高校核心课程学习指导丛书

中国科学技术大学交叉学科基础物理教程配套辅导书

热学

习题分析与解答

朱晓东　编著

中国科学技术大学出版社

高校核心课程学习指导丛书
中国科学技术大学交叉学科基础物理教程配套辅导书

热学

习题分析与解答

朱晓东　编著

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是中国科学技术大学交叉学科基础物理教程《热学》(朱晓东编著)的配套教学参考书。《热学》教程中约有260道题目,大多选自国内外一流大学的热学教科书、研究生入学考试试题等。本书对《热学》教程中的绝大部分习题给出了解题参考,可供使用《热学》教程的老师和同学作为参考书,也适合使用普通物理类教材的老师和同学参考,对于准备研究生入学考试的学生也有一定的指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

热学习题分析与解答/朱晓东编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.5
(高校核心课程学习指导丛书)
ISBN 978-7-312-03765-8

Ⅰ.热…　Ⅱ.朱…　Ⅲ.热学—高等学校—题解　Ⅳ.O551-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第277154号

出版　中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路96号,230026
http://press.ustc.edu.cn
印刷　安徽省瑞隆印务有限公司
发行　中国科学技术大学出版社
经销　全国新华书店
开本　710 mm×960 mm　1/16
印张　11.5
字数　200千
版次　2016年5月第1版
印次　2016年5月第1次印刷
定价　28.00元

前　　言

本书是中国科学技术大学交叉学科基础物理教程《热学》(朱晓东编著)的一个补充,编者希望通过这样一本习题集,给学生解答《热学》教程上的习题提供一个参考。在学习了热学基础知识后,学生通过习题的解答,会加深对所学理论的理解,更好地消化教材内容。

习题的难易程度不一致,有些题很简单,有少数题要动点脑筋。题目难度大致可分为三级,题号前没有标记的为一般,标“ * ”的为中等,标“ * * ”的为稍难。习题的来源是多方面的,约有 260 道题目,大多选自国内外一流大学的热学教科书、研究生入学考试试题等。本书对《热学》教程中的绝大部分习题给出了解题参考,可以供使用《热学》教程的老师和同学作为参考书,也适合使用普通物理类教材的老师和同学参考,对于准备研究生入学考试的学生也有一定的指导作用。

中国科学技术大学物理学院的博士生王兆亮、张一川和李唤同学做了初步题解,编者对全部习题进行了统稿;中国科学技术大学出版社为本书的出版做了大量的工作;欢迎大家在使用过程中指出书中的错误,或给出更简洁、更巧妙的解法,在此一并表示衷心的感谢。

目　　录

第 1 章　温　　度

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。

解　(1) 令 $t_F = 32 + \frac{9}{5}t = t$，解得 $t = -40$ ℃.

(2) 令 $t_F = 32 + \frac{9}{5}t = 32 + \frac{9}{5}(T - 273.15) = T$，解得 $T = 574.59$ K.

(3) 令 $t = T - 273.15 = T$，不存在这样的 T 值，故摄氏温标和热力学温标不可能给出相同的读数。

1-2　一个气体温度计与处于三相点的水接触时显示为 325 mmHg*，当它与正常沸水接触时指示为多少 mmHg？（$1\ \text{mmHg} = 1.333\,22 \times 10^2$ Pa）

