

高等学校教学参考书

热 学

思考题与习题解

一九八五年三月

高等学校教学参考书

热 学

思考题与习题解

刘金海 孙启天 编
王显军 苏 民

一九八五年三月

前 言

李椿、章立源、钱尚武编写的《热学》中，配有大量的思考题与习题，这对巩固和加深所学物理概念是非常有益的。为配合教学，我们编写了《热学思考题与习题解》，供大专院校师生，中学教师以及自学大学一年级物理课程的广大读者参考。

本书由河南教育学院物理系**刘金海**同志主持编写，其中第一、二章由**孙启天**同志执笔；第三、四、七章由**王显军**同志执笔；第五、六、八、九章由**苏民**同志执笔。全书由**刘金海**同志校订，由新乡师院物理系**赵文桐**付教授审定，由**王显军**、**苏民**等同志校版，借此机会表示衷心感谢。由于我们水平所限，加之时间仓促，书中错误在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见，以便再版时修订。

编 者

1985年4月

目 录

第一章 温 度	1
一、思考题	1
二、习 题	12
第三章 气体分子运动论的基本概念	38
一、思考题	38
二、习 题	47
第三章 气体分子热运动速率和能量的统计分布律	60
一、思考题	60
二、习 题	72
第四章 气体内的输运过程	97
一、思考题	97
二、习 题	104
第五章 热力学第一定律	118
一、思考题	118
二、习 题	128
第六章 热力学第二定律	168
一、思考题	168
二、习 题	183

第七章 固 体	215
一、思考题.....	215
二、习 题.....	221
第八章 液 体	231
一、思考题.....	231
二、习 题.....	237
第九章 相 变	247
一、思考题.....	247
二、习 题.....	257

第一章 温 度

一、思 考 题

1.1 取一金属杆，使其一端与沸水接触，另一端与冰接触，当沸水和冰的温度维持不变时，杆的温度虽然不同，但将不随时间改变，这时金属杆是否处于平衡态？为什么？

答：金属杆可视为一热力学系统，沸水和冰都是它的外界，根据平衡态的定义，虽然杆上各点的温度将不随时间而变化，但杆与沸水和冰仍有热交换，也就是说外界和系统不断有能量的交换，系统受到外界的影响。因此金属杆不是处于平衡态。而是处于非平衡稳定态。

1.2 系统A和B原来各自处在平衡态，现在使它们互相接触，试问在下列几种情况下，两系统相接触部分是绝热的还是透热的，或两者都可能：

(1) 当 V_A 保持不变， P_A 增大时， V_B 和 P_B 都不发生变化；

(2) 当 V_A 保持不变， P_A 增大时， P_B 不变而 V_B 增大；

(3) 当 V_A 减小，同时 P_A 增大时， V_B 和 P_B 都不发生变化。

答：在第一种情况下说明两系统互相接触部分是绝热的；而第二种情况则说明两系统的互相接触部分是透热的；第三种情况两系统的相互接触部分透热、绝热都是可能的。

1.3 当热力学系统处于非平衡态时，温度的概念是否适用？

答：根据温度定义可知，它是表示某一热力学系统处于平衡态时的宏观性质的物理量，它的特征就在于一切互为热平衡的系统都具有相同的温度。当热力学系统处于非平衡态时，此系统就不存在这一共同的宏观性质，因此温度这一概念就不再适用了。

1.4 在液体温度计中，用水银作测温物质比用水作测温物质有哪些优点？

答：其主要优点有三个方面：（一）水银的凝固点（ -39°C ）低于水的凝固点（ 0°C ）；而水银的沸点（ 357°C ）则比水的沸点（ 100°C ）要高，所以利用水银作测温物质做成的温度计测温的范围较大；（二）不论在什么温度下，水银比热都比水的比热小，故利用水银作测温物质的温度计灵敏度高；（三）水银的膨胀系数较稳定。所以用水银作测温物质制成的温度计准确度大。

