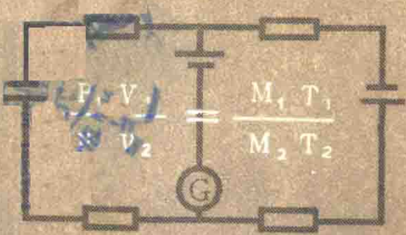
马国璞 编

热学、电学难点辅导

REXUE DIANXUE NANDIAN FUDAO



青海人民出版社

热学电学难点辅导

马国璞编

青海人民出版社

热学、电学难点辅导

马国璞编

*

青海人民出版社出版

（西宁市西关大街96号）

青海省新华书店发行　青海新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32　印张：11.125　字数：246,000

1983年9月第1版　1983年9月第1次印刷

印数：1—7,000

统一书号：13097·51　定价：0.85元

前　　言

为了适应科学技术的迅猛发发，一些过去属于大学的物理学教材，下放到了中学，这类教材从现行中学物理课本、高考试题、竞赛题、教学参考书等方面都已反映出来，无疑增加了师生教与学的困难。

本书针对中学物理教材中热学和电学部分的难点，借鉴国内外教学经验，添加编者个人的体会，采用讲座形式进行讲解，主要是讲清问题的来龙去脉，揭示电热现象间的能量转换关系，并列举典型例题加以说明。在讲解中所用到的公式，均以初等数学的方法来推导，因此本书中某些内容虽然超出现行中学教学大纲，但仍可为中学生所接受。

本书与已出版的《力学难点辅导》一书相连接。本书除供中学师生作教学参考和课外读物外，对理工科大学生也是有所裨益的。

由于水平有限，书中不足甚或错漏之处，欢迎老师和同学们提出。

编　　者

1982年春节

目　录

第一讲　理想气体和实际气体

§1　何谓理想气体

我们对理想气体的分子作如下假设：

（1）同种类气体分子的质量相同。

（2）气体分子本身的大小与它们之间的平均距离相比，可以忽略不计。即不考虑气体分子本身的体积。

（3）由于气体分子很小，分子间的平均距离很大，因此除碰撞的瞬间外，可忽略分子间的相互作用力。气体分子间的唯一作用就是相互碰撞，并且气体分子间的相互碰撞以及气体分子和器壁的碰撞都是完全弹性碰撞。即把气体分子看成弹性小球，忽略彼此的相互作用和能量损失。又因分子的动能平均说来远比它们的重力势能大，所以分子所受的重力也忽略不计。

（4）由于气体分子的数目巨大，且气体分子之间的碰撞非常频繁，各分子作无规则运动，所以从全体分子看，可以认为分子沿各个方向运动的几率是相等的，即在任一时刻沿各个方向运动的分子数目相等。

完全符合上述微观模型的气体就是理想气体。由于我们认为理想气体的分子是有质量但无体积、彼此无相互作用的弹性小球，所以这同实际的气体是有所区别的。但是当实际气体还远在未饱和和未液化之前，仍是近似于理想气体模型的。说明理想气体模型是有事实基础的，它在一定条件下反映了实际气体的客观性质。即当温度不太低、压强不太大的

条件下，用理想气体模型得出的结论，还是符合实际气体情况的。

§2 理想气体对称方程

一定质量的理想气体，在任何条件下，都严格遵守气态三定律，即：

当温度不变时： $P_1V_1 = P_2V_2$（波意耳—马略持定律）

当压强不变时： $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$（盖·吕萨克定律）

当体积不变时： $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$（查理定律）

将上述三定律统一成一个方程，即理想气体气态方程：

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

气态方程的适用条件是在变化前后理想气体的质量不变，这对于解决实际问题造成了限制。

利用一摩尔质量的气体总有固定的分子数这一概念，很容易推出克拉伯珑方程

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

这一方程克服了应用气态方程时“质量不变”的限制，适用于解决变质量的问题。但由于压强P、体积V、温度T的单位取值不同，使气体普适恒量R得不同的数值：

$$R = \frac{1\text{大气压} \times 22.4\text{升/摩尔}}{273K} = 0.082\text{大气压·升/(摩尔·开)}$$

$$R = \frac{1.0336 \times 9.8\text{牛顿}/10^{-4}\text{米}^2 \times 22.4 \times 10^{-3}\text{米}^3/\text{摩尔}}{273K}$$

$$= 8.31\text{焦耳}/(\text{摩尔·开})$$

$$R=0.239\times 8.31\text{卡}/\text{开}\approx 2\text{卡}/\text{开}\cdot\text{摩尔}$$

反过来，R的数值一旦选定，压强P和体积V的单位又必须和R的单位一致。另外，克拉伯珑方程讲的是同一容器气体的压强P、体积V、温度T和质量m之间的关系。若用该方程求解两容器气体对流的问题，就颇为繁杂。

