体。

【B】（1）求压入氩气后炉腔中气体在室温下的压强；

【A】（2）将压入氩气后的炉腔加热到1227 ℃，求此时炉腔中气体的压强。

**【答案】**（1）*p*2＝3.2×107 Pa （2）*p*3＝1.6×108 Pa

**【解析】**

（1）设初始时每瓶气体的体积为*V*0，压强为*p*0；使用后气瓶中剩余气体的压强为*p*1。假设体积为*V*0、压强为*p*0的气体压强变为*p*1时，其体积膨胀为*V*1。由玻意耳定律

*p*0*V*0＝*p*1*V*1 ①

被压入进炉腔的气体在室温和*p*1条件下的体积为

*V*1′＝*V*1－*V*0 ②

设10瓶气体压入完成后炉腔中气体的压强为*p*2，体积为*V*2。由玻意耳定律

*p*2*V*2＝10*p*1*V*1′ ③

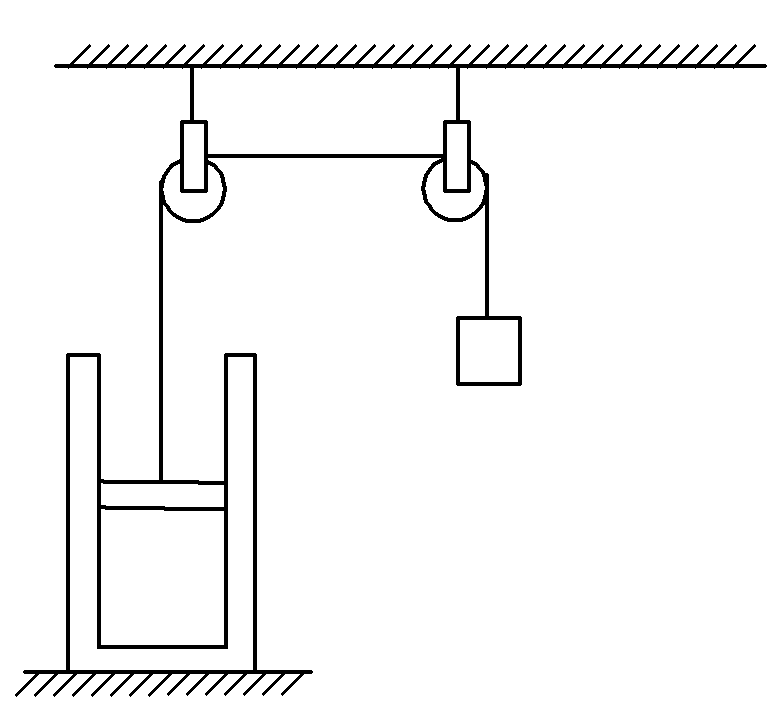
联立①②③式并代入题给数据得 *p*2＝3.2×107 Pa ④

（2）设加热前炉腔的温度为*T*0，加热后炉腔温度为*T*1，气体压强为*p*3，由查理定律

＝ ⑤

联立④⑤式并代入题给数据得 *p*3＝1.6×108 Pa ⑥

例2 如图，汽缸内封闭一定质量的某种理想气体，活塞通过滑轮和一重物连接并保持平衡，已知活塞距缸口*h*＝50 cm，活塞面积*S*＝10 cm2，封闭气体的体积为*V*1＝1 500 cm3，温度为0 ℃，大气压强*p*0＝1.0×105 Pa，重物重力*G*＝50 N，活塞重力及一切摩擦不计.缓慢升高环境温度，封闭气体吸收了*Q*＝60 J的热量，使活塞刚好升到缸口.整个过程重物未触地，求