1.5 在建立温标时，是否必须规定：热的物体具有较高的温度；冷的物体具有较低的温度？是否可作相反的规定？

答：不一定必须规定热的物体具有较高的温度；冷的物体具有较低的温度。也可以作相反的规定。

1.6 在建立温标时，是否必须规定用来标志温度的物理量随温度作线性变化？

答：不一定。一般说来，任一物质的任一物理属性，只要它随温度的改变而发生单调的、显著的变化，都可选用来标志温度，建立温标，制作温度计。所以不一定必须规定用来标志温度的物理量随温度作线性变化。

1.7 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它气体更优越？

答：理想气体温标不依赖于任何一种气体的个性，它仅仅依赖于气体的共性，从原书P17页图1—6可知，无论用什么样气体，无论是定容还是定压，所建立的温标在气体压强趋于零时，都趋于一共同的极限值， $T = \lim_{P_{t,r} \rightarrow 0} T(P) = 273.16 \text{ K} \lim_{P_{t,r} \rightarrow 0} \frac{P}{P_{t,r}}$ 在实现理想气体温标时，由于氮的液化点最低所以用氮气作测温物质比其他气体更优越些。低于1K时氮就变成液体了，在理想气体的温标中，低于1K的温度是没有物理意义的。

1.8 用 $P_{t,r}$ 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：第一个用氧作测温物质， $P_{t,r} = 20 \text{ cm Hg}$ ；第二个也用氧，但 $P_{t,r} = 40 \text{ cm Hg}$ ；第三个用氢， $P_{t,r} = 30 \text{ cm Hg}$ 。

(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

$$T_1 = 273.16 \text{ K} \frac{P_1}{20 \text{ cm Hg}},$$

$$T_2 = 273.16 \text{ K} \frac{P_2}{40 \text{ cm Hg}},$$

$$T_3 = 273.16 \text{ K} \frac{P_3}{30 \text{ cm Hg}}$$

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：在(1)中第三个说法是正确的。因为定容气体温度计在测量时，一定要规定对水的三相点的读数相同，否则对温度的读数就出现差别（因虽用不同的气体，但所指示的温度却几乎完全一样）。

(2) 调节第三个温度计的 $P_{t,r}$ ，求出当 $P_{t,r} \rightarrow 0$ 时测量值的极限值，这时三个温度计确定的温度值都相同。

1.9 理想气体状态方程 $PV = \nu RT$ 是根据哪些实验定律导出的？这些定律的成立各有什么条件？

答：理想气体状态方程 $PV = \nu RT$ 是根据玻—马定律（对一定质量的气体当温度不变时 $PV = C$ ，其中常数 C 在不同的温度有不同的数值）、理想气体温标的定义（ $T =$

$$\lim_{P \rightarrow 0} T(V) = 273.16 K \lim_{P \rightarrow 0} \frac{V}{V_{t,1}} \quad (\text{压强不变}) \text{ 及阿伏伽德罗定律导出的。}$$

玻意耳定律、理想气体温标、阿伏伽德罗定律，这三者都是在压强趋于零的极限情形下准确成立。

不过，在气体压强不太高，温度不太低时，玻意耳定律也近似成立，在标准状态下，阿伏伽德罗定律也成立。

1.10 在一封闭容器中装有某种理想气体。

(1) 使气体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) 使气体温度不变, 但压强和体积同时增大, 是否可能?

答: (1) 是可能的。此时压强将要增大; (2) 是可能的; (3) 是不可能实现的。当温度不变时根据玻—马定律 $PV = C$ 常数, 所以 P 与 V 不可能同时增大。

1.11 若使下列参量增大一倍, 而其他参量保持不变, 则理想气体的压强将如何变化?

