



高等院校经典教材全程同步辅导用书

配套《物理化学》第五版 傅献彩 编

物理化学

(南大第五版)

课后习题同步精解

于家琳 编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

高等院校经典教材全程同步辅导用书

物理化学

(南大第五版)

课后习题同步精解

于家琳 编

北京航空航天大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学(南大第五版)课后习题同步精解 / 于家琳编. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012. 8
ISBN 978-7-5124-0891-3

I. ①物… II. ①于… III. ①物理化学—高等学校—题解 IV. ①O64-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 173653 号

版权所有,侵权必究。

物理化学

(南大第五版)

课后习题同步精解

于家琳 编

责任编辑:孙志荣

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

三河市华润印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:16 字数:332 千字

2012 年 8 月第 1 版 2012 年 8 月第 1 次印刷 印数:4500 册

ISBN 978-7-5124-0891-3 定价:25.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

物理化学是大学化学工业相关专业开设的专业基础课,由南京大学化工学院傅献彩等主编的《物理化学》(第五版)是该专业经典的教材,被很多高等院校采用。

本书是与南京大学化工学院傅献彩等主编的《物理化学》(第五版)配套的课后习题精解答案书,按照该教材各章的习题编排,每个题目均包含分析和解答:分析部分包括解题思路,所用的原理和方法,以及与教材对应的知识点;解题部分对相应的课后习题做出了详细解答。

本辅导书旨在帮助读者提高自身的习题分析能力和解题能力,学会基本的解题方法和技巧,深化对物理化学基本知识的理解和巩固,从而帮助读者更好地学习本课程,提高应试能力。

本书可以作为大学化工相关专业学生学习“物理化学”课程的参考书、相关考试物理化学专业课的复习用书以及本课程的教师备课和批改作业时的参考用书。

由于作者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请读者批评指正,提出意见。

于家琳

2012年4月

目 录

第一章 气 体	1
第二章 热力学第一定律	14
第三章 热力学第二定律	34
第四章 多组分系统热力学及其在溶液中的应用	52
第五章 相平衡	65
第六章 化学平衡	81
第七章 统计热力学基础	101
第八章 电解质溶液	119
第九章 可逆电池的电动势及其应用	135
第十章 电解与极化作用	164
第十一章 化学动力学基础(一)	177
第十二章 化学动力学基础(二)	206
第十三章 表面物理化学	228
第十四章 胶体分散系统和大分子溶液	239

第一章 气 体

1. (1) 在 0°C 及 101.325kPa 下, 纯干空气的密度为 $1.293 \times 10^{-3} \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 试求空气的表观摩尔质量;

(2) 在室温下, 某氮气钢瓶内的压力为 538kPa , 若放出压力为 100kPa 的氮气 160dm^3 , 钢瓶内的压力降为 132kPa , 试估计钢瓶的体积. 设气体近似作为理想气体处理.

【分析】(1) 考查理想气体方程的应用, 将 $n = \frac{m}{M} = \frac{\rho V}{M}$ 代入理想气体方程即得 M .

(2) 考查 Dalton 分压定律的应用, 先求出放气后钢瓶压力, 再根据理想气体方程即可求出钢瓶体积.

解: (1) 按理想气体方程 $pV = \frac{\rho V}{M}RT$, $M = \frac{\rho RT}{p} = 29.0 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 因此空气的表观摩尔质量为 $29.0 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

(2) Dalton 分压定律, $p_1 = p_{\text{总}} - p_{\text{后}} = 538\text{kPa} - 132\text{kPa} = 406\text{kPa}$. 按理想气体方程, 相同温度条件下得

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ 则 } V_1 = \frac{p_2 V_2}{p_1} = \frac{100\text{kPa} \cdot 160\text{dm}^3}{406\text{kPa}} = 39.4\text{dm}^3$$

因此钢瓶体积为 39.4dm^3 .

2. 两个体积相同的烧瓶中间用玻管相通, 通入 0.7mol 氮气后, 使整个系统密封. 开始时, 两瓶的温度相同, 都是 300K , 压力为 50kPa , 今若将一个烧瓶浸入 400K 的油浴内, 另一烧瓶的温度保持不变, 试计算两瓶中各有氮气的物质的量和温度为 400K 的烧瓶中气体的压力.