【A】（1）活塞刚好升到缸口时，气体的温度是多少？

【B】（2）汽缸内气体对外界做多少功？

【B】（3）气体内能的变化量为多少？

**【答案】**（1）*T*2＝364 K（2）*W*＝25 J （3）Δ*U*＝35 J

**【解析】**

（1）封闭气体的初态：*V*1＝1 500 cm3，*T*1＝273 K

末态：*V*2＝1 500 cm3＋50×10 cm3＝2 000 cm3

缓慢升高环境温度，封闭气体做等压变化，则有

＝ ①

解得 *T*2＝364 K ②

（2）设封闭气体做等压变化时的压强为*p*，对活塞有

*P*0*S*＝*pS*＋*G* ③

汽缸内气体对外界做功

*W*＝*pSh* ④

解得 *W*＝25 J ⑤

（3）由热力学第一定律得，汽缸内气体内能的变化量

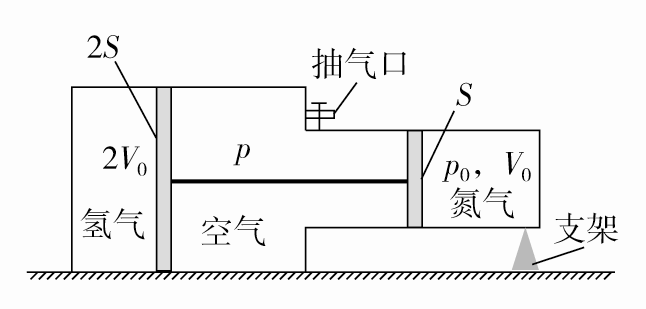
Δ*U*＝*Q*－*W* ⑥

得 Δ*U*＝35 J ⑦

故汽缸内的气体内能增加了35 J。

例3 如图，一容器由横截面积分别为2*S*和*S*的两个汽缸连通而成，容器平放在水平

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2*V*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



【A】（1）抽气前氢气的压强；

【B】（2）抽气后氢气的压强和体积。

**【答案】**（1）*p*10＝(*p*0＋*p*)

（2）*p*1＝ *p*0＋ *p V*1＝()

**【解析】**

（1）设抽气前氢气的压强为*p*10，根据力的平衡条件得

*p*10·2*S*＋*p*·*S*＝*p*·2*S*＋*p*0·*S* ①

得 *p*10＝(*p*0＋*p*) ②

1. 设抽气后氢气的压强和体积分别为*p*1和*V*1，氮气的压强和体积分别为*p*2和*V*2。

根据力的平衡条件有

*p*2·*S*＝*p*1·2*S* ③

由玻意耳定律得

*p*1*V*1＝*p*10·2*V*0 ④

*p*2*V*2＝*p*0*V*0 ⑤

由于两活塞用刚性杆连接，故

*V*1－2*V*0＝2(*V*0－*V*2) ⑥

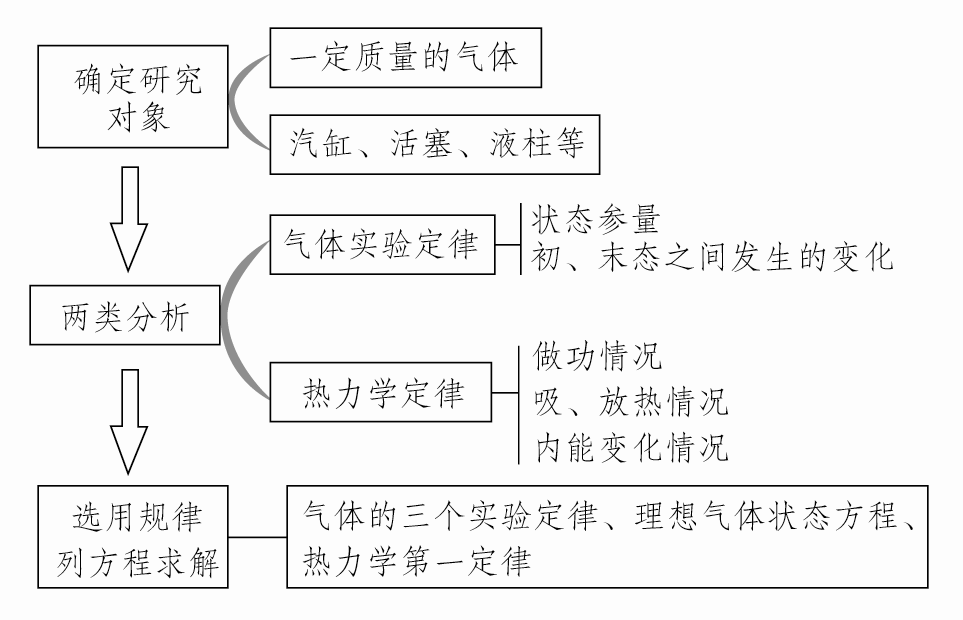
联立②③④⑤⑥式解得

*p*1＝ *p*0＋ *p* ⑦

*V*1＝() ⑧

【**方法提炼**】

**1. 处理气体实验定律与热力学定律问题的基本思路**



**2. 气体问题中汽缸活塞类模型的解决思路**

（1）弄清题意，确定研究对象。一般地说，研究对象分为两类：一类是热学研究对象（一定质量的理想气体）；另一类是力学研究对象（汽缸、活塞等）。

（2）分析清楚题目所述的物理过程。对热学研究对象分析清楚初、末状态及状态变化过程，依据气体实验定律或理想气体状态方程 ＝ 恒量，列出式子；对力学研究对象要正确地进行受力分析，依据力学规律列出方程。

