



面向 21 世纪课程教材学习辅导书

普通物理学教程

热 学

第二版

习题思考题解题指导

秦允豪



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材学习辅导书

普通物理学教程
热学
第二版

习题思考题解题指导

秦允豪

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

《普通物理学教程·热学》(第2版)习题思考题解
题指导/秦允豪. —北京:高等教育出版社,2004.11(2005重印)
ISBN 7-04-015572-9

I. 普... II. 秦... III. 热学-高等学校-解题
IV. 0551-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第103961号

策划编辑 庞永江 责任编辑 张冰峰 封面设计 张志
责任绘图 尹莉 版式设计 范晓红 责任校对 朱惠芳
责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		
开 本	787×960 1/16	版 次	2004年11月第1版
印 张	15	印 次	2005年7月第2次印刷
字 数	260 000	定 价	19.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 15572-00

内容提要

本书是面向 21 世纪课程教材《普通物理学教程·热学》第二版(秦允豪编)的配套教材。

本书每一章基本上由四部分组成:(1) 基本概念和基本要求;(2) 解题指导和习题解答;(3) 补充习题及其解答;(4) 思考题提示和参考解答。全书对大约 220 道习题和 140 道思考题给出了解题指导。书中不少习题选自美国、英国、前苏联等一流大学的试题以及国内的研究生试题。绝大部分思考题是编者 40 多年来教学经验的总结与积累,其中不少思考题曾用作期中、期末试题,少数曾用作研究生入学试题。本书对《普通物理学教程·热学》第二版中的绝大部分习题都给出了解答,而且作了详细分析并给出解题方法指导。同时,本书也补充了少量的比较难的习题。本书也对《普通物理学教程·热学》第二版中绝大部分思考题给出了详细的提示、分析和参考解答,这是本书的一大特色。

本书可以供使用《普通物理学教程·热学》第二版的教师和学生作为参考书,也很适合使用普通物理类教材的教师和学生参考,对于准备研究生入学考试的学生也有一定的指导作用。

前 言

本书是和面向 21 世纪课程教材《普通物理学教程·热学》第二版(秦允豪编)配套的教学用书。《普通物理学教程·热学》第一版于 2002 年被评为国家级优秀教材奖二等奖,它的前身——1990 年出版的《热学》——于 1995 年获得国家教委第三次优秀教材奖一等奖,该教科书发行 14 年来受到普遍欢迎,而书中的习题和思考题是公认的一个亮点。

正如在《普通物理学教程·热学》第一版的“编者的话”中提到的:

该书既继承我国传统物理教学严谨扎实的传统,又注意改正传统教学深而窄,不太注重实际和求新的缺点,以力求体现“实、新、宽、活”四个字,受到同行、知名专家(如冯端院士、赵凯华教授等)及广大学生的好评。

书中很多习题选自 CUSPEA(中美联合招收博士研究生考试)试题及美国多所一流大学的 Qualify(博士生资格考试)试题,涉猎面广,生动活泼且联系实际,其数学运算并不复杂,但对培养物理思考方法十分有利。

书中有很多的思考题是编者多年来教学经验的总结与积累,它们能使学生针对一个个精心设计的问题进行深入而具体的思考,有的切中概念理解的误区及似是而非之处,目的是引导学生进行发散思维,希望学生能针对所产生的分歧进行讨论。我国传统教学模式是教师讲,学生听,学生缺乏充分发表个人见解及相互讨论的机会,不像美、英等国的教育放得比较松,“胡思乱想”统统鼓励,而有些事情是要先经过“胡思乱想”的探索,然后按部就班地去做。氢弹之父——泰勒就是这样一个典型人物。杨振宁教授说:“泰勒的物理学有一个特点,是他有许多直觉的见解。这些见解不一定都是对的,恐怕 90% 是错的,不过没有关系,只需要 10% 是对的就行了。而他不怕他讲的见解是错的,这给我很深的印象。”讨论也必须在互相帮助,相互信任的气氛中自由地、无拘无束地进行。鉴于上述考虑,编者从 1984 年开始至今在历届的“热学”课中均开设课堂讨论,每学期 2~4 次,每次两小时,教师再讲评两小时,讨论时不设组长,教师巡回于各小组之间启发引导,讨论题全部选自教材中的思考题。以赵凯华教授为首的专家组对编者所主持的“热学课程改革与建设”成果作的鉴定书中指出:“采用启发式、讨论式的教学方法,精心组织各个教学环节,启发、引导学生