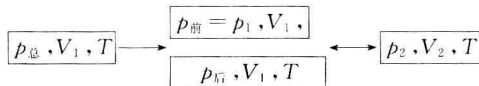


图 1-1

【分析】先求出烧瓶体积, 由体积相同, 求出氮气的物质的量, 将体积、物质的量及温度代入理想气体方程即可得烧瓶中的压力.

解: 两体积相同的烧杯中通入 0.7mol 氮气, 则杯中均有 0.35mol 的氮气, 则烧杯的体积为

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{0.35\text{mol} \times 8.314\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300\text{K}}{50 \times 10^3 \text{Pa}} = 17.5 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

当将一个烧瓶浸入 400K 油浴中,另一个烧瓶为 300K,当两烧瓶平衡后,两烧瓶的压力相等 $p_1 = p_2$,两边烧瓶体积也相等,因此 $n_1 T_1 = n_2 T_2$,其中 $n_2 = 0.7 - n_1$,则

$$n_1 T_1 = (0.7 - n_1) T_2, n_1 \cdot 400\text{K} = (0.7 - n_1) \cdot 300\text{K}$$

解得 $n_1 = 0.3\text{mol}, n_2 = 0.4\text{mol}$.

400K 烧瓶中的压力

$$p = \frac{n_1 RT_1}{V} = \frac{0.3\text{mol} \times 8.314\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 400\text{K}}{17.5 \times 10^{-3}\text{m}^3} = 57\text{kPa}$$

3. 在 293K 和 100kPa 时,将 $\text{He}(\text{g})$ 充入体积为 1dm^3 的气球内. 当气球放飞后,上升至某一高度,这时的压力为 28kPa,温度为 230K,试求这时气球的体积是原体积的多少倍.

【分析】将理想气体方程变换为 $V = \frac{nRT}{p}$,比较即可得.

解:根据理想气体方程 $pV = nRT$,则有 $V = \frac{nRT}{p}$,因此

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{T_2}{p_2}}{\frac{T_1}{p_1}} = \frac{T_2 p_1}{T_1 p_2} = \frac{230\text{K} \times 100\text{kPa}}{293\text{K} \times 28\text{kPa}} = 2.8$$

可知气球的体积为原来的 2.8 倍.

4. 有 2.0dm^3 潮湿空气,压力为 101.325kPa,其中水气的分压为 12.33kPa. 设空气中 $\text{O}_2(\text{g})$ 和 $\text{N}_2(\text{g})$ 的体积分别为 0.21 和 0.79,试求

(1) $\text{H}_2\text{O}(\text{g}), \text{O}_2(\text{g}), \text{N}_2(\text{g})$ 的分体积;

(2) $\text{O}_2(\text{g}), \text{N}_2(\text{g})$ 在潮湿空气中的分压力.

【分析】(1) 由 Dalton 分压定律求得 $x_{\text{H}_2\text{O}}$,再由 Amagat 分体积定律即可得.

(2) Dalton 分压定律即可得.

解:(1) 潮湿空气中水气的分压为 12.33kPa.

$$\text{Dalton 分压定律} \quad x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{总}}} = \frac{12.33\text{kPa}}{101.325\text{kPa}} = 0.122$$

Amagat 分体积定律

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V x_{\text{H}_2\text{O}} = 2.0\text{dm}^3 \times 0.122 = 0.244\text{dm}^3$$

$$V_{\text{空气}} = V - V_{\text{H}_2\text{O}} = 2.0\text{dm}^3 - 0.244 = 1.756\text{dm}^3$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = V x_{\text{H}_2\text{O}} = 2.0\text{dm}^3 \times 0.122 = 0.244\text{dm}^3$$

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{空气}} x_{\text{N}_2} = 1.756\text{dm}^3 \times 0.79 = 1.387\text{dm}^3$$