(1) 温度 T ; (2) 体积 V ; (3) 摩尔数 $\nu = \frac{M}{\mu}$

答: 由理想气体状态方程 $PV = \nu R T$ 可知:

(1) 当 T 增大一倍, ν 、 V 保持不变, 则压强将增大一倍

(2) 当 V 增大一倍, T 、 ν 不变时, 则压强将减小一倍;

(3) 当 $\frac{M}{\mu} = \nu$ 增大一倍, T 、 V 保持不变时, 则压强将增大一倍。

1.12 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: 根据理想气体状态方程 $PV = \nu R T$ 可知: 当 ν 、 P 一定时, R 为常数则温度增大几倍, 体积 V 也将增加几倍; 当 ν 、 V 一定时, 温度增加几倍则压强 P 也将增加几倍。

1.13 盖·吕萨克 (Gay—Lussac) 定律: 当一定质

量的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 $t^\circ\text{C}$ 和 0°C 时气体的体积， α_v 叫做气体的体膨胀系数。

查理 (charles) 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 $t^\circ\text{C}$ 和 0°C 时气体的压强， α_P 叫做气体的压强系数。

试由理想气体状态方程推证以上二定律，并求出 α_v 和 α_P 的值。

证明：

(1) 证明盖·吕萨克定律：当压强不变时由理想气体状态方程可知： $P_0 V_0 = 273.15 \nu R$

$$P V = (273.15 + t) \nu R$$

$$\text{其二者的比为：} \frac{V_0}{V} = \frac{273.15}{273.15 + t}$$

$$V = \frac{273.15 V_0 + V_0 t}{273.15}$$

$$\therefore V = V_0 \left(1 + \frac{1}{273.15} t\right) \text{ 其中 } \alpha_v = \frac{1}{273.15}$$

即： $V = V_0(1 + \alpha_v t)$ 证毕

(2) 证明查理定律：当体积 V 保持不变时由理想状态方程可知：

$$P_0 V_0 = 273.15 \nu R$$

$$P V = (273.15 + t) \nu R$$

$$\text{则它们的比为} \frac{P_0}{P} = \frac{273.15}{273.15 + t}$$

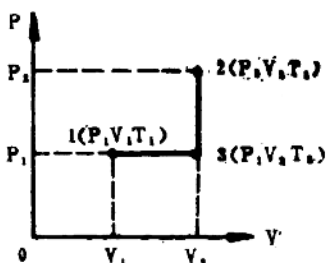
$$P = \frac{273.15 P_0 + P_0 t}{273.15} = \frac{273.15 P_0}{273.15}$$

$$+ \frac{P_0}{273.15} t = P_0 \left(1 + \frac{1}{273.15} t \right)$$

$$\text{令 } \alpha_P = \frac{1}{273.15}$$

则 $P = P_0 (1 + \alpha_P t)$ 。得证

1.14 试由玻意耳定律、盖·吕萨克定律(或查理定律)和阿伏伽德罗定律导出理想气体状态方程。



题1.4图

推导：由玻意耳定律可知， $P_1 V_1 = P_2 V_2 = \dots = C$

由盖·吕萨克定律可知 $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \dots = C$

由查理定律可知 $\frac{P}{T} = C$

注意以上三定律中的恒量C是不相等的。

在P—V图中若有1、2、3三个状态，由状态1→3知：

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_3}{T_3} \text{ (盖)} \quad \therefore T_3 = \frac{V_3 T_1}{V_1}$$

由状态3→2可知：

$$\frac{P_1}{T_3} = \frac{P_2}{T_2} \text{ (查)} \quad \therefore T_3 = \frac{P_1 T_2}{P_2}$$

则 $\frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{P_1 T_2}{P_2} = \dots = C$. 故 $\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0}$.

根据阿伏伽德罗定律可知在标准状态下 $\frac{P_0 V_0}{T_0} = R$ 所以对任意质量的气体则有:

$$\frac{PV}{T} = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{M}{\mu} R$$

$$\text{故得 } PV = \frac{M}{\mu} R T.$$

1.15 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出来;
- (3) 乒乓球挤瘪后, 放在热水里泡一会儿会重新鼓起来。