解　气体温度计显示的压强与温度的关系为

$$T = 273.16 \times \frac{p}{p_{tr}}$$

当 $T = 273.16$ K 时，$p_{tr} = 325$ mmHg，则当 $T = 373.15$ K 时

$$p = 325 \times \frac{373.15}{273.16}\ \text{mmHg} = 444\ \text{mmHg}$$

***1-3**　道尔顿提出一种温标：规定理想气体体积的相对增量正比于温度的增量，在标准大气压下，规定水的冰点温度为零度，沸水温度为 100 度。试用摄氏度 t 来表示道尔顿温标的温度 τ。

解　设 τ 为道尔顿温标确定的温度，理想气体的压强一定时，温度增量为 $d\tau$，

---

* 因《热学》教程原题中使用了此非法定计量单位 mmHg，为保持一致，本书部分题目中用 mmHg 作为压强单位。

相应的体积相对增量为 $\mathrm{d}V/V$，则有

$$\frac{\mathrm{d}V}{V}=\alpha\mathrm{d}\tau$$

式中 α 为比例系数，积分得

$$\ln V=\alpha\tau+C$$

其中 C 为常数。设在冰点时理想气体体积为 V_{c}，沸点时体积为 V_{h}，则得

$$\ln V_{\mathrm{c}}=C,\quad \ln V_{\mathrm{h}}=100\alpha+C$$

解得

$$\alpha=\frac{1}{100}\ln\frac{V_{\mathrm{h}}}{V_{\mathrm{c}}}$$

$$\tau=\frac{1}{\alpha}\ln\frac{V}{V_{\mathrm{c}}}$$

当压强一定时，理想气体体积与摄氏温度的关系为

$$\frac{V}{V_{\mathrm{c}}}=\frac{t+273.15}{0+273.15}=\frac{t+273.15}{273.15}$$

$$\frac{V_{\mathrm{h}}}{V_{\mathrm{c}}}=\frac{100+273.15}{0+273.15}=\frac{373.15}{273.15}$$

将二式代入 $\tau=\frac{1}{\alpha}\ln\frac{V}{V_{\mathrm{c}}}$，故有

$$\tau=\frac{100\ln\frac{t+273.15}{273.15}}{\ln\frac{373.15}{273.15}}$$

1-4 一个定容气体温度计在水的三相点温度(0.01 ℃)时压强为 4.8×10^{4} Pa，在正常沸水温度(100 ℃)时压强为 6.50×10^{4} Pa。

(1) 假设压强随温度线性变化，用已知数据找出摄氏温度的气体压强为 0 的点。

(2) 在此温度计中的气体精确满足方程(T 采用热力学温标)$\frac{T_2}{T_1}=\frac{p_2}{p_1}$吗？如果精确满足方程，而且在 100 ℃时压强为 6.5×10^{4} Pa，那么在 0.01 ℃时测得的压强应该是多少？

解 (1) 由于压强随温度线性变化，故压强与温度的函数关系为

$$\frac{p-4.8\times10^{4}}{T-0.01}=\frac{6.50\times10^{4}-4.8\times10^{4}}{100-0.01}$$

在上式中令 $p=0$,解得

$$T=-282.315\ ℃$$

(2) 由(1)知,此温度计中的气体并不精确满足方程 $\frac{T_2}{T_1}=\frac{p_2}{p_1}$。如果精确满足方程,而且在100 ℃时压强为 6.50×10^4 Pa,那么在0.01 ℃时测得的压强应该是

$$p_2=\frac{T_2}{T_1}\cdot p_1=\frac{273.16}{373.15}\times6.50\times10^4\ \text{Pa}=4.76\times10^4\ \text{Pa}$$

1-5　如果一种理想气体用于定容气体温度计,$\frac{T_s}{T_{tr}}=\frac{p_s}{p_{tr}}=1.366\,05$,而一般来说,$\frac{T_1}{T_2}=\frac{p_1}{p_2}$。右下角的小字母 s 表示沸点,tr 表示三相点,而1和2表示任意两个温度。让我们定义一个新的绝对温标——“牛顿”温标,该温标中 $t_s-t_{tr}=23$,试求出 t_s 和 t_{tr}。

解　由已知条件得

$$\frac{t_s}{t_{tr}}=1.366\,05,\quad t_s-t_{tr}=23$$

则

$$t_s=85.83,\quad t_{tr}=62.83$$

1-6　水银温度计浸在冰水中时,水银柱的长度为4.0 cm;温度计浸在沸水中时,水银柱的长度为24.0 cm。

(1) 在室温22.0 ℃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时,水银柱的长度为25.4 cm,试求溶液的温度。