(2) 根据 Dalton 分压定律

$$p_{\text{O}_2} = p_{\text{空气}} x_{\text{O}_2} = 88.995\text{kPa} \times 0.21 = 18.689\text{kPa}$$

$$p_{\text{N}_2} = p_{\text{空气}} x_{\text{N}_2} = 88.995\text{kPa} \times 0.79 = 70.306\text{kPa}$$

$$p_{\text{空气}} = p_{\text{总}} - p_{\text{H}_2\text{O}} = 101.325\text{kPa} - 12.33\text{kPa} = 88.995\text{kPa}$$

5. $3.45\text{gH}_2(\text{g})$ 放在 10dm^3 密闭容器中,从 273K 加热到 373K,问需提供多少能量? $\text{H}_2(\text{g})$ 的根均方速率是原来的多少倍? 已知 $\text{H}_2(\text{g})$ 的摩尔等容热容 $C_{v,m} = 2.5R$.

【分析】由等容热容及温度变化求出能量 E 。由根均方速率方程比较即可得根均方速率变化的倍数。

解： H_2 在密闭容器中加热。

$$\begin{aligned} E &= nC_{v,m}(T_2 - T_1) \\ &= \frac{3.45 \times 10^{-3} \text{ kg}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 2.5 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (373 \text{ K} - 273 \text{ K}) \\ &= 3585.41 \text{ J} \end{aligned}$$

根均方速率 $u = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ ，所以温度升高后 $\frac{u_2}{u_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} = 1.17$ 。

6. 计算 293K 和 373K 时， $H_2(g)$ 的平均速率、根均方速率和最概然速率。

【分析】代入速率方程，根均方速率和最概然速率即可得。

解： $H_2(g)$ 的平均速率

$$v_a = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{3.14 \times 2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1761.59 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$H_2(g)$ 的根均方速率

$$u_a = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1911.54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$H_2(g)$ 的最概然速率

$$v_m = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1560.77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

同理，在 373K 条件下， $v_m : v_a : u = 1 : 1.128 : 1.224$ 。

$$v_m = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{2 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1761.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_a = 1.128 v_m = 1.128 \times 1761.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 1986.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$u = 1.224 v_m = 1.224 \times 1761.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 2155.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

7. 计算分子动能大于 10kJ 的分子在总分子中所占比例。

【分析】将温度代入分子动能即可。

解：在 298K 下

$$\frac{N_{E_1}}{N} \xrightarrow{\rightarrow \infty} \exp\left(-\frac{10 \times 10^3 \text{ J}}{1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}\right) = 0$$

因此分子动能大于 10kJ 的分子在总分子中几乎没有。

8. 在一个容器中，假设开始时每一个分子的能量是 $2.0 \times 10^{-21} \text{ J}$ ，由于相互碰撞，最后其能量分布适合于 Maxwell 分布。试计算：

(1) 气体的温度；

(2) 能量介于 $1.98 \times 10^{-21} \text{ J}$ 到 $2.02 \times 10^{-21} \text{ J}$ 之间的分子在总分子中所占的分数。（由于这个区间的间距很小，故用 Maxwell 公式的微分式。）

【分析】(1) 先求出平均平动能，再求出温度 T 。

(2) 将能量公式代入 Maxwell 速率分布定律即可得。

解: (1) 1 mol 分子的平均平动能

$$\bar{E}_{t,m} = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \times 2.0 \times 10^{-21} \text{ J} = 1204 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}, \bar{E}_{t,m} = \frac{3}{2} RT$$

$$\text{所以 } T = \frac{2 \bar{E}_{t,m}}{3R} = \frac{2 \times 1204 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}}{3 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = 96.54 \text{ K}.$$

(2) 分子的能量 $E = \frac{1}{2} m v^2$, 因此 $dE = m v dv$.