下面，给读者介绍一个理想气体的变形方程，利用这个方程求解理想气体的许多问题，都十分方便。

设甲、乙两容器装有同种气体，甲容器中气体的压强是P_1，体积是V_1，温度是T_1，质量是m_1；乙容器中气体的压强是P_2，体积是V_2，温度是T_2，质量是m_2，则：

$$P_1V_1=\frac{m_1}{\mu}RT_1 \qquad (1)$$

$$P_2V_2=\frac{m_2}{\mu}RT_2 \qquad (2)$$

（1）：（2）得 $$\frac{P_1V_1}{P_2V_2}=\frac{m_1T_1}{m_2T_2} \qquad (3)$$

（3）式叫做理想气体对称方程。

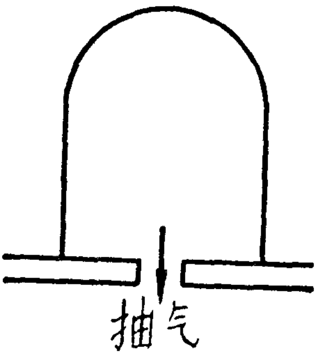


图1—1

由于理想气体对称方程中不需要代入R，这就带来了许多方便，只要是同种气体，均可利用对称方程计算。

【例1】 有一真空系统（如图1—1），原来里面气体压强为P_o，温度是27℃，现进行抽气，当把系统内的气体抽到$10^{-4}P_o$时，温度为17℃，问抽出气体的质量是抽气前系统内质量的百分之几？

解 比较抽气前后罩内的气体

$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2}=\frac{m_1T_1}{m_2T_2} \quad 又V_1=V_2$$

$$\therefore \quad m_2=\frac{P_2T_1}{P_1T_2}m_1$$

所以，气体减少的百分比

$$\frac{m_1-m_2}{m_1}=1-\frac{P_2T_1}{P_1T_2}=1-\frac{10^{-4}\times 300}{1\times 290}=99.99\%$$

【例2】 体积一定的硬壳气球中充有温度是15℃的氢气，在压强不变的情况下，当温度升到37℃时，有6克的氢气从气球跑出，求硬壳气球的容积（氢在0℃时的密度为0.000089克／厘米^3）

解 对氢气逸出前后的状况进行比较得：

$$\frac{P_0V_0}{P_0V_0}=\frac{m_1T_1}{(m_1-6)T_2}$$

$$\therefore \quad m_1T_1=(m_1-6)T_2$$

$$m_1\times 288=(m_1-6)\times 310$$

$$\therefore \quad m_1=84.55（克）$$

∴在压强为P_0，体积为V_0，温度为288K时氢气球内氢气质量为$m_1=84.55$克，而在压强为P_0，体积$V_3=1$厘米^3，温度$T_3=273$K时，氢气的质量$m_3=0.000089$克。