解　(1) 当 $t=0$ ℃时 $l_{冰点}=4.0$ cm,当 $t=100$ ℃时 $l_{沸点}=24.0$ cm,则由教材中式(1.3.6)可知水银温度计温度随水银柱长度的变化关系为

$$t=100\,\frac{l-l_{冰点}}{l_{沸点}-l_{冰点}}=100\times\frac{l-4}{24-4}=5(l-4)$$

故当 $t=22$ ℃时,$l=8.4$ cm。

(2) 令 $l=25.4$ cm,可得 $t=107$ ℃。

***1-7**　一个热偶的电动势,以下列方程式来描述:

$$\varepsilon = a + b(t - t_0) + c(t - t_0)^2$$

式中 a,b,c 为以参考热偶定出的常数；t 为摄氏温度；t_0 表示冰点 0 ℃或 273.15 K；ε 为电动势。

(1) 用 a,b,c 来定义一个以 ε 来测量的百分温标(即冰点和沸点之间平均分为 100 度的温标)。

(2) 试把 ε 改以 a,b,c,T(T 为开氏温度)来表示。在绝对零度时，ε 的值是什么？

(3) 如果我们定义一个温标 θ，符合$\dfrac{\theta}{\theta_0} = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$，而 $\theta_0 = 200$ 表示冰点时的温度。那么当 $t = -100$ ℃，θ 值是多少？

解 (1) 在摄氏温度下，$\varepsilon = a + bt + ct^2$，由于冰点和沸点相差 100 ℃，要使此温标也在冰沸点间也均分为 100 度，则

$$\mathrm{d}\varepsilon = \mathrm{d}t,$$

解得 $b = 1, c = 0, a$ 为任意数，则

$$\varepsilon = a + t$$

(2) 由于

$$\varepsilon = a + b(T - 273.15) + c(T - 273.15)^2$$

在绝对零度时

$$\varepsilon = a - 273.15b + 273.15^2 c$$

(3) $t = 0$ ℃时，得 $\varepsilon_i = a$，有

$$\varepsilon = \frac{a}{200}\theta = a + bt + ct^2$$

故当 $t = -100$ ℃时，有

$$\theta = 200 - \frac{20\,000b}{a} + \frac{2\,000\,000c}{a}$$

1-8 水的密度在 4 ℃时达到极大值。试问如果用水的密度作为测温属性，会发生什么问题？

解 由于水密度在 4 ℃出现极大值，使得在 4 ℃前后出现相同的密度值，即测温属性不是随温度呈现单调变化，在同一状态对应两个不同的温度值，这显然不合适。

1-9 用定容气体温度计测量系统的温度。当测温泡内气体的质量变化时测得的 p/p_{tr} 值如下表所示，p_{tr} 是定容气体温度计在三相点时的压强值，试根据表中数据求出未知温度值。(1 mbar = 10^2 Pa)

p_{tr}(mbar*)	1 200	1 000	800	600	400	200
p/p_{tr}	1.79	1.71	1.64	1.58	1.53	1.49

解 根据实验数据，可发现 $\Delta(p/p_{tr})$ 变化规律如下：

p_{tr}(mbar)	1 200	1 000	800	600	400	200
p/p_{tr}	1.79	1.71	1.64	1.58	1.53	1.49
$\Delta(p/p_{tr})$		0.08	0.07	0.06	0.05	0.04

可推得 $p_{tr}=0$ 时，$\Delta(p/p_{tr})=0.03$，$p/p_{tr}=1.46$，此时测得的温度接近于真实值

$$T = T_{tr}\lim_{p_{tr}\to 0}\frac{p}{p_{tr}} = 273.16\times 1.46\ \mathrm{K} = 398.81\ \mathrm{K}$$

1-10 将某液体从 0 ℃加温到 100 ℃，压强增加 2 atm**，体积不变，若该液体的等温压缩系数是 $4.5\times10^{-5}\mathrm{atm}^{-1}$，求等压体膨胀系数。假设压缩系数和体膨胀系数都是常数。(1 atm = $1.013\ 25\times10^5$ Pa)

解 由

$$\mathrm{d}V = \alpha V\mathrm{d}T - \beta V\mathrm{d}p$$

令 $\mathrm{d}V=0$，得

$$\alpha = \beta\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T} = 4.5\times10^{-5}\times\frac{2}{100}\mathrm{K}^{-1} = 9\times10^{-7}\ \mathrm{K}^{-1}$$