代入 Maxwell 公式的微分式

$$\frac{dNv}{dN} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{1.5} \exp \left(-\frac{mv^2}{2kT} \right) v^2 dv$$

$$\text{得 } \frac{dNE}{N} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{kT} \right)^{1.5} e^{-\frac{E}{kT}} E^{\frac{1}{2}} dE = 9.28 \times 10^{-3}.$$

9. 根据速率分布公式, 计算分子速率在最概然速率以及大于最概然速率 1.1 倍(即 $dv_m = 0.1 v_m$) 的分子在总分子中所占的分数(由于这个区间的间距很小, 可用微分式)。

【分析】将最概然速率代入 Maxwell 速率分布定律即可得。

解: 将分子速率在最概然速率 $v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$ 及 $dv_m = 0.1 v_m$ 代入 Maxwell 速率分布定律得

$$\frac{dNv}{N} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{1.5} \exp \left[-\frac{m \cdot \frac{2kT}{m}}{2kT} \right] \cdot \frac{2kT}{m} \cdot \frac{1}{10} \cdot \sqrt{\frac{2kT}{m}} = 0.08$$

10. 在 293K 和 100kPa 时, $N_2(g)$ 分子的有效直径约为 0.3nm, 试求

- (1) $N_2(g)$ 分子的平均自由程;
- (2) 每一个分子与其他分子的碰撞频率;
- (3) 在 1.0 m^3 的体积内, 分子的互碰频率。

【分析】(1) 先求出单位体积内分子数 n , 代入分子平均自由程公式即可得。

(2) 代入分子碰撞频率即可得。(3) 代入互撞次数方程即可得。

解: (1) $N_2(g)$ 分子的平均自由程

$$\bar{l} = \frac{v_a}{z'} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} = \frac{0.707}{\pi d^2 n}$$

$$n = \frac{1}{0.024} \times 6.02 \times 10^{23} = 2.47 \times 10^{25}$$

$$\bar{l} = \frac{0.707}{\pi d^2 n} = \frac{0.707}{3.14 \times (0.3 \times 10^{-9})^2 \times 2.47 \times 10^{25}} = 101.3 \text{ nm}$$

$$(2) z' = \sqrt{2} \frac{v_a t \pi d^2 n}{l} = \sqrt{2} v_a \pi d^2 n = \sqrt{2} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \cdot \pi d^2 n = 4.65 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$$

因此每一个分子与其他分子的碰撞概率为 $4.65 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$.

$$(3) \text{ 分子的互撞次数 } z = 2n^2 \pi d^2 \sqrt{\frac{kT}{\pi m}} = 5.74 \times 10^{34} \text{ s}^{-1}.$$

11. 在一个容积为 0.5 m^3 的钢瓶内, 放有 16 kg 温度为 500 K 的 $\text{CH}_4(\text{g})$, 试计算容器内的压力.

(1) 用理想气体状态方程;

(2) 由 van der Waals 方程. 已知 $\text{CH}_4(\text{g})$ 的常数 $a = 0.228 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 0.427 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{CH}_4) = 16.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

【分析】(1) 将已知条件代入理想气体方程即可.

(2) 代入 van der Waals 方程即可得.

解: (1) 理想气体方程 $p = \frac{nRT}{V} = 8314 \text{ kPa}$.

$$(2) \text{ 代入 van der Waals 方程 } p = \frac{nRT}{V_m - b} - \frac{n^2 a}{V_m^2} = 8.18 \times 10^6 \text{ Pa}.$$

12. 已知 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的临界温度、临界压力和临界摩尔体积分别为: $T_c = 304.3 \text{ K}$, $p_c = 73.8 \times 10^5 \text{ Pa}$, $V_{m,c} = 0.0957 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 试计算

(1) $\text{CO}_2(\text{g})$ 的 van der Waals 常数 a, b 的值;

(2) 313 K 时, 在容积为 0.005 m^3 的容器内含有 0.1 kg $\text{CO}_2(\text{g})$, 用 van der Waals 方程计算气体的压力;

(3) 在与(2)相同的条件下, 用理想气体状态方程计算气体的压力.

【分析】(1) 将已知条件代入 van der Waals 方程即可得 a, b .

(2) 根据 van der Waals 方程即可得 p .

(3) 根据理想气体方程即可得.

解: (1) 代入 van der Waals 方程 $a = \frac{27R^2 T_c^2}{64 p_c} = 0.366 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$

$$b = \frac{RT_c}{8 p_c} = 0.429 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) 根据 van der Waals 方程 $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$ 得

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2} = 1.13 \times 10^3 \text{ kPa}$$

(3) 在与(2)相同的条件下, 利用理想气体方程 $pV = nRT$, 得

$$p = \frac{nRT}{V} = 1.18 \times 10^3 \text{ kPa}$$

13. 热膨胀系数的定义为: $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$, 试列式表示热膨胀系数与温度、体积的关系.