答: (1) 当自行车内胎里 V 不变的情况, 当其爆晒温度升高时, 压强必然增大, 压强 P 增大至内胎承受不了的压强时, 则内胎必将爆破。

(2) 热水瓶盛装热水未滿时, 其瓶内气体温度升高, 但体积不变, 压强必然增大, 再由 $PV = (P_{\text{空气}} + P_{\text{水气}}) V = \left(\frac{M_{\text{空气}}}{\mu_{\text{空气}}} + \frac{M_{\text{水气}}}{\mu_{\text{水气}}} \right) R T$ 知: 当初塞上塞子时, 瓶中水气 $M_{\text{水气}}$ 甚小, $P_{\text{水气}}$ 不大, $P = P_{\text{空气}} + P_{\text{水气}} = P_0$ 。(注: P_0 为外界大气压)。塞上塞子后, 水汽不能向外扩散, 水的蒸发, 使 $M_{\text{水气}}$ 逐渐增大。(最大可达到饱和水汽的质量), 及至 $P' = P_{\text{空气}} + P'_{\text{水气}}$ 与外界大气压的差 $P' - P_0 \geq \frac{F_r}{A}$ 时, (F_r 为塞子与瓶口的摩擦力, A 为塞子的横截面积) 塞子可跳出。(塞子质量可略去)。

(3) 挤瘪的乒乓球内的气体，遇热温度升高，压强增大，在压强的作用下，乒乓球即可重新鼓起来。

1·16 两筒温度相同的压缩氧气，从气压计指示出的压强不相同，问如何判断哪一筒氧气的密度大。

答：我们知道密度 $D = \frac{M}{V}$ ，所以在 $PV = \frac{M}{\mu}RT$ 式中可知： $D = \frac{\mu P}{RT}$ ，在题给两种情况下则 $\frac{D_1}{D_2} = \frac{P_1}{P_2}$ 所以可断定压强示数高的那筒氧气的密度大。

1·17 人坐在橡皮艇里，艇浸入水中一定的深度，到夜晚温度降低了，但大气压强不变，问艇浸入水中的深度将怎样变化。

答：橡皮艇内的气体视为理想气体，据理想气体状态方程可知，夜晚气温降低时，艇内气体压强减小，外界压强不变的情况下，艇内外压强不平衡，从而艇的容积将要减小，以保证达到新的平衡状态，故橡皮艇浸入水里的深度将要增大。

1·18 给汽车胎打气，使其达到所需要的压强，问夏天和冬天，打入胎内的空气的质量是否相同。

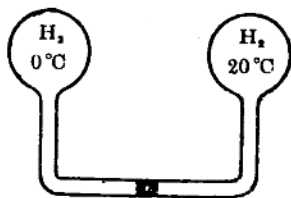
答：不相同。夏天打入胎内的气体质量少。由密度 $D = \frac{\mu P}{RT}$ 在 μ 、 P 不变的情况 T 大，则密度小。夏天的温度高，则密度小。在同样的情况下，夏天打入胎的气体质量少。

1·19 一个氢气球可以自由膨胀（即球内外压强保持相等），随着气球的不断升高，大气压强不断减小，氢气就不断膨胀。如果忽略大气温度和分子量随高度的变化，试向气

球在上升过程中所受的浮力是否变化，说明理由。

答：以气球内的氢气为研究对象，在气球上升过程中根据题给条件，应满足 $P_0 V_0 = P V$ ，即 $\frac{P_0}{P} = \frac{V}{V_0}$ 因随气球上升外界气体压强将不断减小，故氢气体积不断膨胀。又因为外界空气的密度与压强成正比： $\frac{P_0}{P} = \frac{D_0}{D}$ 所以体积 $\frac{V}{V_0} = \frac{D_0}{D}$ 我们知道浮力 $F = V D g$ 则 $V D g = V_0 g$ 故在上升过程中气球所受到的浮力将是不改变的。

1.20 两个相同的容器都装有氢气，以一玻璃管相通，管中用一水银滴作活塞。当左边容器的温度为 0°C 而右边为 20°C 时，水银滴刚好在玻璃管的中央而维持平衡（见图 1.20）。