（3）注意挖掘题目中的隐含条件，如几何关系等，列出辅助方程。

（4）多个方程联立求解。对求解的结果注意检验它们的合理性。

**3. “充气”“抽气”模型中变质量问题的处理**

“充气”“抽气”模型中涉及气体质量变化问题，可以假设把充进或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恒定质量的问题。

（1）充气中的变质量问题

设想将充进容器内的气体用一个无形的弹性口袋收集起来，那么当我们取容器和口袋内的全部气体作为研究对象时，这些气体状态不管怎样变化，其质量总是不变的。这样，就将变质量的问题转化成质量一定的问题了。

（2）抽气中的变质量问题

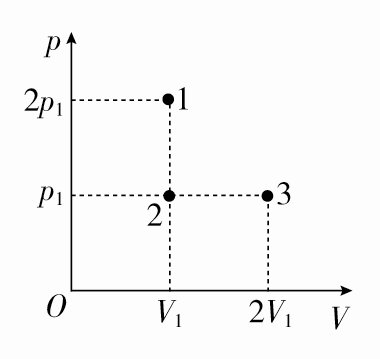
用抽气筒对容器抽气的过程中，对每一次抽气而言，气体质量发生变化，其解决方法和充气问题类似，取剩余气体和抽出的气体作为研究对象，这些气体不管怎样变化，其质量总是不变的。

**4. 气体状态变化的图象问题**

对于气体状态变化的图象问题，要先弄清是*p*­*V*图象、*p*­*T*图象还是*V*­*T*图象，然后根据气体状态变化的图线，并结合理想气体状态方程或气体实验定律（比如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），分析第三个量的变化情况。如果需要判断吸放热和内能变化情况，还应结合热力学第一定律进行分析。

【**针对训练**】

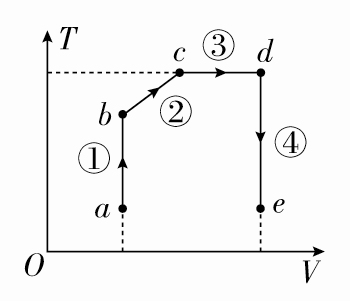
【A】1. 如*p*­*V*图所示，1、2、3三个点代表某容器中一定量理想气体的三个不同状态，对应的温度分别是*T*1、*T*2、*T*3。用*N*1、*N*2、*N*3分别表示这三个状态下气体分子在单位时间内撞击容器壁上单位面积的平均次数，则*N*1\_\_\_\_\_\_\_\_*N*2，*T*1\_\_\_\_\_\_\_\_*T*3，*N*2\_\_\_\_\_\_\_\_*N*3。（填“大于”“小于”或“等于”）



【B】2．某容器中的空气被光滑活塞封住，容器和活塞绝热性能良好，空气可视为理想气体。初始时容器中空气的温度与外界相同，压强大于外界。现使活塞缓慢移动，直至容器中的空气压强与外界相同。此时，容器中空气的温度\_\_\_\_\_\_\_\_（填“高于”“低于”或“等于”）外界温度，容器中空气的密度\_\_\_\_\_\_\_\_（填“大于”“小于”或“等于”）外界空气的密度。

【A】3．用油膜法估算分子大小的实验中，首先需将纯油酸稀释成一定浓度的油酸酒精溶液，稀释的目的是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。实验中为了测量出一滴已知浓度的油酸酒精溶液中纯油酸的体积，可以\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。为得到油酸分子的直径，还需测量的物理量是\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_。