(1) 设气体为理想气体; (2) 设气体为 van der Waals 气体.

【分析】(1)将理想气体方程变化后代入热膨胀系数即可得。

(2)由 van der Waals 方程求得 $\left(\frac{\partial V_m}{\partial T}\right)_p$, 代入膨胀系数即可得。

解:(1)假设全体为理想气体,根据理想气体方程 $pV=nRT$ 即 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{nR}{p}$, 因此 $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{V} \frac{nR}{p} = \frac{1}{T}$, 所以热膨胀系数与温度的倒数成正比。

(2)由 van der Waals 方程 $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$ 得

$$T = \frac{p}{R} V_m + \frac{a}{RV_m} - \frac{pb}{R} - \frac{ab}{RV_m^2}, \left(\frac{\partial T}{\partial V_m}\right)_p = \frac{p}{R} - \frac{a}{RV_m^2} + \frac{2ab}{RV_m^3}$$

$$\left(\frac{\partial V_m}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{\left(\frac{\partial T}{\partial V_m}\right)_p} = \frac{RV_m^3}{pV_m^3 - aV_m + 2ab}$$

因此 $\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{RV_m^3}{pV_m^3 - aV_m + 2ab}$, 由此可见热膨胀系数与体积有一定的关系。

14. $\text{NO}(\text{g})$ 和 $\text{CCl}_4(\text{g})$ 的临界温度分别为 177K 和 550K, 临界压力分别为 $64.7 \times 10^5 \text{ Pa}$ 和 $45.5 \times 10^5 \text{ Pa}$ 。试用计算回答:

- (1)哪一种气体的 van der Waals 常数 a 较小?
- (2)哪一种气体的 van der Waals 常数 b 较大?
- (3)哪一种气体的临界体积较大?
- (4)在 300K 和 $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ 的压力下,哪一种气体更接近理想气体?

【分析】(1)将 $a = \frac{27R_c T_c^2}{64 p_c}$ 代入即可比较出 Van der Waals 大小。

(2)同理。

(3)由临界体积 $V_{m,c} = 3b$ 可比较临界体积大小。

(4)根据 $\pi = p/p_c, \tau = T/T_c$ 求气体的 π, τ , 由压缩因子图求压缩因子 Z 。

解:(1) $a = \frac{27R_c T_c^2}{64 p_c}, \frac{a_{\text{NO}}}{a_{\text{CCl}_4}} = \frac{T_{c(\text{NO})}^2 \times p_{c(\text{CCl}_4)}}{T_{c(\text{CCl}_4)}^2 \times p_{c(\text{NO})}} = 0.07$

则 $\text{NO}(\text{g})$ 的 van der Waals 常数 a 较小。

(2) $b = \frac{RT_c}{8p_c}, \frac{b_{\text{NO}}}{b_{\text{CCl}_4}} = \frac{T_{c(\text{NO})} \times p_{c(\text{CCl}_4)}}{T_{c(\text{CCl}_4)} \times p_{c(\text{NO})}} = 0.23$

则 $\text{CCl}_4(\text{g})$ 的 van der Waals 常数 b 较大。

(3)由于临界体积 $V_{m,c} = 3b$, 说明临界体积与 van der Waals 常数 b 成正比关系, 所以 $\text{CCl}_4(\text{g})$ 的临界体积较大。

(4) $\pi_{\text{NO}} = \frac{p_{\text{NO}}}{p_c} = \frac{10 \times 10^5 \text{ Pa}}{64.7 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.15, \tau_{\text{NO}} = \frac{T_{\text{NO}}}{T_c} = \frac{300 \text{ K}}{177 \text{ K}} = 1.7$

根据压缩因子图, 则 $Z_{\text{NO}} \approx 1$ 。

$$\pi_{\text{CCl}_4} = \frac{p_{\text{CCl}_4}}{p_c} = \frac{10 \times 10^5 \text{ Pa}}{45.5 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.2, \tau_{\text{CCl}_4} = \frac{T_{\text{CCl}_4}}{T_c} = \frac{300 \text{ K}}{550 \text{ K}} = 0.5$$

根据压缩因子图,则 Z_{CCl_4} 与 1 相差较多. 压缩因子 Z 的数值越接近 1,则该气体在此条件下越接近理想气体,因此 $\text{NO}(\text{g})$ 接近理想气体.