***1-11** 简单固体和液体的等压体胀系数 α 和等温压缩系数 β 数值都很小，在一定温度范围内可以把 α 和 β 看作常量. 试证明简单固体和液体的物态方程可近似为

---

* 因《热学》教程原题中使用了此非法计量单位 mbar，为保持一致，本书部分题目中采用 mbar 作为压强单位。

** 因《热学》教程原题中使用了此非法计量单位 atm，为保持一致，本书部分题目中采用 atm 作为压强单位。

$$V(T,p) = V_0(T_0,p_0)[1 + \alpha(T - T_0) - \beta(p - p_0)]$$

证明 以 T,p 为状态参量,物质的状态方程为

$$V = V(T,p)$$

对两边微分得

$$\mathrm{d}V = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \mathrm{d}T + \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p$$

两边同时除以 V,并根据等压体胀系数 α 和等温压缩系数 β 的定义有

$$\frac{\mathrm{d}V}{V} = \alpha \mathrm{d}T - \beta \mathrm{d}p$$

将初态选为(T_0,p_0),末态记为(T,p),两边积分

$$\int_{V_0(T_0,p_0)}^{V(T,p)} \frac{\mathrm{d}V}{V} = \int_{T_0}^{T} \alpha \mathrm{d}T - \int_{p_0}^{p} \beta \mathrm{d}p$$

$$\Rightarrow \quad \ln \frac{V(T,p)}{V_0(T_0,p_0)} = \alpha(T - T_0) - \beta(p - p_0)$$

$$\Rightarrow \quad V(T,p) = V_0(T_0,p_0)\mathrm{e}^{\alpha(T-T_0)-\beta(p-p_0)}$$

考虑到 α 和 β 的数值都很小,将指数函数展开,保留到 α 和 β 的一次项,有

$$V(T,p) = V(T_0,p_0)[1 + \alpha(T - T_0) - \beta(p - p_0)]$$

1-12 对于任何一种具有两个独立参量 T, p 的物质:

(1) 试证明其物态方程为 $\ln V = \int \alpha \mathrm{d}T - \beta \mathrm{d}p$,其中等压体膨胀系数 α 和等温压缩系数 β 由实验测得。

(2) 如果某一气体的等压体膨胀系数和等温压缩系数分别为 $\alpha = \dfrac{nR}{pV}$, $\beta = \dfrac{1}{p} + \dfrac{a}{V}$,其中 n, R 和 a 都是常数。试求此气体的物态方程。

解 (1) 以 T,p 为状态参量,物质的状态方程为

$$V = V(T,p)$$

两边微分得

$$\mathrm{d}V = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \mathrm{d}T + \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p$$

两边同时除以 V,并根据等压体膨胀系数 α 和等温压缩系数 β 的定义有

$$\frac{\mathrm{d}V}{V} = \alpha \mathrm{d}T - \beta \mathrm{d}p$$

上式是以 T,p 为自变量的积分，沿一任意的积分路线积分，有

$$\ln V = \int \alpha \mathrm{d}T - \beta \mathrm{d}p$$

（2）由（1）知

$$\frac{\mathrm{d}V}{V} = \alpha \mathrm{d}T - \beta \mathrm{d}p = \frac{nR}{pV}\mathrm{d}T - \left(\frac{1}{p} + \frac{a}{V}\right)\mathrm{d}p$$

两边同乘以 pV，整理得

$$p\mathrm{d}V + V\mathrm{d}p = nR\mathrm{d}T - ap\mathrm{d}p$$

即

$$\mathrm{d}(pV) = \mathrm{d}\left(nRT - \frac{1}{2}ap^2\right)$$

积分得

$$pV = nRT - \frac{1}{2}ap^2 + C$$

上式即该气体的物态方程。其中常数 C 可由实验确定。

1-13 要使一根钢棒在任何温度下都要比另一根铜棒长 5 cm，试问它们在 0 ℃时的长度 l_{01} 和 l_{02} 分别是多少？已知钢棒及铜棒的线膨胀系数分别为 $\alpha_1 = 1.2\times10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$，$\alpha_2 = 1.6\times10^{-5}\ \mathrm{K}^{-1}$。

解 由教材中式(1.5.9)，有

$$l_1 = l_{01}(1 + \alpha_1 \Delta T), \quad l_2 = l_{02}(1 + \alpha_2 \Delta T)$$

