热　学
思考题、习题解答

解答编写组

一九八五年九月

编 写 说 明

为配合陕西科学技术出版社1985年5月出版的，由咸阳师专等校编写的《热学》书，各编委分工编写了这本(参考)题解。它既可作使用本书的教师和学生参考，也可作自学者或其他有关学校教师、学生使用。

由于编写者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，请读者批评指正。

编　者

1985.5.于咸阳

目　　录

第一章　温度和基本热现象

思 考 题

1．平衡态有何特征？当气体处于平衡态时还有分子热运动吗？它和力学中所指的平衡有何不同？实际上能不能达到平衡态？

答：　平衡态是这样一种状态，在没有外界影响的条件下，系统的宏观性质不随时间变化的状态。对气体来说，系统状态的宏观参量有确定的数值，系统内部不再有扩散、导热、电离或化学反应等宏观物理过程发生。

气体处于平衡态时，组成系统的分子仍在不停地运动着，只不过分子运动的平均效果不随时间变化．表现为宏观上的密度均匀、温度均匀和压强均匀。

与力学中的平衡相比较，这是两个不同的理想概念。力学中的平衡是指系统所受合外力为零的单纯静止或匀速直线运动的问题。热力学中的平衡态不但要静止或匀速直线运动，而且要系统内所有能观察到的宏观性质不随时间变化，但组成系统的分子却不断地处于运动之中，只是与运动有关的统计平均值不随时间变化，所以这是一种热动平衡。

平衡态是对一定条件下的实际情况的概括和抽象。实际上，绝对的完全不受外界影响的平衡状态并不存在。

2．一金属杆一端置于沸水中，另一端和冰接触，当沸水和冰的温度维持不变时，则金属杆上各点的温度将不随时

间变化。试问金属杆这时是否处于平衡态？为什么？

答： 金属杆就是一个热力学系统。根据平衡态的定义，虽然杆上各点的温度将不随时间而改变，但是杆与外界（冰、沸水）仍有能量的交换。一个与外界不断地有能量交换的系统所处的状态，显然不是平衡态。

3．热平衡和热动平衡这两个概念有何联系和区别？

答： 热平衡是指系统间在传热的条件下达到的平衡。处于热平衡的所有系统都具有共同的宏观性质，即都具有相同的温度，也就是说这些系统在宏观上表现为温度均匀。

从微观方面看，热力学中的平衡是热动平衡。各自处于热动平衡的诸系统未进行热接触时，彼此之间不一定具有相同的温度，也即彼此不一定是热平衡的。可见热平衡是各系统彼此热接触且通过分子热运动来完成的，从而使彼此热接触的系统达到热动平衡的状态—平衡态。

4．一容器中装着一定量的某种气体，试分别讨论下面三种状态：

（1）容器内各部分的压强相等，这状态是否一定是平衡态？

（2）容器内各部分的温度相等，这状态是否一定是平衡态？

（3）容器内各部分的压强相等，且密度也相同，这状态是否一定是平衡态？

答： 一个封闭的容器各部分气体具有相同的温度和压强且不随时间变化时，系统就处于平衡态。

（1）由$P=nkT$可知，当容器内各部分气体压强相同时，各部分气体仍可能具有不同的温度和密度，因而系统不

一定是平衡态。

（2）同理，各部分温度相同时，如果各处密度不同，压强也可以不相同，因而系统不一定是平衡态。

（3）各部分压强相同，密度处处一致，由$P=nkT$可知，则各处的温度也相同，因而系统一定处于平衡态。

5．当系统处于非平衡态时，温度的概念是否适用？

答： 当系统处于非平衡态时，它的各部分在运动中、变化中，所以不能用一个同一的温度来描写。这就必须把这个系统分成许多小区域，并用几何的、力学的、化学的、电磁的四类参量来描写它们，而温度是这四类参量的函数，也就是说对于系统中的每一小区域，可以用一个温度来描写。

6．温度的定义是什么？试举例说明为什么不能凭人的感觉来判断物体温度的高低？用温度计来测量温度的理论根据是什么？

答： 温度是决定一系统是否与其他系统处于热平衡的宏观性质，它是用来表示物体冷热程度的物理量，但不能凭人的感觉判断温度的高低。因为我们的直觉虽然能感知温度，但难以区分温度的较小差别，并且常常出现差错。例如，冬天当人们手扶铁把手和木把手时，总觉得铁把手似乎要冷一些，其实两者的温度是一样的。由于铁比木材传热快，所以感觉铁较冷。这就是人的直觉中的错觉。另外人的直觉范围也很有限，所以单靠感觉来确定温度是不科学的。