独立思考,发挥学生科学想像力,针对学生长期形成的缺乏相互研讨习惯的弱点,精心设计课堂讨论。由于讨论题能启发学生积极思考,使学生能很快进入‘角色’,在讨论中又重视发挥教师启发引导作用,充分调动学生的主动性与积极性,不少学生写出了小论文。学生普遍反映,课堂讨论效果好、收获大、兴趣浓。”鉴定书中还指出:“热学课有利于学生从单纯的学习接受型向分析研究型的转变。”

这本《习题思考题解题指导》的每一章基本上由四部分组成:(1)基本概念和基本要求;(2)解题指导和习题解答;(3)补充习题及其解答;(4)思考题提示和参考解答。本书对《普通物理学教程·热学》第二版中的所有习题都给了解答(少数简单的题仅给出答案),并且作了详细分析和解题方法指导。同时,本书也补充了少量的比较难的习题,包括在《普通物理学教程·热学》第二版中被删去了的第一版中的难题。本书也对《普通物理学教程·热学》第二版中绝大部分思考题给出了详细的提示、分析和参考解答。

全书对大约 220 道习题和 140 道思考题给出了解题指导。书中不少习题选自美国、英国、前苏联等一流大学的试题以及国内的研究生试题。绝大部分思考题是编者 40 多年来教学经验的总结与积累,它们都曾经在 20 年来年年开设的“热学”课堂讨论中被选为讨论题,所以书中对思考题的分析和参考解答实际上是这么多年来课堂讨论的结晶,其中不少思考题曾经用作期中、期末试题,少数曾用作研究生入学试题。

我国的物理教学历来不太重视思考题,更不重视课堂讨论。实际上学生对思考题深入思考并且对它进行讨论,不仅能更深入牢固地理解、掌握基本概念,也是培养学生分析和解决实际问题能力的十分有效的手段,也十分有利于学生的创新能力的培养。在物理(特别是“热学”)教学中,思考题应该占据比较重要的地位。50 多年来我国出版的物理教材中有很多习题解,但是一般(除了极个别的例外)没有思考题解,本书填补了多年来的空白,因而是一大特色。

本书不仅可以供使用《普通物理学教程·热学》第二版教科书的教师和学生作为参考书,也很适合使用其他热学教材以及普通物理类教材的教师和学生参考,对于准备研究生入学考试的学生也有一定的指导作用。

本书的全部编写工作主要由秦允豪完成,江贵生老师对第四章、第五章的习题,苏为宁老师对第六章的习题都分别做了初步题解。

本书的出版得到高等教育出版社胡凯飞、庞永江先生和陶铮女士的关心,在此表示衷心感谢。

秦允豪

2004 年 5 月于南京大学

目 录

第一章 导论	1
§ 1.1 基本概念和基本要求	1
§ 1.2 解题指导和习题解答	3
§ 1.3 补充习题及其解答.....	20
§ 1.4 思考题提示和参考解答.....	24
第二章 分子动理学理论的平衡态理论	30
§ 2.1 基本概念和基本要求.....	30
§ 2.2 解题指导和习题解答.....	31
§ 2.3 补充习题及其解答.....	56
§ 2.4 思考题提示和参考解答.....	64
第三章 输运现象与分子动理学理论的非平衡态理论	79
§ 3.1 基本概念和基本要求.....	79
§ 3.2 解题指导和习题解答.....	80
§ 3.3 补充习题及其解答	100
§ 3.4 思考题提示和参考解答	111
第四章 热力学第一定律	115
§ 4.1 基本概念和基本要求	115
§ 4.2 解题指导和习题解答	119
§ 4.3 补充习题及其解答	147
§ 4.4 思考题提示和参考解答	151
第五章 热力学第二定律与熵	158
§ 5.1 基本概念和基本要求	158
§ 5.2 解题指导和习题解答	160

§ 5.3 补充习题及其解答	172
§ 5.4 思考题提示和参考解答	176
第六章 物态与相变	187
§ 6.1 基本概念和基本要求	187
§ 6.2 解题指导和习题解答	189
§ 6.3 思考题提示和参考解答	210

第一章 导 论

§ 1.1 基本概念和基本要求

(一) 宏观描述方法与微观描述方法

知道热力学是热物理学的宏观理论,而统计物理学则是热物理学的微观理论.