题 1.20 图

（1）若左边容器的温度由 0°C 升到 10°C 时，水银滴是否会移动？怎样移动？

（2）如果左边升到 10°C ，而右边升到 30°C ，水银滴是否会移动？

答：在（1）情况下，水银滴将向右移动，到达一个新的平衡时才停下来，其原因为：

在起始状态时 $V_1 = V_2$ $P_1 = P_2$ 所以

$$P_1 V_1 = \frac{M_1}{\mu} R T_1, \quad P_2 V_2 = \frac{M_2}{\mu} R T_2$$

$$\frac{M_1}{\mu} R T_1 = \frac{M_2}{\mu} R T_2$$

$$\therefore \frac{M_1}{M_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{293}{273}$$

当 M_1 的气体温度由 273K 升至 283K 时,

$$\therefore P_1 = \frac{\frac{M_1}{\mu} R T_1}{V_1} \quad P_2 = \frac{\frac{M_2}{\mu} R T_2}{V_2}$$

$$\text{则 } \frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{M_1}{\mu} R T_1}{\frac{M_2}{\mu} R T_2} = \frac{M_1}{M_2}$$

$$\therefore \frac{T_1}{T_2} = \frac{293}{273} \times \frac{283}{293} > 1$$

故 $P_1 \neq P_2$ 且 $P_1 > P_2$ 所以水银滴则向右移动。

(2) 当 M_1 温度升至 283K, M_2 温度升至 303K 时,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{M_1}{M_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = \frac{293}{273} \cdot \frac{283}{303} > 1$$

水银滴也将稍向右移动。

1.21 试证明: 当气体的摩尔体积增大时, 范德瓦耳斯方程将趋近于理想气体状态方程。

证明: 1 摩尔气体的范德瓦耳斯方程为:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT \quad \text{式中的 } a \text{ 和 } b$$

为范德瓦耳斯修正量, 对于一定的气体来说均是常数, 可由实验测定之。

(1) 当 V (气体的摩尔体积) 增加时, 则 $\frac{a}{v^2}$ 将变小, 近似可以忽略。而 $(v - b)$ 中的 b 值与 v 相比也可忽略。故以上方程将趋近于理想气体状态方程 $Pv = RT$ 。

(2) 范德瓦耳斯方程可改写作

$$pv = RT \left(1 - \frac{b}{v}\right)^{-1} - \frac{a}{v}$$

$$\begin{aligned}\text{由二项式定理可知: } & \left(1 - \frac{b}{v}\right)^{-1} \\ &= 1 + \frac{b}{v} + \frac{b^2}{v^2} + \dots\end{aligned}$$

$$\text{所以 } p v = R T + \frac{(R T b - a)}{v} + \frac{R T b^2}{v^2} + \dots$$

当 v 增大时, 等式右边从第二项开始以后的各项均可忽略, 即可得 $p v = R T$ 。

二、习 题

1-1 在什么温度下, 下列一对温标给出相同的读数:

(1) 华氏温标和摄氏温标; (2) 华氏温标和热力学温标; (3) 摄氏温标和热力学温标?

$$\text{解: (1) } \because t_F = 32 + \frac{9}{5}t \quad \therefore \text{当 } t = t_F \text{ 时}$$

$$\text{即可由 } t = 32 + \frac{9}{5}t, \text{ 解得 } t = -\frac{32 \times 5}{4} = -40$$

$$\text{故在 } -40^\circ\text{C 时 } t_F = t$$

$$(2) \text{ 又 } \therefore T = 273.15 + t$$

$$\therefore \text{当 } T = t_F \text{ 时 则即 } 273.15 + t = 32 + \frac{9}{5}t$$

$$\text{解得: } t = \frac{241.15 \times 5}{4} = 301.44,$$

$$\therefore T = 273.15 + 301.44 = 574.59\text{K}$$

$$\text{故在 } T = 574.59\text{K 时 } T = t_F$$

$$(3) \because T = 273.15 + t, \therefore \text{若 } T = t \text{ 则有}$$

$$273.15 + t = t \quad \text{显而易见此方程无解, 因此不存在 } T =$$