由于一切互为热平衡的系统具有相同的温度，这是用温度计测量温度的理论根据。我们可以选择适当的系统为标准一温度计。测量时使温度计与待测系统接触，使它们达到热平衡后，温度计的温度就等于待测系统的温度。

○7．理想气体温标是否依赖于气体的性质？在实现理想气体温标时，是否有一种气体比其他气体更优越？

答：　理想气体温标不依赖于任何一种气体的个性，用不同气体时所指示的温度完全一样（因为都要外推到压强为零）。但它毕竟依赖于气体的共性，对高温(1000℃以上)和极低温度（气体的液化点以下）时就不适用。测低温时用液化点较低的气体为好。氦的液化点较低，用于低温(最低1K)时最好。

○8．用P_{tr}表示定容气体温度计的测温泡在水的三相点时其中气体的压强值。有三个定容气体温度计：第一个用氧作测温质，$P_{tr}=2.6\times10^4Pa$；第二个也用氧，但$P_{tr}=5.3\times10^4Pa$；第三个用氢，$P_{tr}=3.9\times10^4Pa$。

（1）设用这三个温度计测量同一对象时其中气体的压强值分别为p_1、p_2、p_3，则它们所确定的待测温度的近似值分别为

$$T_1=273.16K\frac{p_1}{2.6\times10^4Pa};$$

$$T_2=273.16K\frac{p_2}{5.3\times10^4Pa};$$

$$T_3=273.16K\frac{p_3}{3.9\times10^4Pa}。$$

试判断下列几种说法是否正确：

(a) 按上述方法，用三个温度计所确定的温度值都相同；

(b) 两个氧温度计确定的温度值相同，但与氢温度计

确定的温度值不相同；

(c) 用三个温度计确定的温度值都不相同。

(2) 若用三个温度计确定的温度值都不相同，试说明怎样改进测量方法才可使之相同。

答：(1)(a)否。因为测量值与温度泡中气体的$P_{t,r}$和气体的种类有关。

(b) 否。虽两个温度计都以氧作为测温质，但由于它们的$P_{t,r}$值不相同，所以它们所确定的温度值也不同。

(c) 正确。

(2)要使这三个温度计所确定的温度值都相同，必须使三个温度计的测温泡内气体的$P_{t,r}$降低并使之趋于零。

9. 在一个封闭容器中装有某种理想气体。(1)使气的温度升高同时体积减小，是否可能？(2)使气体的温度升高同时压强增大，是否可能？(3)使气体的温度保持不变，但压强和体积同时增大，是否可能？

答：根据理想气体状态方程：(1)可能；(2)可能；(3)不可能。

10. 理想气体状态方程分别在什么条件下得到(1)玻意耳定律；(2)查理定律；(3)盖·吕萨克定理。

答：理想气体状态方程在等温条件下得到玻意耳定律；在等压条件得到查理定律；在等容条件下得到盖·吕萨克定律。

11. 理想气体状态方程可表示为：

$$pV=\frac{M}{\mu}RT \text{ 或 } \frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$$

在什么情况下，用第一种表达式较方便？在什么情况下，用

第二种表达式较方便？

答： 对于质量变化的情况用第一种表达式较方便；对于质量不变的情况用第二种表达式较方便（它是M一定时，$pV=\frac{M}{\mu}RT$ 的特殊形式）。

o12. 当一定质量理想气体的压强p保持不变时，它的体积V如何随温度T变化？当一定质量理想气体的体积V保持不变时，它的压强p如何随温度T变化？

答： 当一定质量理想气体的压强p保持不变时，它的体积V与T作线性变化；又当V保持不变时，它的压强p与T作线性变化。

13. 试解释下列现象：（1）自行车的内胎会晒爆；（2）热水瓶的塞子有时会自动跳起来；（3）乒乓球挤瘪后，放在热水里泡一会儿重新鼓起来。

答： (1)根据状态方程，自行车内胎所装的气体质量M和体积V都是一定的。夏天长期在太阳下照晒，胎内的气体温度升高，从而压强增大。当胎内外压强差超过胎的极限强度时，车胎就会爆裂。