(二) 热力学系统的平衡态

(1) 知道热力学与力学的区别.热物理学中一般不考虑把系统作为一个整体的宏观的机械运动.若系统在做整体运动,则常把坐标系建立在运动的物体上.

(2) 理解平衡态的定义:在不受外界条件影响下,经过足够长时间后系统必将达到一个宏观上看来不随时间变化的状态,这才是平衡态.

(3) 掌握判别是否处于平衡态的方法——看系统中是否存在热流与粒子流,或者看是否同时满足力学平衡条件(即系统内部各部分之间、系统与外界之间应达到力学平衡)、热学平衡条件(即系统内部的温度处处相等)和化学平衡条件(即在外场作用下系统各部分的化学组成也应处处相同).

(三) 热力学第零定律和温标

(1) 知道热力学第零定律的物理意义——互为热平衡的物体之间必存在一个相同的特征(它们的温度是相同的).

(2) 知道温标是温度的数值表示法.知道经验温标的三个要素.

(3) 了解摄氏温标、理想气体温标和热力学温标.

(4) 知道国际上规定热力学温标为基本温标,一切温度测量最终都以热力学温标为准.虽然热力学温标只是一种理想化的温标,但它却与理想气体温标是一致的.只要在理想气体温标适用的范围内,热力学温标就可通过理想气体温标

来实现.

(四) 物态方程

(1) 知道处于平衡态的某种物质的诸热力学参量(如压强、体积、温度)之间所满足的函数关系称为这种物质的物态方程,或称状态方程.物态方程中一般都显含温度 T .

(2) 熟练掌握理想气体物态方程.知道能严格满足理想气体物态方程的气体被称为理想气体,这是从宏观上对什么是理想气体做出的定义.

(五) 物质的微观模型

(1) 理解物质的微观模型的基本内容:① 物质由大数分子组成;② 分子(或原子)处于不停的热运动中;③ 分子间存在吸引力与排斥力.

(2) 了解布朗运动是如何形成的.* 简单了解涨落现象.

(六) 理想气体微观描述的初级理论

(1) 理解理想气体微观模型:① 分子线度比分子平均间距小得多因而可忽略不计;② 除碰撞一瞬间外,分子间相互作用力可忽略不计;③ 处于平衡态的理想气体,分子之间及分子与器壁间的碰撞是完全弹性碰撞,气体分子动能不因碰撞而损失,在碰撞中动量守恒,动能守恒.

(2) 掌握洛喜密脱常量——标准状况下 1 m^3 理想气体中的分子数

$$n_0 = 2.7 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}.$$

(3) 会对一些微观物理量(例如分子线度、分子质量、分子数密度等)进行数量级估计.

(4) 掌握单位时间内碰在单位面积器壁上的平均分子数(简称气体分子碰壁数) $\Gamma \approx \frac{n\bar{v}}{6}$ 的推导过程和近似假定.

(5) 熟练掌握理想气体压强公式

$$p = \frac{1}{3} nm \overline{v^2} \quad \text{和} \quad p = nkT.$$

(6) 知道玻耳兹曼常量

$$k = \frac{R}{N_A} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}.$$

(7) 熟练掌握理想气体分子热运动平均平动动能公式

$$\overline{\epsilon_t} = \frac{m \overline{v^2}}{2} = \frac{3kT}{2}.$$

(8) 理解温度的微观意义——温度是平衡态系统中的微观粒子热运动程度强弱的量度.

(七) 分子间作用力势能与范德瓦耳斯方程

(1) 了解分子间作用力曲线和分子间相互作用势能曲线. * 会利用它们来简单分析分子间的对心碰撞等问题.

(2) 理解范德瓦耳斯方程

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT.$$

知道它是在理想气体方程基础上作分子固有体积修正和分子吸引力修正以后得到的. 知道固有体积修正 b 是分子固有体积的 4 倍, 经过修正以后 b 前面取负号. 知道分子吸引力修正就是内压强 $\Delta p_i = \frac{a}{V_m^2}$, 经过修正以后 $\frac{a}{V_m^2}$ 前面取正号.