$$\therefore \quad \frac{P_0V_0}{P_0V_3}=\frac{m_1T_1}{m_3T_3}$$

$$\frac{V_0}{1}=\frac{84.55\times 288}{0.000089\times 273}$$

$$\therefore \quad V_0=\frac{84.55\times 288}{0.000089\times 273}$$

$$\approx 1000000厘米^3=1（米^3）$$

【例3】 甲、乙、丙三个贮气筒，体积之比为3∶2∶1，

都装满氧气，各筒中气体的压强分别为150、100和250大气压，在等温条件下，把三瓶氧气用细管连接起来，使三瓶氧气混合，求混合后的气压。

解 已知：$V_1:V_2:V_3=3:2:1$

即 $V_1:V_2=3:2 \quad \therefore V_2=\frac{2}{3}V_1$

$V_1:V_3=3:1 \quad \therefore V_3=\frac{1}{3}V_1$

比较第1和第2瓶氧气 $\frac{P_1V_1}{P_2V_2}=\frac{m_1T_0}{m_2T_0}$ （1）

比较第1和第3瓶氧气 $\frac{P_1V_1}{P_3V_3}=\frac{m_1T_0}{m_3T_0}$ （2）

比较第1瓶和三瓶混合后的氧气

$$\frac{P_1V_1}{P(V_1+V_2+V_3)}=\frac{m_1T_0}{(m_1+m_2+m_3)T_0}$$

代入已知值得：

$$\begin{cases}\dfrac{150V_1}{100\times\frac{2}{3}V_1}=\dfrac{m_1}{m_2} & (4)\\[2ex] \dfrac{150V_1}{250\times\frac{1}{3}V_1}=\dfrac{m_1}{m_3} & (5)\\[2ex] \dfrac{150V_1}{P\left(V_1+\frac{2}{3}V_1+\frac{1}{3}V_1\right)}\end{cases}$$

$$=\frac{m_1}{m_1+m_2+m_3} \quad (6)$$

由（4）得：$m_2=\frac{4}{9}m_1$；由（5）得 $m_3=\frac{5}{9}m_1$ 代入（6）

$$\frac{150V_1}{P\left(1+\frac{2}{3}+\frac{1}{3}\right)V_1}=\frac{m_1}{m_1+\frac{4}{9}m_1+\frac{5}{9}m_1}$$

$\therefore \quad P=150$（大气压）

【例4】 氧气瓶中的容积为32升，其中氧气的压强为

130个工业大气压，氧气厂规定压强降到10个工业大气压时，就重新充气，以免经常洗瓶。某小型车间，平均每天用400升1个工业大气压的氧气，问一瓶氧气能用多少天？（假定使用过程温度不变）

解 对于使用前后瓶中的氧气有

$$\frac{P_1V_0}{P_2V_0}=\frac{m_1T_0}{m_2T_0} \qquad (1)$$

对于释放前瓶中的氧气和释放出的氧气有

$$\frac{P_1V_0}{P_3(nV_3)}=\frac{m_1T_0}{(m_1-m_2)T_0} \qquad (2)$$

（2）式中 n 表示使用的天数，m_1-m_2表示所释放的氧气的质量。

简化（1）、（2）式，并将已知值$P_1=130$工业大气压，$P_2=10$工业大气压，$P_3=1$工业大气压，$V_0=32$升，$V_3=400$升代入得：

$$\begin{cases}\dfrac{130}{10}=\dfrac{m_1}{m_2} & (3)\\[2ex] \dfrac{130\times32}{1\times400n}=\dfrac{m_1}{m_1-m_2}=\dfrac{1}{1-\dfrac{m_2}{m_1}} & (4)\end{cases}$$

将（3）代入（4） $\dfrac{130\times32}{1\times400n}=\dfrac{1}{1-\dfrac{10}{130}}=\dfrac{130}{120}$

$\therefore \quad n=9.6$天

【例5】 当气体温度为7℃，压强为0.01毫米汞柱时，每立方厘米中有多少分子数？

解 根据理想气体对称方程：

$$\frac{P_1V_1}{P_2V_2}=\frac{m_1T_1}{m_2T_2}$$

设每个气体分子的质量均为m_0，已知在标准情况下，$P_1=760$毫米汞柱，$T_1=273$ K，$V_1=22400$厘米^3，$m_1=6.023\times10^{23}m_0$克；在本题情况下，$P_2=0.01$毫米汞柱，$T_2=280$K，$V_2=1$厘米^3，$m_2=n\,m_0$克。

$$\therefore\quad \frac{760\times22400}{0.01\times1}=\frac{6.023\times10^{23}m_0\times273}{n\,m_0\times280}$$

$$n=\frac{0.01\times6.023\times10^{23}\times273}{760\times224\times280}=3.2\times10^{14}\text{个}$$

【例6】 如图1—2所示，容积相同的两容器A、B用一细长管相连，细管的容积可忽略不计，两容器都盛有氮气。当两容器的温度都是300K时，压强都是一个大气压。现将容器A的温度逐渐冷却到100K，而容器B的温度仍是300K，求此时容器A中气体的压强。容器A冷却后容积的变化忽略不计。