两式相减得

$$l_1 - l_2 = l_{01} - l_{02} + (l_{01}\alpha_1 - l_{02}\alpha_2)\Delta T$$

在任何温度下两棒长度差均为 5 cm，则要求

$$l_{01}\alpha_1 - l_{02}\alpha_2 = 0$$

而又有

$$l_1 - l_2 = l_{01} - l_{02} = 5\ \mathrm{cm}$$

二式联立，解得

$$l_{01} = 20\ \mathrm{cm}, \quad l_{02} = 15\ \mathrm{cm}$$

****1-14** 一个 0.450 m 长的钢棒和一个 0.250 m 长的铝棒首尾相连，被放置在不可伸长的刚性支柱中间，它们有相同的直径，开始时两棒间没有压力。两棒的温度升高 60 ℃时，它们之间的压力变为多少？（提示：两棒的总长度不变，但是每个

棒的伸长量不同。）

解 两棒所受的压力相等，假设钢棒实际伸长量为 ΔL，由于两棒总长度不变，则铝棒伸长量为 $-\Delta L$。用 L_S 和 L_{Al} 分别代表钢棒和铝棒的初始长度。

两棒的温度升高 60 ℃时，它们在不受外界约束时的伸长量分别为

$$\Delta L_S = \alpha_S L_S \Delta T, \quad \Delta L_{Al} = \alpha_{Al} L_{Al} \Delta T$$

其中 α_S，α_{Al} 分别为钢和铝的线膨胀系数。由于两棒的总长度不变，钢棒受压缩的量为 $\Delta L_S - \Delta L$，铝棒受压缩的量为 $\Delta L_{Al} + \Delta L$。它们所受的作用力大小为

$$F_S = F_{Al} = Y_S A \frac{\Delta L_S - \Delta L}{L_S} = Y_{Al} A \frac{\Delta L_{Al} + \Delta L}{L_{Al}}$$

式中，A 为棒的截面积；Y_S，Y_{Al} 分别为它们的杨氏模量，解得

$$\Delta L = \frac{Y_S L_{Al} \Delta L_S - Y_{Al} L_S \Delta L_{Al}}{Y_S L_{Al} + Y_{Al} L_S} = \frac{Y_S \alpha_S - Y_{Al} \alpha_{Al}}{Y_S L_{Al} + Y_{Al} L_S} L_S L_{Al} \Delta T$$

由教材表 1.2 和 1.3 查得

$$\alpha_S = 12 \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1}, \quad \alpha_{Al} = 25 \times 10^{-6}\ \mathrm{K}^{-1},$$
$$Y_S = 20.0 \times 10^{10}\ \mathrm{N/m^2} = 20.0 \times 10^{10}\ \mathrm{Pa},$$
$$Y_{Al} = 7.0 \times 10^{10}\ \mathrm{N/m^2} = 7.0 \times 10^{10}\ \mathrm{Pa}$$

求得

$$\Delta L = 5.38 \times 10^{-5}\ \mathrm{m}$$

两棒单位面积所受的压应力为：

$$\frac{F_S}{A} = \frac{F_{Al}}{A} = Y_S \frac{\Delta L_S - \Delta L}{L_S} = 1.2 \times 10^8\ \mathrm{Pa}$$

* **1-15** 摆钟的钟摆摆动一个周期记为一秒（每个周期滴答响两次）。

（1）摆钟会在高温环境变快，低温环境变慢吗？还是相反变化？给出理由。

（2）某摆钟在 20 ℃时显示为标准时间。摆轴是用钢制的，质量相对摆锤可以忽略。当温度降至 10 ℃时，摆轴的长度相对原长改变多少？

（3）在 10 ℃时，此摆钟在一天之内会变快或变慢多少？

（4）如果要求每天的时间变化不能超过 1 s，那摆钟的温度应控制在多少温度范围以内？

解 （1）此摆钟在高温环境下变慢，低温环境下变快。因为摆钟的运行周期与摆轴的长度有关，而摆轴会随着温度热胀冷缩。温度越高，摆轴越长，周期越大，摆钟就会变慢；反之，温度越低，摆轴越短，周期越小，摆钟就会变快。

(2) 温度降至10 ℃时,摆轴相对改变为

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta t = 1.2 \times 10^{-5} \times 10 = 1.2 \times 10^{-4}$$