（2）热水瓶中盛有温度较高的水，当外部冷空气进入瓶内立即加塞，冷空气被加热而温度升高，压强增大。当瓶内外压力差大于瓶塞重量及摩擦力之合力时，瓶塞就立即跳出。

（3）瘪乒乓球放入热水中，一方面赛璐珞变软，较易变形；另一方面，球内温度升高而压强增大，超过大气压强值后就会使乒乓球重新鼓起来。

14．把一长方形容器用一隔板分成容积相等的两部分，一边装CO_2，另一边装H_2，两边气体的质量相等、温度相同。如果隔板与器壁之间无摩擦，隔板是否会发生移动？怎样移动？

答：由气体状态方程 $pV=\frac{M}{\mu}RT$ 可知，

在V、T、M相同时，摩尔质量μ小的气体压强大，反之亦然。由于$\mu_{H_2}<\mu_{CO_2}$，因而 $p_{H_2}>p_{CO_2}$。故隔板将向CO_2一边移动。

习　题

1．在历史上，对摄氏温标是这样规定的：假设测温属性X与温度t作线性变化，即$t=aX+b$，并规定冰点为$t=0℃$。汽点为$t=100℃$。

设X_i和X_s分别表示在冰点和汽点时X的值，试求上式中的常数a和b。

解 依题意：把冰点和汽点温度值代入 $t=aX+b$，得

$$0=aX_i+b$$
$$100=aX_s+b$$

由这两个方程解得

$$a=\frac{100}{X_s-X_i}\qquad b=-\frac{100X_i}{X_s-X_i}$$

2．用定容气体温度计测得冰点的理想气体温度为273.15K，试求温度计内的气体在冰点时的压强与水在三相点时压强之比的极限值。

解 定容理想气体温标的定义为

$$T=\lim_{p_{tr}\to 0} T(p)=273.16\mathrm{K}\lim_{p_{tr}\to 0}\frac{p}{p_{tr}}$$

冰点的温度T＝273.15K，设p_i为气体在冰点时的压强，

则 $$273.15\mathrm{K}=273.16\mathrm{K}\lim_{p_{tr}\to 0}\frac{p_i}{p_{tr}}$$

故 $$\lim_{p_{tr}\to 0}\frac{p_i}{p_{tr}}=\frac{273.15}{273.16}=0.99996$$

◎3．用定容气体温度计测量某种物质的汽点。原来测温泡在水的三相点时，其中气体的压强$p_{tr}=6.5\times10^4\mathrm{Pa}$；当测温泡浸入待测物质中，测得的压强值$p=9.9\times10^4\mathrm{Pa}$；当从测温泡中抽出一些气体，使$p_{tr}$减为$2.6\times10^4\mathrm{Pa}$时，重新测得$p=3.9\times10^4\mathrm{Pa}$；当再抽出一些气体，使$p_{tr}$减为$1.3\times10^4\mathrm{Pa}$时，测得$p=1.9\times10^4\mathrm{Pa}$。试确定待测汽点的理想气体温度。

解 由公式$T(p)=273.16\mathrm{K}\dfrac{p}{p_{tr}}$。当测温泡中气体质量逐次减小时，由上式分别算出的温度值为

$$T_1=273.16\mathrm{K}\frac{9.9\times10^4}{6.5\times10^4}=415.20\,\mathrm{K},\qquad T_2=409.74\mathrm{K};$$

$T_3=398.81\mathrm{K}$。当$p_{tr}\to0$时，$T(p)$的极限值，即为待测汽点的理想气体温度。我们用以上求到的三组T与p_{tr}的对应值作$T-p_{tr}$图，如图

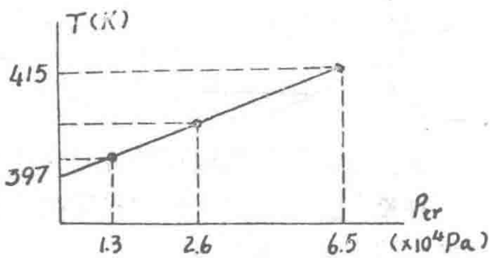

图1—1

1—1所示系一直线，把之外推到$p_{tr}=0$处，对应的T 值就是所求的待测汽点的理理气体温度。

由图可求得待测汽点的理想气体温度为397.13K。

4．水银温度计浸在冰水中时，水银柱的长度为4.0cm；温度计浸在沸水中时，水银柱的长度为24cm。(1)在室温22 ℃时，水银柱的长度为多少？(2)温度计浸在某种沸腾的化学溶液中，水银柱的长度为25.4cm，试求溶液的温度。