15. 273K 和 100kPa 时,有 1mol 某实际气体符合 Virial 型状态方程, $pV = A + Bp + Cp^2$, 已知第二 Virial 系数 $B = 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 试求该气体在这里所占的体积.

【分析】由 Virial 型状态方程 $PV = RT + BP$. 求出 V_m .

解: 由气体复合 Virial 型状态方程 $PV = A + BP + CP^2$

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{RT}{p} + B \\ &= \frac{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}}{100 \times 10^3 \text{ Pa}} + 2 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 22.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

1mol 该气体的体积为 $22.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

16. 373K 时, 1.0kg $\text{CO}_2(\text{g})$ 的压力为 $5.07 \times 10^3 \text{ kPa}$, 试用下述两种方法计算其体积.

(1) 用理想气体状态方程式; (2) 用压缩因子图.

【分析】(1) 利用气体状态方程求出 V .

(2) 求出 π, τ , 根据压缩因子得 Z 求出临界体积 V_m , 再根据 $V = nV_m$ 解题.

解: (1) $V = \frac{nRT}{p} = 0.014 \text{ m}^3$.

(2) 由表可查 $\text{CO}_2(\text{g})$ 临界温度, 临界压力分别为:

$$\begin{aligned} T_c &= 304.3 \text{ K}, p_c = 73.8 \times 10^5 \text{ Pa} \\ \pi &= \frac{p}{p_c} = \frac{5.07 \times 10^6 \text{ Pa}}{73.8 \times 10^5 \text{ Pa}} = 0.7, \tau = \frac{T}{T_c} = \frac{373 \text{ K}}{304.3 \text{ K}} = 1.2 \end{aligned}$$

根据压缩因子图得 $Z = 0.88$. 又因为

$$\begin{aligned} V_m &= \frac{ZRT}{p} = \frac{0.88 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 373 \text{ K}}{5.07 \times 10^6 \text{ Pa}} = 5.38 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ V &= nV_m = \frac{1.0 \text{ kg}}{44 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 5.38 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 0.012 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

17. 在 273K 时, 1mol $\text{N}_2(\text{g})$ 的体积为 $7.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, 试用下述几种方法计算其压力, 并比较所得数值的大小.

(1) 用理想气体状态方程式;

(2) 用 van der Waals 气体状态方程式;

(3) 用压缩因子图(压力实测值为 $4.05 \times 10^4 \text{ kPa}$).

【分析】(1) 由理想气体状态方程求得 p .

(2) 由 Van der Waals 方程求出 p .

(3) 求出 $N_2(g)$, π, τ , 得压缩因子 Z , 由 $pV_m = ZRT$ 求得 p .

解: (1) 根据理想气体状态方程 $p = \frac{nRT}{V} = 3.2 \times 10^7 \text{ Pa}$.

(2) 由 van der Waals 气体状态方程 $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$

得到

$$p = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a}{V_m^2}$$

查表可知 $N_2(g)$ 的 $a = 0.1368 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 0.386 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$.

$$p = \frac{1 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}}{(7.03 \times 10^{-5} - 0.386 \times 10^{-4}) \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} = 4.39 \times 10^7 \text{ Pa}$$

(3) 查表可知 $N_2(g)$ 的 $p_c = 33.9 \times 10^5 \text{ Pa}$, $T_c = 134 \text{ K}$, $\pi = \frac{p}{p_c} = \frac{4.05 \times 10^7 \text{ Pa}}{33.9 \times 10^5 \text{ Pa}} =$

12 , $\tau = \frac{T}{T_c} = \frac{273 \text{ K}}{134 \text{ K}} = 2$, 根据压缩因子图 $Z = 1.35$, 所以

$$p = \frac{ZRT}{V_m} = \frac{1.35 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}}{7.03 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}} = 4.32 \times 10^7 \text{ Pa}$$