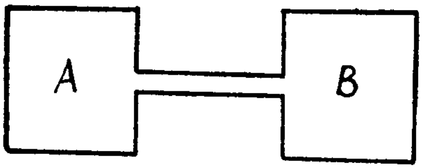


图1—2

解 由于A、B容器装的是同一气体，故适用于理想气体对称方程。比较温度变化前A、B容器中的气体，有

$$\frac{P_A V_A}{P_B V_B}=\frac{m_A T_A}{m_B T_B}$$

依题意 $P_A=P_B=1$大气压，$V_A=V_B$，$T_A=T_B300$ K

$$\therefore\quad m_A=m_B \qquad (1)$$

比较温度变化前后的A容器中气体。由于A容器温度下降后压强降低，B容器会有Δm的气体流入A容器，则：

$$\frac{P_A V_A}{P_A' V_A}=\frac{m_A T_A}{(m_A+\Delta m)T'_A}$$

约简，并代入已知数据得

$$\frac{P_A}{P_A'}=\frac{m_A\times 300}{(m_A+\Delta m)\times 100} \qquad (2)$$

比较容器A温度变化前后的B容器中气体，有：

$$\frac{P_B V_B}{P_B' V_B}=\frac{m_B T_B}{(m_B-\Delta m)T_B}$$

简化得 $$\frac{P_B}{P_B'}=\frac{m_B}{m_B-\Delta m} \qquad (3)$$

当温度变化后，A、B 容 器 中的气体重新分布平衡，必然是

$P_A'=P_B'$ （4）

联立（1）、（2）、（3）、（4）得

$$\frac{3m_A}{m_A+\Delta m}=\frac{m_A}{m_A-\Delta m}$$

$$\therefore\quad \Delta m=\frac{1}{2}m_A$$

代入（2）式 $$\frac{P_A}{P_A'}=\frac{3m_A}{m_A+\frac{1}{2}m_A}=\frac{2}{1}$$

$$\therefore\quad P_A'=\frac{1}{2}P_A=0.5（大气压）$$

【例7】 图1—3是低温测量中常用的温度计的示意图。温度计由下端的测温泡A，上端的压强计B和毛细管C构成。毛细管较长，用导热性很差的材料做成，两端分别与A和B接通。已知A的容积为V_A，B的容积为V_B，毛细管的容积可忽略不计。整个温度计是密闭的。在室温T_0下，温度计内气体的压强是P_0，测温时，室温仍是T_0，将A浸

入待测物体．A中气体与待测物体达到热平衡后，B中气体的压强为P，根据以上已知的温度、压强和体积，可计算出待测温度T，试证明：

$$T=\frac{P}{P_0}\cdot\frac{T_0}{1+\frac{V_B}{V_A}\left(1-\frac{P}{P_0}\right)}$$

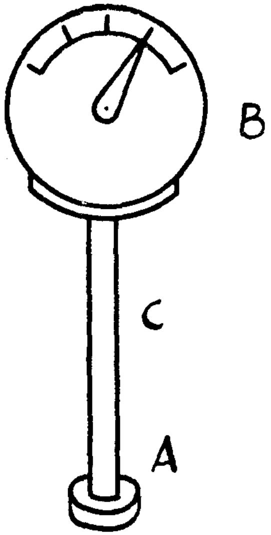


图1—3

解 由于C管较长，导热性又很差，可认为B的温度在测量前后均为T_0，只是当A的温度降低为T后，有一部分气体从B经C进入A，从而使A、B中气体压强再次平衡，都变成P。

对于测量前的A、B容器：$\frac{P_0V_A}{P_0V_B}=\frac{m_AT_0}{m_BT_0}$

对于测量前后的A容器：$\frac{P_0V_A}{PV_A}=\frac{m_AT_0}{(m_A+\Delta m)T}$

对对测量前后的B容器：$\frac{P_0V_B}{PV_B}=\frac{m_BT_0}{(m_B-\Delta m)T_0}$

即
$$\begin{cases}\frac{V_A}{V_B}=\frac{m_A}{m_B} & (1)\\[2mm] \frac{P_0}{P}=\frac{m_AT_0}{(m_A+\Delta m)T} & (2)\\[2mm] \frac{P_0}{P}=\frac{m_B}{m_B-\Delta m} & (3)\end{cases}$$