即摆轴会缩短,缩短量为原长的1.2×10^{-4}倍。

(3) 摆钟的周期为

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

对上式微分,得

$$\Delta T = \frac{\Delta l}{2l}T$$

则一天内变快的时间为

$$\tau = \Delta T \times 24 \times 3\,600 = \frac{\Delta l}{2l} \times 24 \times 3\,600\ \mathrm{s}$$

$$= \frac{1.2 \times 10^{-4}}{2} \times 24 \times 3\,600\ \mathrm{s} = 5.184\ \mathrm{s}$$

(4) 要求$|\tau|\leqslant1$,即

$$\left|\frac{\Delta l}{2l} \times 24 \times 3\,600\right| \leqslant 1$$

即

$$\left|\frac{\alpha\Delta t}{2} \times 24 \times 3\,600\right| \leqslant 1$$

$$|\Delta t| \leqslant \frac{2 \times 1}{1.2 \times 10^{-5} \times 24 \times 3\,600}\ ℃ = 1.93\ ℃$$

***1-16** (1) 某固体上的一小块区域在某初始温度时面积为A_0,当温度改变了ΔT时,它的面积改变了ΔA,证明它们之间的关系为$\Delta A=(2\alpha)A_0\Delta T$,其中$\alpha$是线膨胀系数。

(2) 一个圆形铝片在15 ℃时直径为55.0 cm。当温度升高到27.5 ℃时,这个铝片的单面面积将改变多少?

解 (1) 把小区域A_0分割成无数块无限小的矩形区域,每块面积为$\mathrm{d}x\cdot\mathrm{d}y$,则

$$A_0 = \sum \mathrm{d}x\mathrm{d}y$$

温度升高时,每个小块面积将变为

$$dA = (dx + \alpha dx\Delta T) \cdot (dy + \alpha dy\Delta T) = (1 + 2\alpha\Delta T)dx \cdot dy$$

一般情况下，线膨胀系数 α 很小，因此上式忽略了 α^2 项，则总面积变为

$$\begin{aligned} A &= \sum dA = \sum (1 + 2\alpha\Delta T)dxdy \\ &= (1 + 2\alpha\Delta T)\sum dxdy = (1 + 2\alpha\Delta T)A_0 \end{aligned}$$

则

$$\Delta A = A - A_0 = 2\alpha A_0 \Delta T$$

(2) 铝片的单面面积改变为

$$\begin{aligned} \Delta A &= 2\alpha A_0 \Delta T \\ &= 2 \times 2.5 \times 10^{-5} \times \pi \times \left(\frac{55}{2}\right)^2 \times (27.5 - 15)\ \mathrm{cm}^2 \\ &= 1.48\ \mathrm{cm}^2 \end{aligned}$$

1-17 假设你正在做饭，使用高为 10.0 cm 的圆柱形普通玻璃杯($\alpha_g = 2.7 \times 10^{-5}\ ℃^{-1}$)来盛放橄榄油($\alpha_o = 6.8 \times 10^{-4}\ ℃^{-1}$)，橄榄油面离杯顶端正好还差 2 mm。开始时，杯子和橄榄油处于室温 22.0 ℃，然后你把它们放到炉子上加热。若恰好有人给你打电话，让你忘记了橄榄油还在加热。假设加热的速度很慢，杯子和橄榄油始终处在相同的温度，问在多少摄氏度时，橄榄油开始溢出杯子？

解 玻璃杯在受热前未装油的体积为

$$\Delta V = \frac{0.2}{10.0} V = 0.02V$$

玻璃杯和橄榄油在受热时都会膨胀，假设温度升高 ΔT 时，橄榄油刚好开始从杯子溢出。

此时杯子的体积膨胀了

$$\Delta V_g = \alpha_g V \Delta T$$

橄榄油膨胀了

$$\Delta V_o = \alpha_o (V - \Delta V)\Delta T$$

而

$$\Delta V_g + \Delta V = \Delta V_o$$

联立可解得

$$\Delta T = \frac{\Delta V}{\alpha_o (V - \Delta V) - \alpha_g V}$$

$$= \frac{0.02}{6.8\times10^{-4}\times(1-0.02)-2.7\times10^{-5}}\ ℃$$
$$= 31.28\ ℃$$

在 53.28 ℃时，橄榄油开始溢出杯子。

1-18　一个 20.0 L 的容器内含 18.0 ℃的 4.86×10^{-4} kg 的氦气。氦气的摩尔质量为 4.00 g/mol。

(1) 容器内有多少摩尔的氦?