§ 1.2 解题指导和习题解答

1.1.1 若可以通过高速计算机应用牛顿定律确定系统中一个分子的瞬时位置和瞬时速度, 假设计算一个分子所需要的时间是 1 s, 试估计若要计算出系统中所有的分子(数量级约为 10^{23} 左右)的瞬时位置和瞬时速度需要多少年.

【答】 约 10^{15} 年.

【讨论】 我们看到, 计算系统中所有的分子(10^{23} 个分子)的瞬时位置和瞬时速度需要的时间要比宇宙年龄还大 5 个数量级(宇宙的年龄大约是 1.6×10^{10} 年), 可见微观系统中的粒子数非常非常多. 我们常把微观系统粒子数称为大数.

1.3.1 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°C 时的长度 l_{01} 及 l_{02} 分别是多少? 已知钢棒及铜棒的线膨胀系数分别为 $\alpha_1 = 1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\alpha_2 = 1.6 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

【分析】 按照线膨胀公式, 有

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

把(1)式中的两个式子相减, 有

$$l_1 - l_2 = (l_{01} - l_{02}) + (l_{01}\alpha_1 - l_{02}\alpha_2)t. \quad (2)$$

要使得(2)式和 t 无关, 应该有

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

【答】 $l_{01} = 20 \text{ cm}$, $l_{02} = 15 \text{ cm}$.

1.3.2 一个双金属片由线膨胀系数为 α_1 和 α_2 的两个金属片组成, 此两金属片的厚度均为 d , 在温度 T_0 时长度均为 L_0 . 当温度改变了 ΔT 时, 它们可以

共同弯曲而呈圆弧状. 证明此弧的曲率半径 R 近似为

$$R = \frac{d}{(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T}$$

【提示】 令 $R_1 = R + \frac{d}{2}$, $R_2 = R - \frac{d}{2}$ 分别表示此二金属片的平均半径, 并令两个金属片弧所对应的公共圆心角为 θ , 而 $L_1 = R_1\theta$, $L_2 = R_2\theta$.

1.3.3 求氧气在压强为 0.1 MPa, 温度为 27 °C 时的密度.

【答】 1.28 kg·m⁻³.

1.3.4 一个带有塞子的烧瓶, 体积为 2.0×10^{-3} m³, 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?

【分析】 塞子被顶开之前, 气体经历的是等体升温过程. 塞子被顶开到盖上塞子的很短时间内, 烧瓶中部分气体很快冲出, 并且最后达到烧瓶内外压强相等. 盖上塞子以后, 气体经历的是等体降温过程.

【解】 (1) 设开始时瓶中氧气状态为

$$p_1 = 0.1 \text{ MPa}, V = 2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3, T_1 = 300 \text{ K}.$$

烧瓶被加热到 400 K 时的温度为 T_2 , 压强为

$$p_2 = \frac{400}{300} \times 0.1 \text{ MPa} = 0.13 \text{ MPa},$$

这时塞子被顶开, 压强变为 $p_1 = 0.1$ MPa. 烧瓶中的气体等体降温到 $T_3 = 300$ K 时建立新的平衡态. 设其压强为 p_3 , 则有

$$p_3 = \frac{T_3}{T_2} p_1 = 0.075 \text{ MPa}.$$

(2) 设烧瓶中所剩氧气质量为 m_3 , 氧气摩尔质量 $M_m = 0.032$ kg, 利用理想气体物态方程

$$p_3 V = \frac{m_3}{M_m} RT_3,$$

可得

$$m_3 = \frac{p_3 V}{RT_3} \times M_m = 0.002 \text{ kg}.$$

1.3.5 水银气压计 A 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 0.102 MPa 时, 它的读数只有 0.099 7 MPa, 此时管内水银面到管顶的距离为 80 mm. 问当此气压计的读数为 0.097 8 MPa 时, 实际气压应是多少? 设空气的温度保持不变.

【分析】水银气压计中混进气泡以后,管内流体的总压强等于管内气体压强和水银压强之和.在外界大气压变化时,管内气体满足等温条件.