由（3）得　$P_0(m_B-\Delta m)=Pm_B$

$$\therefore\quad \Delta m=m_B-\frac{P}{P_0}m_B=m_B\left(1-\frac{P}{P_0}\right)\qquad(4)$$

由（2）、（3）得：

$$\frac{m_A T_0}{(m_A+\Delta m)T}=\frac{m_B}{m_B-\Delta m}$$

将（4）代入得：

$$\frac{m_A T_0/T}{m_A+m_B(1-P/P_0)}=\frac{m_B}{m_B-m_B(1-P/P_0)}$$

$$\frac{T_0}{T\left[1+\frac{m_B}{m_A}(1-P/P_0)\right]}=\frac{1}{1-(1-P/P_0)}=\frac{P_0}{P}$$

再将（1）式代入：

$$\frac{T_0}{T\left[1+\frac{V_B}{V_A}(1-\frac{P}{P_0})\right]}=\frac{P_0}{P}$$

$$\therefore\quad T=\frac{P}{P_0}\frac{T_0}{1+\frac{V_B}{V_A}\left(1-\frac{P}{P_0}\right)}$$

【例8】压气机每动作一次，能从大气中把 $V_0=5\times10^{-2}$ 米^{3}的空气抽进来并压入容积 $V=2$米^{3}的储气缸中，同时储气缸中空气温度保持在 $t=-53$℃。问：当储气缸中的气压增加$\Delta P=4.0\times10^5$帕斯卡时，压气机应动作多少次？（设大气压$P_0=1.0\times10^5$帕斯卡，大气温度-3℃）

解 设压气机工作开始之前，储气缸中空气压强为P，质量为m，（另由题知，其体积V、温度T）；并设压气机每次从大气中抽进空气的质量为m。（由题知其未进入储气缸前压强是P_0，温度是T_0，所占体积是V_0），比较二者得：

$$\frac{PV}{P_0V_0}=\frac{mT}{m_0T_0},\qquad\therefore m_0=\frac{P_0V_0mT}{PVT_0}$$

设压气机工作 n 次后，储气缸内空气压强变成P'，则

$$\frac{PV}{P'V}=\frac{mT}{(m+nm_0)T},\qquad\therefore P'=\frac{m+nm_0}{m}P$$

依题意 $\Delta P = P' - P = \frac{m + nm_0}{m}P - P = \frac{nm_0}{m}P$

再将m_0之值代入上式：

$$\Delta P = \frac{nP}{m} \cdot \frac{P_0 V_0 mT}{PVT_0} = \frac{nP_0 V_0 T}{VT_0}$$

$$\therefore n = \frac{\Delta PVT_0}{P_0 V_0 T} = \frac{4.0 \times 10^5 \times 2 \times 270}{1.0 \times 10^5 \times 5 \times 10^{-3} \times 220}$$

$= 1964$（次）。

【例9】 一硬壳气球，容积是V，其中充满了温度和压强都与外界相同的氢气 压强是P_1，温度是T_1 若在气球上升过程中，氢气可以通过气球下面的小孔缓缓跑出，问当气球上升到压强是P_2，温度是T_2的高度时，气球的上升力减少多少？

解 比较开始上升时和指定高空时气球内的氢气：

$$\frac{P_1 V}{P_2 V} = \frac{m_1 T_1}{m_2 T_2}$$

$$\therefore \quad m_2 = \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2} m_1$$

$$\therefore \quad \Delta m = m_1 - m_2 = \left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}\right) m_1 \qquad (1)$$

而 $P_1 V = \frac{m_1}{\mu_{氢}} RT_1$， $\therefore m_1 = \frac{P_1 V \mu_{氢}}{RT_1}$

代入到（1）
$$\Delta m = \frac{P_1 V \mu_{氢}}{RT_1}\left(1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}\right) = \frac{V\mu_{氢}}{RT_1} \cdot \frac{P_1 T_2 - P_2 T_1}{T_2} = \frac{V\mu_{氢}}{R}\left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right)$$

根据阿基米德定律：$F_{浮} = D_{空} V g$。

而 $PV = \frac{m}{\mu_{空}} PT$ $\therefore D_{空} = \frac{m}{V} = \frac{P\mu_{空}}{RT}$

在气球起飞时的上升力：$F = F_{浮} - m_1 g - m_0 g$，式中