【B】4．如图，一定质量的理想气体从状态*a*开始，经历过程①、②、③、④到达状态*e*。对此气体，下列说法正确的是



A．过程①中气体的压强逐渐减小

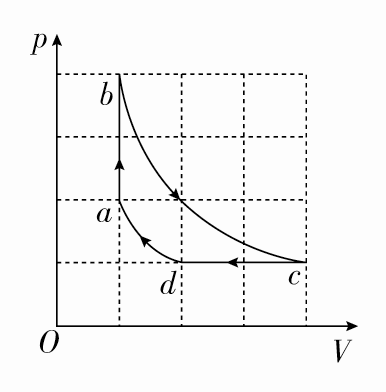
B．过程②中气体对外界做正功

C．过程④中气体从外界吸收了热量

D．状态*c*、*d*的内能相等

E．状态*d*的压强比状态*b*的压强小

【B】5．如图，在一定质量的理想气体的压强随体积变化的*p*­*V*图象中，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．气体在状态*a*时的温度低于在状态*c*时的温度

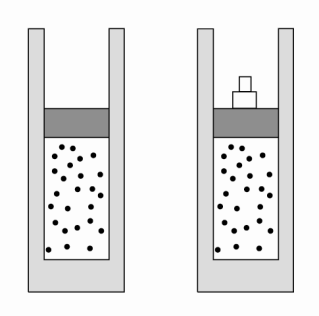
B．从*a*→*b*的过程，气体分子密集程度不变，分子平均动能增加

C．从*a*→*b*→*c*的过程，气体密度不断减小，温度先升高后不变

D．从*c*→*d*的过程，气体放出的热量大于外界对气体做的功

E．从*a*→*b*→*c*→*d*的过程，设气体对外做功为*W*1，外界对气体做功为*W*2，气体吸热为*Q*1，放热为*Q*2，则*W*1－*W*2<*Q*1－*Q*2

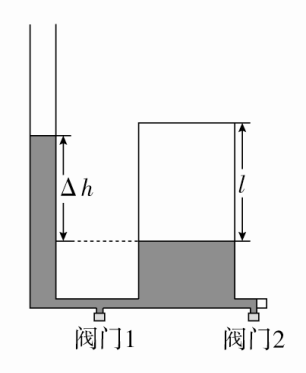
6．如图，横截面积为*S*，质量为*M*的活塞在汽缸内封闭着一定质量的理想气体，现对汽缸内气体缓慢加热，使其温度从*T*1升高了Δ*T*，气柱的高度增加了Δ*L*，吸收的热量为*Q*，不计汽缸与活塞的摩擦，外界大气压强为*p*0，重力加速度为*g*，求



【A】（1）此加热过程中气体内能增加了多少？

【B】（2）若保持缸内气体温度不变，再在活塞上放一砝码，如图所示，使缸内气体的体积又恢复到初始状态，则砝码的质量为多少？

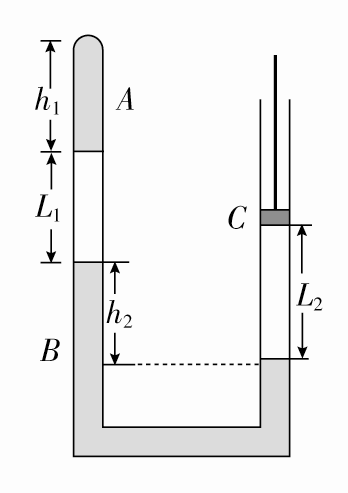
7．如图，圆柱形容器高*H*＝45 cm，底端左侧通过装有阀门1的细管与上端开口的竖直玻璃管相连，右侧安装阀门2。起初阀门2关闭，阀门1打开，玻璃管内水银面比容器内水银面高Δ*h*＝25 cm，容器内气柱长*l*＝28 cm。关闭阀门1，打开阀门2，直至水银不再流出。已知容器导热良好，环境温度始终为300 K，大气压强*p*0＝75 cmHg。



【A】（1）求最终容器内水银的高度；

【B】（2）若再次关闭阀门2，将容器内气体加热至某一温度，再次打开阀门1后，发现水银液面不动，求此温度。

8．如图，粗细均匀的U形管中，封闭了两段水银柱和两部分空气柱，水银柱*A*的长度*h*1＝25 cm，位于左侧封闭端的顶部。水银柱*B*与*A*之间的空气柱长度*L*1＝12.5 cm，右侧被活塞*C*封闭的空气柱长度*L*2＝12.5 cm，已知玻璃管周围环境温度*t*＝27 ℃时，右侧封闭空气柱的压强恰为*p*0＝75 cmHg，水银柱*B*左右两部分液面的高度差*h*2＝45 cm。保持环境温度*t*＝27 ℃不变，缓慢拉动活塞*C*，求