(2) 容器内的压强是多大?

解　(1) 容器内的氦气的摩尔数为

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{4.86\times10^{-4}\times10^{3}}{4.00}\ \text{mol} = 0.121\,5\ \text{mol}$$

(2) 容器内的压强为

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.1215\times8.31\times291.15}{20\times10^{-3}}\ \text{Pa} = 1.47\times10^{4}\ \text{Pa}$$

1-19　设一房间冬天的温度为 1 ℃，夏天的温度为 35 ℃，试问在这两个季节房间内空气的质量之比为多少?(假定在这两个季节房间内空气的压强相等)

解　由 $pV=\frac{m}{\mu}RT$ 得

$$\frac{m_w}{m_s} = \frac{T_s}{T_w} = \frac{308.15}{274.15} = 1.12$$

1-20　一房间的容积为 5 m×10 m×4 m。白天的气温为 21 ℃，大气压强为 0.95×10^{5} Pa，到晚上气温降为 12 ℃而大气压强升为 1.01×10^{5} Pa。窗是开着的，从白天到晚上通过窗户漏出了多少空气(以 kg 表示)? 视空气为理想气体，已知空气的摩尔质量为 29 g/mol。

解　由 $p_d V=\frac{m_d}{\mu}RT_d$，$p_n V=\frac{m_n}{\mu}RT_n$ 得从白天到晚上房间漏出空气为

$$m = m_d - m_n = \left(\frac{p_d}{T_d}-\frac{p_n}{T_n}\right)\frac{\mu V}{R}$$
$$= \left(\frac{0.98\times10^{5}}{294.15}-\frac{1.01\times10^{5}}{285.15}\right)\times\frac{29\times200}{8.31}\ \text{g}$$
$$= -14.7\times10^{3}\ \text{g} = -14.7\ \text{kg}$$

即从房间外面流进来 14.7 kg 的空气。

1-21 一个带有塞子的烧瓶，体积为 2.0×10^{-3} m^3，内盛 0.1 MPa、300 K 的氧气。当系统加热到 400 K 时塞子被顶开，立即盖上塞子并且停止加热，烧瓶又逐渐降温到 300 K。设外界气体压强始终为 0.1 MPa。试问：

(1) 烧瓶中所剩氧气压强是多少？

(2) 烧瓶中所剩氧气质量是多少？

解 总的过程可以分为三部分：① 塞子被顶开前，气体经历等体升温过程；② 塞子被顶开后到盖上塞子的短时间内，瓶中气体冲出，使瓶内外压强相等；③ 盖上塞子后，气体经历等体降温过程。

(1) 第三个过程满足查理定律，有 $\frac{p_3}{T_3}=\frac{p_3'}{T_3'}$，而 $p_3=0.1$ MPa，$T_3=400$ K，$T_3'=300$ K，则

$$p_3'=\frac{T_3'}{T_3}p_3=\frac{300}{400}\times0.1\ \text{MPa}=0.075\ \text{MPa}$$

即烧瓶中所剩氧气压强为 0.075 MPa。

(2) 由 $p_3'V=\frac{M_3}{\mu}RT_3'$ 得

$$M_3=\frac{p_3'V\mu}{RT_3'}=0.002\ \text{kg}$$

1-22 潜水艇气箱的容积为 20 L，其中充满了压缩空气。气箱在 20 ℃时的压力计读数为 $p=120$ kg/cm^2，若取 10 m 高水柱的压强值为 1 kg/cm^2，试问，若该气箱位于 30 m 水深处，其温度为 5 ℃，则可利用该气箱中的空气排出潜水艇水槽中多少体积的水？

解 潜至 30 m 水深处时气箱空气体积的变化量即为排出水的体积 ΔV，由题意有

$$\frac{pV}{T}=\frac{p'(V+\Delta V)}{T'}$$

式中 $p'=3$ kg/cm^2，30 m 水深处压强，解得

$$\Delta V=\frac{pVT'}{p'T}-V=\frac{120\times20\times278.15}{3\times293.15}\ \text{L}-20\ \text{L}=739\ \text{L}$$

即能排出水槽中 739 L 体积的水。