【解】设气压计管内横截面积为 S .精确气压计管底到管顶间距离为 L ,当外界压强为 H ,温度为 T 时,气压计中水银柱高度为 h_1 ,气柱体积为 $(L - h_1)S$,该气柱内气体压强应该是 $H - h_1$ 汞柱高.在外界温度不变,但压强变为 p 时,设水银柱高度变为 h ,这时气柱内气体压强应该是 $p - h$,体积为 $(L - h)S$.故按理想气体物态方程有

$$\frac{(H - h_1)(L - h_1) \cdot S}{T} = \frac{(p - h)(L - h) \cdot S}{T'}$$

$$p = (H - h_1) \cdot \frac{L - h_1}{L - h} + h. \quad (1)$$

现在

$$T = T',$$

$$H = \frac{0.102 \text{ MPa}}{133 \text{ Pa}} \text{ mm} = 767 \text{ mm}.$$

由于此时管内水银面到管顶的距离为 80 mm,因而

$$L = 767 \text{ mm} + 80 \text{ mm} = 847 \text{ mm}.$$

同时,有

$$h_1 = \frac{0.0997 \text{ MPa}}{133 \text{ Pa}} \text{ mm} = 750 \text{ mm},$$

$$h = \frac{0.0978 \text{ MPa}}{133 \text{ Pa}} \text{ mm} = 735 \text{ mm}.$$

把它们代入(1)式,可得

$$p = 0.0997 \text{ MPa}.$$

Δ1.3.6 一抽气机转速 $\omega = 400 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$,抽气机每分钟能抽出气体 20 l (升).设容器的容积 $V_0 = 2.0 \text{ l}$,问经过多长时间后才能使容器内的压强由 0.101 MPa 降为 133 Pa.设抽气过程中温度始终不变.

【分析】抽气机每打开一次活门,容器内气体的容积在等温条件下扩大了 V ,因而压强有所降低.活门关上以后容器内气体的容积仍然为 V_0 .下一次又如此变化,从而建立递推关系.

【解】抽气机抽气体时,由玻意耳定律可得

活塞运动第一次:

$$p_0 V_0 = p_1 (V_0 + V), \quad p_1 = \frac{V_0}{V_0 + V} p_0.$$

活塞运动第二次:

$$p_1 V_0 = p_2 (V_0 + V), \quad p_2 = \frac{V_0}{V_0 + V} p_1 = \left(\frac{V_0}{V_0 + V} \right)^2 p_0.$$

活塞运动第 n 次:

$$p_{n-1} V_0 = p_n (V_0 + V), \quad p_n = p_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + V} \right)^n.$$

则有

$$n = \frac{\ln \frac{p_n}{p_0}}{\ln \frac{V_0}{V_0 + V}}. \quad (1)$$

抽气机每次抽出气体体积为

$$V = \frac{20}{400} \text{ l} = 0.05 \text{ l},$$

而

$$V_0 = 2.0 \text{ l},$$

$$p_0 = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa},$$

$$p_n = 133 \text{ Pa}.$$

将上述数据代入(1)式,可解得

$$n = 269.$$

则

$$t = \frac{269}{400} \times 60 \text{ s} = 40 \text{ s}.$$

1.3.7 在标准状态下给一气球充氢气.此气球的体积可由外界压强的变化而改变.充气完毕时该气球的体积为 566 m^3 ,而球皮体积可予忽略.(1)若贮氢的气罐的体积为 0.0566 m^3 ,罐中氢气压强为 1.25 MPa ,且气罐与大气处于热平衡,在充气过程中的温度变化可以不计,试问要给上述气球充气需这样的贮气罐多少个?(2)若球皮重量为 12.8 kg ,而某高度处的大气温度仍为 0°C ,试问气球上升到该高度时还能悬挂多重物品而不至坠下.

【分析】 (1)按照给气球充气前后所充氢气的物质的量不变这一点列出方程.(2)由于此气球的体积可由外界压强的变化而改变,因而气球上升过程中可以自由膨胀,始终维持气球内、外压强相等.它所受到的浮力等于排开同体积空气的重量.列出气球的力平衡方程.