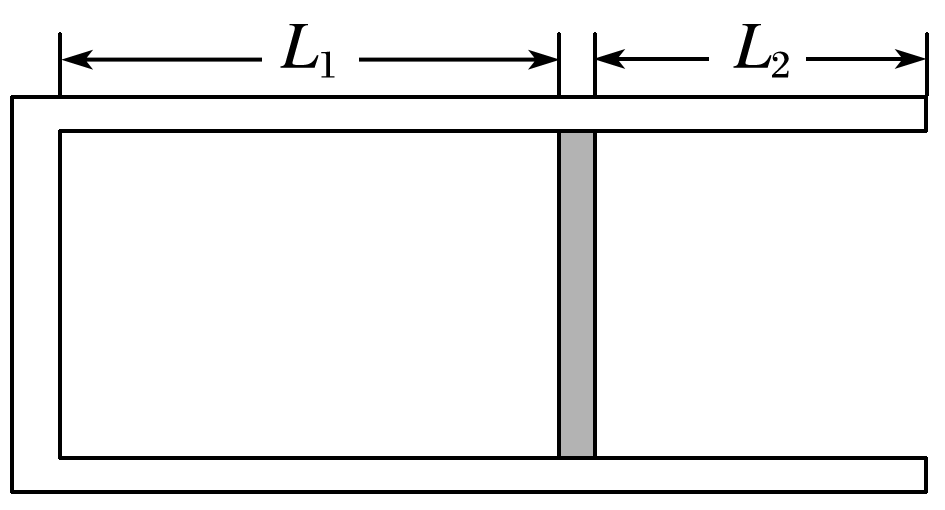
【A】（1）当水银柱*A*恰好对U形管的顶部没有压力时，右侧封闭气体的压强为多少？

【B】（2）当U形管内*B*部分的水银面相平时，活塞*C*共向上移动多少？

9．一定质量的理想气体被活塞封闭在导热汽缸内，如图水平放置。活塞的质量*m*＝20 kg，横截面积*S*＝100 cm2，活塞可沿汽缸壁无摩擦滑动但不漏气，开始时汽缸水平放置，活塞与汽缸底的距离*L*1＝12 cm，离汽缸口的距离*L*2＝3 cm。外界气温为27 ℃，大气压强为1.0×105 Pa，将汽缸缓慢地转到开口向上的竖直位置，待稳定后对缸内气体逐渐加热，使活塞上表面刚好与汽缸口相平，已知*g*＝10 m/s2。求

【B】（1）此时气体的温度为多少？

【C】（2）在对缸内气体加热的过程中，气体膨胀对外做功，同时吸收*Q*＝370 J的热量，则气体增加的内能Δ*U*多大？



**【核心问题】专题8--- 分子动理论 气体实验定律**

**参考答案**

**【针对训练】**

1. 大于　等于　大于 2．低于　大于 3．使油酸在浅盘的水面上容易形成一块单分子层油膜；把油酸酒精溶液一滴一滴地滴入小量筒中，测出1 mL油酸酒精溶液的滴数，得到一滴溶液中纯油酸的体积；单分子层油膜的面积 4．BDE 5．ABD