解 由题1可知，在摄氏温标中，测温属性X与温度t成线性关系，即

$$t=aX+b$$

而本题给的测温属性为水银柱的高度l，即X=l。浸在冰水和沸水中，水银柱的高度分别为

$$l_i=4.0\text{cm} \qquad l_s=24.0\text{cm}$$

由题1所得结果有

$$a=\frac{100}{l_s-l_i}=\frac{100}{24.0-4.0}=5℃\cdot\text{cm}^{-1}$$

$$b=-\frac{100l_i}{l_s-l_i}==\frac{-100\times4.0}{24.0-4.0}=-20℃\cdot\text{cm}^{-1}$$

所以t与l的关系为

$$t=5l-20$$

（1）把室温$t_1=22℃$时的水银柱长度l_1代入上式中得

$$22=5l_1-20 \qquad l_1=8.4\text{cm}$$

（2）把水银柱长度$l_2=25.4$cm时溶液温度t_2代入上式得

$$t_2=5\times25.4-20=107℃$$

5．定义温标t^*与测温属性X之间的关系为$t^*=\ln(kX)$，

式中k为常数。

（1）设X为定容稀薄气体的压强，并假定在水的三相点时，$t^*=273.16°$，试确定温标t^*与热力学温标之间的关系；

（2）在温标t^*中，冰点和汽点各为多少度？

（3）在温标t^*中，是否存在0度？

解 （1）按题意：$X=p$。所以在任意温度t^*时

$$t^*=\ln(kp)=\ln k+\ln p \tag{1}$$

在水的三相点时

$$t_{tr}^*=273.16=\ln(kp_{tr})=\ln k+\ln p_{tr} \tag{2}$$

由(1)和(2)式消去$\ln k$得

$$t^*=273.16+\ln\frac{p}{p_{tr}} \tag{3}$$

由于理想气体温标在它所能确定的温度范围内等于热力学温标，因此热力学温标

$$T=273.16\lim_{p_{tr}\to 0}\frac{p}{p_{tr}} \tag{4}$$

将(3)式两边取极限

$$\lim_{p_{tr}\to 0}t^*=\lim_{p_{tr}\to 0}\left(273.16+\ln\frac{p}{p_{tr}}\right) \tag{5}$$

利用极限性质并把(4)和(5)式结合后得

$$t^*=273.16-\ln 273.16+\ln T \tag{6}$$

或 $$t^*=\ln\left(\frac{\exp 273.16}{273.16}T\right)$$

（2）在热力学温标中，冰点和汽点的温度分别为$T_i=273.15$，$T_s=373.15$，由(6)式得

$$t_1^* = 273.16 - \ln 273.16 + \ln 273.15 = 273.16^\circ$$

$$t_s^* = 273.16 - \ln 273.16 + \ln 373.15 = 273.47^\circ$$

（3）若$t^* = 0$，则(6)式为

$$273.16 - \ln 273.16 + \ln T = 0$$

或
$$T = \frac{273.16}{\exp(273.16)}$$

从理论上说，在t^*温标中可以存在0°，因为$t^* = 0$时，$T > 0$。但如果以稀薄气体为测温物质，当$t^* = 0$时，$T \to 0$，对于难于液化的氦气在低于1K时就液化了，所以不存在$t^* = 0$。

6．盖·吕萨克定律：当一定质量气体的压强保持不变时，其体积随温度作线性变化：

$$V = V_0(1 + \alpha_v t)$$

式中V和V_0分别表示温度为t℃和0℃时气体的体积，α_v叫做气体膨胀系数。

查理定律：当一定质量气体的体积保持不变时，其压强随温度作线性变化：

$$p = p_0(1 + \alpha_p t)$$

式中p和p_0分别表示温度为t℃和0℃时气体的压强，α_p叫做气体的压强系数。

试由理想气体的状态方程推证以上二定律，并求出α_v和α_p的值。

证（1）设一定质量的气体在0℃，即$T_0 = 273.15$K时，压强为p_0，体积为V_0。那么

$$p_0 V_0 = \nu R T_0 \qquad (1)$$

保持压强不变，温度变为t℃，即$T = (t + 273.15)$K时，体积变为V，有

$$p_0 V = \nu RT \tag{2}$$

$\frac{(2)}{(1)}$整理得 $V = V_0 \frac{T}{T_0} = V_0(1 + \frac{1}{T_0} t)$

令$\frac{1}{T_0} = \alpha_v$，得

$$V = V_0(1 + \alpha_v t)$$

这就是盖·吕萨克定律。

（2）同上，令体积保持V_0，温度变为$T = T_0 + t$时，压强变为p，有$pV_0 = \nu RT$ （3）

$\frac{(3)}{(1)}$整理得 $p = p_0 \frac{T}{T_0} = p_0(1 + \frac{1}{T_0} t)$

令$\frac{1}{T_0} = \alpha_p$，得

$$p = p_0(1 + \alpha_p t)$$

这就是查理定律。

由上面的推证可求出

$$\alpha_v = \alpha_p = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{273.15} = \alpha$$