18. 348K 时, $0.3 \text{ kg NH}_3(g)$ 的压力为 $1.61 \times 10^3 \text{ kPa}$, 试用下述两种方法计算其体积. 试比较哪种方法计算出来的体积与实测值更接近(已知实测值为 28.5 dm^3). 已知在该条件下 $\text{NH}_3(g)$ 的临界参数为: $T_c = 405.6 \text{ K}$, $p_c = 1.13 \times 10^4 \text{ kPa}$; van der Waals 气体常数: $a = 0.417 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}$, $b = 3.71 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$.

(1) 用 van der Waals 气体状态方程; (2) 用压缩因子图.

【分析】(1) 根据 van der Waals 状态方程变化后, 解方程即可得 V_m .

(2) 由 π, τ 得压缩因子 Z , 再由 $pV_m = ZRT$ 得 V_m , 再由 $V = nV_m$ 即可得.

解: (1) 由 van der Waals 状态方程 $\left(p + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT$

得到

$$V_m^3 - V_m^2 \left(b + \frac{RT}{p}\right) + V_m \frac{a}{p} - \frac{ab}{p} = 0$$

$$V_m^3 - V_m^2 \left(3.71 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} + \frac{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 348 \text{ K}}{1.61 \times 10^6 \text{ Pa}}\right)$$

$$+ V_m \frac{0.417 \text{ Pa} \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}}{1.61 \times 10^6 \text{ Pa}} - \frac{3.71 \times 10^{-5} \times 0.417 \text{ Pa}}{1.61 \times 10^6 \text{ Pa}} = 0$$

$$V_m = 1.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$(2) \pi = \frac{p}{p_c} = \frac{1.61 \times 10^6 \text{ Pa}}{1.13 \times 10^6 \text{ Pa}} = 0.14, \tau = \frac{T}{T_c} = \frac{348 \text{ K}}{405.6 \text{ K}} = 0.86$$

由压缩因子图 $Z = 0.93$, $p = \frac{ZRT}{V_m}$, 所以

$$V_m = \frac{0.93 \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 348 \text{ K}}{1.61 \times 10^6 \text{ Pa}} = 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$V = nV_m = \frac{0.3 \text{ kg}}{17 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 1.67 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = 0.03 \text{ m}^3$$

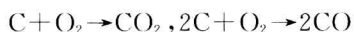
19. 在 Bessemer(柏塞麦)燃烧中充以含碳量为 3% 的铁 10000kg.

(1) 若使所有的碳完全燃烧, 计算要通入 27°C、100kPa 的空氣的体积. 假定 1/5 的碳燃烧生成 $\text{CO}_2(\text{g})$, 4/5 的碳燃烧生成 $\text{CO}(\text{g})$;

(2) 求炉内放出各气体的压力.

【分析】(1) 先求出 n_c , 再求出 n_{O_2} , 由 x_{O_2} 得 n 空气, 再由理想气体状态方程求得 V . (2) 先求出 x_{CO} , x_{CO_2} , x_{N_2} , 再由 Dalton 分压定律即可得.

解: (1) 若碳完全燃烧 1/5 生成 CO_2 , 4/5 生成 CO . 根据



$$n_c = \frac{10000\text{kg} \times 3\%}{12\text{kg} \times 10^{-3}\text{mol}} = 25 \times 10^3 \text{mol}$$

$$\text{需要 } n_{\text{O}_2} = \frac{1}{5} \times 25 \times 10^3 + \frac{4}{5} \times 25 \times 10^3 \times \frac{1}{2} = 15 \times 10^3 \text{mol}$$

$$x_{\text{O}_2} = 0.21, \text{ 则 } n_{\text{空}} = \frac{n_{\text{O}_2}}{x_{\text{O}_2}} = \frac{15 \times 10^3 \text{mol}}{0.21} = 71.4 \times 10^3 \text{mol}$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{71.4 \times 10^3 \text{mol} \times 8.314 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 27) \text{K}}{100 \times 10^3 \text{Pa}} = 1.78 \times 10^3 \text{m}^3$$