6．（1）设缸内气体的温度为*T*1时压强为*p*1，活塞受重力、大气压力和缸内气体的压力作用而平衡，得 *Mg*＋*p*0*S*＝*p*1*S* ①

气体膨胀对外界做功为 *W*＝*p*1*S*Δ*L* ②

根据热力学第一定律得 *Q*－*W*＝Δ*U* ③

联立可得 Δ*U*＝*Q*－(*p*0*S*＋*Mg*)Δ*L* ④

（2）设放入砝码的质量为*m*，缸内气体的温度为*T*2＝*T*1＋Δ*T*时压强为*p*2，活塞和砝码受重力、大气压力和缸内气体的压力作用而平衡，得

(*M*＋*m*)*g*＋*p*0*S*＝*p*2*S* ⑤

根据查理定律

＝ ⑥

联立可以得到 *m*＝() ⑦

7．（1）密闭气体初状态的压强 *p*1＝*p*0＋*ρ*水银*g*Δ*h* ①

设水银不再流出时容器内水银柱的高度为*h*′，则密闭气体此时的压强

*p*2＝*p*0－*ρ*水银*gh*′ ②

密闭气体气柱长为 *l*′＝*H*－*h*′ ③

由玻意耳定律得 *p*1*lS*＝*p*2*l*′*S* ④

解得 *h*′＝5 cm或*h*′＝115 cm(舍去) ⑤

（2）打开阀门2后，右侧水银面下降的高度*x*＝*H*－*l*－*h*′＝12 cm

将容器内气体加热至某一温度后，再次打开阀门1时，两侧液面高度差为

Δ*h*′＝Δ*h*＋*x*＝37 cm ⑥

则容器内气体压强 *p*3＝*p*0＋*ρ*水银*g*Δ*h*′ ⑦

由查理定律得 ＝ ⑧

解得 *T*′＝480 K ⑨

8．（1）左侧气体做等温变化，有：

*p*1*SL*1＝*p*1′*SL*1′ ①

*p*1＝*p*0－*ρgh*2＝30 cmHg，*p*1′＝25 cmHg ②

解得 *L*1′＝15 cm ③

故水银柱*B*左右两部分液面的高度差变为

*h*2′＝*h*2－2(*L*1′－*L*1)＝40 cm ④

右侧气体压强为 *p*2′＝*p*1′＋*ρgh*2′＝65 cmHg ⑤

（2）*B*部分的水银面相平时，左侧液面下降，右侧液面上升

水银柱*A*下降，左侧气体压强仍为

*p*1′＝25 cmHg ⑥

此时左右两侧气体压强相等，即右侧气体压强

*p*″＝25 cmHg ⑦

右侧气柱做等温变化，有

*p*0*SL*2＝*p*″*SL*2″ ⑧

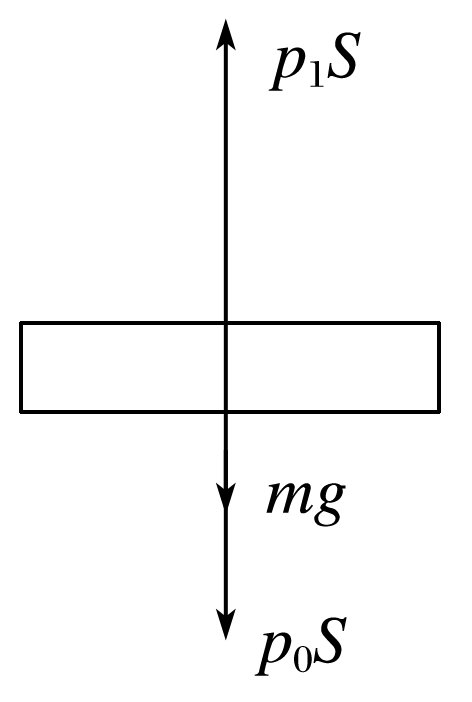
解得 *L*2″＝37.5 cm ⑨

则活塞上升的高度 *h*＝*L*2″－*L*2＋＝47.5 cm ⑩

9．（1）当汽缸水平放置时，*p*0＝1.0×105 Pa，*V*0＝*L*1*S*，*T*0＝(273＋27) K＝300 K

当汽缸口朝上且活塞到达汽缸口时，活塞的受力分析如图，有

*p*1*S*＝*p*0*S*＋*mg* ①



则 *P*1＝*p*0＋＝1.0×105 Pa＋ Pa＝1.2×105 Pa ②

*V*1＝(*L*1＋*L*2)*S* ③

由理想气体状态方程得

＝ ④

则 *T*1＝ *T*0 ＝ ×300 K＝450 K ⑤

（2）当汽缸口向上且未稳定时，气体发生等温变化，由玻意耳定律得

*P*0*L*1*S*＝*p*1*LS* ⑥

则 *L*＝＝ cm＝10 cm ⑦

稳定后加热气体，气体做等压变化，外界对气体做功为

*W*＝－*p*0(*L*1＋*L*2－*L*)*S*－*mg*(*L*1＋*L*2－*L*)＝－60 J ⑧

根据热力学第一定律 Δ*U*＝*W*＋*Q* ⑨

得 Δ*U*＝310 J ⑩