说明：在上述证明中，我们用了摄氏温标跟理想气体温标二者的间隔相等的假定。同时，对理想气体，先认为

$\alpha_v = \alpha_p = \alpha = \frac{1}{273.15}$。再应用玻意耳定律及理想气体温标的定义，同样可推证出以上二定律。留给读者推证。

7．一氧气瓶的容积是32 l，其中氧气的压强是130×10^5 Pa。规定瓶内氧气压强降到10×10^5 Pa时就得充气，以免混入其它气体而需洗瓶。今有一化学反应室，每天需用$1.0 \times$

10^5Pa氧气400 l，问一瓶氧气能用几天。

解 设氧气在使用过程中温度不变，瓶中原有氧气质量为M，由状态方程得

$$M=\frac{pV\mu}{RT}$$

式中$p=130\times10^5$Pa，$V=32$ l。又设氧气用后剩留在瓶中的质量为M'，则同样可得

$$M'=\frac{p'V\mu}{RT}$$

式中$p'=10\times10^5$Pa。可供使用的氧气总质量为

$$\triangle M=M-M'=\frac{pV\mu}{RT}-\frac{p'V\mu}{RT}=\frac{V\mu}{RT}(p-p')$$

每天用掉的氧气质量

$$m=\frac{p_1V_1\mu}{RT}$$

式中$P_1=1.0\times10^5$Pa，$V_1=400$ l，因此可供使用的天数为

$$N=\frac{\triangle M}{m}=\frac{V(p-p')}{p_1V_1}=\frac{32\times(130-10)\times10^5}{1.0\times10^5\times400}=9.6\text{天}$$

○8．水银气压计中混进了一个空气泡，因此它的读数比实际的气压小。当精确的气压计的读数为1.01×10^5Pa时，它的读数只有0.98×10^5Pa，此时管内水银面到管顶的距离为80mm。问当此气压计的读数为0.97×10^5Pa时，实际气压应是多少。设空气的温度保持不变。

解 图1—2为气压计的示意图。现以混进气压计气体为研究对象。当$p_0=1.01\times10^5$Pa，$p=0.98\times10^5$Pa，$h=80$mm

时，管中的气体压强$p_1=p_0-p$，管的体积$V_1=hS$，S为管的截面积。

若气压计的读数$p'=0.97\times10^5$ Pa，管的体积$V_2=(l-l'+h)S$，l和l'分别对应压强为p和p′时的水银柱高度，此时管中气体的压强$p_2=p_0'-p'$，p_0'即为所求精确气压值。

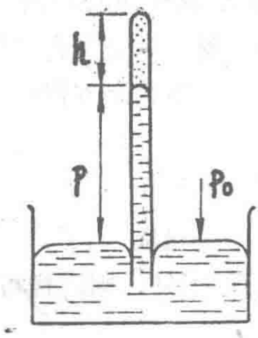

图 1 — 2

由于气体质量和温度均不变，故应用玻意耳定律，有

$$p_1V_1=p_2V_2$$

即 $$(p_0-p)hS=(p_0'-p')(l-l'+h)S$$

$$(1.01-0.98)\times80\times10^{-2}\times10^5=(p_0'-0.97\times10^5)\cdot(0.98\times10^5-0.97\times10^5+80\times10^{-2})$$

解得 $$p_0'=0.99\times10^5\text{Pa}$$

9．一抽气机转速$\omega=400$r/min，抽气机每分钟能抽气体20 l。设容器的容积$V=2.0$l，问经过多少时间后才能使容器的压强由$p_0=1.0\times10^5$Pa降到$p_t=1.3\times10^2$Pa。

解 因为400转能抽出20l气体，所以1转能抽出气体的体积为

$$v=\frac{V_0}{\omega}=\frac{20}{400}=0.05\text{ l}$$

每抽一次，容器内的体积由V膨胀至$(V+v)$，压强由p减小至p_1。忽略抽气过程中温度的变化，于是由玻耳定律得

$$p_0V=p_1(V+v)$$

即 $$p_1=\frac{V}{V+v}p_0 \qquad (1)$$