【解】 (1) 设 $p_0 = 0.1 \text{ MPa}$, $V_0 = 566 \text{ m}^3$,

$$p_1 = 1.25 \text{ MPa}, V_1 = 5.66 \times 10^{-2} \text{ m}^3,$$

贮气罐总共需要 n 个.利用等温条件下的理想气体定律,可以得到

$$p_1 (nV_1) = p_0 (V_0 + nV_1),$$

则

$$n = \frac{p_0 V_0}{(p_1 - p_0) V_1} = 870.$$

(2) 气球始终维持内、外压强相等. 它受到的浮力大小等于排开同体积空气所受到的重力

$$F = \frac{p_0 V_0 M_{\text{mA}} g}{RT_0},$$

其中 M_{mA} 是空气摩尔质量. 设气球中的氢气质量为 m_{H} , 则有

$$m_{\text{H}} = \frac{p_0 V_0 M_{\text{mH}}}{RT_0},$$

其中 M_{mH} 是氢气的摩尔质量.

设气球的球皮质量为 $m_{\text{皮}}$, 为不使气球坠下, 可挂重物的质量是

$$\begin{aligned} m_{\text{重物}} &= \frac{p_0 V_0 M_{\text{mA}}}{RT_0} - m_{\text{皮}} - \frac{p_0 V_0 M_{\text{mH}}}{RT_0} \\ &= \frac{p_0 V_0 (M_{\text{mA}} - M_{\text{mH}})}{RT_0} - m_{\text{皮}} \\ &= 660.8 \text{ kg}. \end{aligned}$$

1.3.8 两个贮着空气的容器 A 和 B, 以备有活塞之细管相连接. 容器 A 浸入温度为 $t_1 = 100^\circ\text{C}$ 的水槽中, 容器 B 浸入温度为 $t_2 = -20^\circ\text{C}$ 的冷却剂中. 开始时, 两容器被细管中之活塞分隔开, 这时容器 A 及 B 中空气的压强分别为 $p_1 = 0.0533 \text{ MPa}$, $p_2 = 0.0200 \text{ MPa}$, 体积分别为 $V_1 = 0.25 \text{ l}$, $V_2 = 0.40 \text{ l}$. 试问把活塞打开后气体的压强是多少?

【分析】 把活塞打开后两容器中气体混合而达到新的力学平衡以后, A 和 B 中气体压强应该相等. 但是应注意到, 由于 A 和 B 的温度不相等, 所以整个系统仍然处于非平衡态. 我们不能把 A 和 B 气体的整体作为研究对象, 而应先将从 A 流入 B 的那部分气体作为研究对象, 求出它的物质的量, 然后按照混合前后 A 和 B 总的物质的量不变这一点列出方程.

【解】 设原容器 A 中有 ΔV 体积的气体进入容器 B, 且打开活塞后气体压强为 p . 对原容器 A 中剩下的 $V_1 - \Delta V$ 体积的气体进行研究, 它们将等温膨胀到体积 V_1 , 因而有

$$p_1 (V_1 - \Delta V) = p V_1. \quad (1)$$

按照理想气体物态方程, 有 $pV = \nu R T$ 关系, 对原容器 A 中 ΔV 体积的气体和原容器 B 中 V_2 体积的气体进行研究, 它们合并前后物质的量应该不变, 所以

$$\frac{p_1 \Delta V}{T_1} + \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p V_2}{T_2}. \quad (2)$$

由(1)式、(2)式化简可得

$$V_1 - \frac{pV_1}{p_1} = \Delta V = \frac{T_1 V_2 (p - p_2)}{p_1 T_2},$$

则有

$$p = \frac{p_1 V_1 T_2 + p_2 V_2 T_1}{V_1 T_2 + T_1 V_2}.$$

代入数据,可以得到活塞打开后气体的压强为

$$p = 2.98 \times 10^4 \text{ Pa}.$$

1.3.9 把 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 0.5 m^3 的氮气压入容积为 0.2 m^3 的容器中. 容器中原已充满同温、同压下的氧气, 试求混合气体的压强和两种气体的分压. 设容器中气体温度保持不变.

【解】 按照玻意耳定律, 把 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 0.5 m^3 的氮气压入容积为 0.2 m^3 的容器中, 氮气产生的分压为

$$p_1 = \frac{p_0 V_0}{V} = 2.5 \times 10^5 \text{ Pa}.$$

容器中氧气分压仍然是 $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$, 混合气体总压强为 $3.5 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Δ1.3.10 一端开口, 横截面积处处相等的长管中充有压强为 p 的空气. 先对管子加热, 使它形成从开口端温度 1000 K 均匀变为闭端 200 K 的温度分布, 然后把管子开口端密封, 再使整体温度降为 100 K , 试问管中最后的压强是多大?

【分析】 开始时长管中气体有温度分布, 所以它不处于平衡态. 但是整体温度降为 100 K 以后, 长管中气体处于平衡态了. 关键是求出开始时长管中气体的总的分子数, 而它是和整体温度降为 100 K 以后的分子数相等的. 在计算分子数时, 要先求出长管中的温度分布, 然后利用 $p = nkT$ 公式.

【解】 显然, 管子中气体的温度分布应该是

$$T(x) = \left(200 + \frac{1000 - 200}{L} x \right) \text{ K}. \quad (1)$$

由于各处温度不同, 因而各处气体分子数密度不同. 考虑 $x \sim x + dx$ 一段气体, 它的分子数密度为 $n(x)$, 设管子的横截面积为 S , 考虑到 $p = nkT$, 则这一小段中的气体分子数为

$$dN = Sn(x)dx = \frac{Sp}{kT(x)} dx.$$

管子中气体总分子数为

$$N = \frac{Sp}{k} \cdot \int_0^L \frac{dx}{T(x)}.$$

利用(1)式可得

$$N = \frac{Sp}{k} \cdot \int_0^L \left(200 + \frac{800x}{L} \right)^{-1} dx.$$

管中气体最后的压强是 p_1 , 温度是 T , 则有

$$N = \frac{SLp_1}{kT}.$$

由上面两式相等, 最后可以计算出

$$p_1 = \frac{1}{8} \cdot p \cdot \ln 5 \approx 0.20 p.$$

即管中气体最后的压强为 $0.20 p$.

1.4.1 在什么温度下, 下列一对温标给出相同的读数(如果有的话):

(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?

【提示】 利用 $t_F = \left(\frac{9}{5} \cdot \frac{t}{^\circ\text{C}} + 32 \right) ^\circ\text{F}$, $t = \left(\frac{T}{\text{K}} - 273.15 \right) ^\circ\text{C}$.

【答】 (1) $-40 ^\circ\text{C}$; (2) 575 K ; (3) 没有.

1.4.2 定体气体温度计的测温泡浸在水的三相点槽内时, 其中气体的压强为 $6.7 \times 10^3 \text{ Pa}$.

(1) 用温度计测量 300 K 的温度时, 气体的压强是多少?

(2) 当气体的压强为 $9.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ 时, 待测温度是多少?

【提示】 $p_{tr} = 6.7 \times 10^3 \text{ Pa}$. 利用如下公式进行计算:

$$T(p) = \frac{p}{p_{tr}} \cdot 273.16 \text{ K} \quad (\text{体积不变}).$$

【答】 (1) $7.4 \times 10^3 \text{ Pa}$; (2) 371 K .

1.4.3 用定体气体温度计测得冰点的理想气体温度为 273.15 K , 试求温度计内的气体在冰点时的压强与该气体在水的三相点时压强之比的极限值.

【解】 利用公式

$$T = 273.15 \text{ K} = \lim_{p_{tr} \rightarrow 0} \frac{p}{p_{tr}} \times 273.16 \text{ K},$$

可得

$$\lim_{p_{tr} \rightarrow 0} \frac{p}{p_{tr}} = \frac{273.15}{273.16} = 0.99996.$$

1.4.4 一支液体温度计, 在 0.1013 MPa 的压强下, 把它放在冰水混合物中的示数为 $t_0 = -0.3 ^\circ\text{C}$; 在沸腾的水中的示数为 $t_0 = 101.4 ^\circ\text{C}$. 试问放在真实温度为 $66.9 ^\circ\text{C}$ 的沸腾的甲醇中的示数是多少? 若用这支温度计测得乙醚沸点时的示数为 $34.7 ^\circ\text{C}$, 则乙醚沸点的真实温度是多少? 在多大一个测量范围内,