$$(2) x_{\text{CO}} = \frac{n_{\text{CO}}}{n_{\text{总}}} = \frac{20 \times 10^3 \text{mol}}{81.4 \times 10^3 \text{mol}} = 0.25, x_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_{\text{总}}} = \frac{5 \times 10^3 \text{mol}}{81.4 \times 10^3 \text{mol}} = 0.06$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{n_{\text{总}} - n_{\text{CO}} - n_{\text{CO}_2}}{n_{\text{总}}} = \frac{(81.4 - 20 - 5) \times 10^3 \text{mol}}{81.4 \times 10^3 \text{mol}} = 0.69$$

$$p_{\text{CO}} = p x_{\text{CO}} = 10^5 \text{Pa} \times 0.25 = 0.25 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$p_{\text{CO}_2} = p x_{\text{CO}_2} = 10^5 \text{Pa} \times 0.06 = 0.06 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$p_{\text{N}_2} = p x_{\text{N}_2} = 10^5 \text{Pa} \times 0.69 = 0.69 \times 10^5 \text{Pa}$$

20. 制硫酸时需制备 $\text{SO}_2(\text{g})$. 在一定的操作情况下, 每炉每小时加入硫 30kg, 通入过量的空气(使硫燃烧完全), 所产出的气体混合物中含氧的摩尔分数为 0.10, 试问每小时要通入 20°C、100kPa 的空氣的体积?

【分析】求出 n_{SO_2} , 由 x_{O_2} 求出 x_{SO_2} 由此可得 n 总由理想气体方程即可求得.

解: 消耗 1mol O_2 则生成 1mol $\text{SO}_2(\text{g})$

$$n_{\text{SO}_2} = \frac{30\text{kg}}{32 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 935.45 \text{mol}$$

混合气体中 $x_{\text{O}_2} = 0.1$, 则在空气中通过硫燃烧炉中消耗了 $x_{\text{O}_2} = 0.11$, 同时生成的 SO_2 占空气混合气体的摩尔分数 $x_{\text{SO}_2} = 0.11$. 则

$$n_{\text{总}} = \frac{n_{\text{SO}_2}}{x_{\text{SO}_2}} = \frac{935.45 \text{mol}}{0.11} = 8504.10 \text{mol}$$

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{8504.1 \text{mol} \times 8.314 \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 20) \text{K}}{100 \times 10^3 \text{Pa}} = 207.17 \text{m}^3$$

则每小时要通入空氣的体积为 207.17m³.

21. 发生炉煤气(producer gas)系以干空气通过红热的焦炭而获得. 设若有

92%的氧变为 $\text{CO}(\text{g})$, 其余的氧变为 $\text{CO}_2(\text{g})$.

(1) 在同温同压下, 试求每通过一单位体积的空气可产生发生炉煤气的体积.

(2) 求所得气体中 $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{Ar}(\text{g})$, $\text{CO}(\text{g})$, $\text{CO}_2(\text{g})$ 的摩尔分数. (空气中各气体的摩尔分数为: $x_{\text{O}_2}=0.21$, $x_{\text{N}_2}=0.78$, $x_{\text{Ar}}=0.0094$, $x_{\text{CO}_2}=0.0003$.)

(3) 每燃烧 1kg 的碳, 计算可得 20°C , 100kPa 下的发生炉煤气的体积.

【分析】(1) 由 V_{O_2} 分别求出 V_{CO} , V_{CO_2} , 则 $V_{\text{水煤气}} = V_{\text{其他}} + V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2}$.

(2) 由等体积定律求出 V_{CO} , V_{CO_2} , V_{N_2} , V_{Ar} , $V_{\text{总}}$. 可得 x_{N_2} , x_{Ar} , x_{CO_2} .

(3) 先求得 n_c 再求得 n , 再得 $n_{\text{水煤气}}$, 由气体状态方程求得 V .

解: (1) 一单位空气(V)中含有 $0.21V$ 的 O_2 , $0.79V$ 的其他气体. O_2 通过红热焦炭分别生成 CO , CO_2 则 $V_{\text{CO}}=0.3864V$, $V_{\text{CO}_2}=0.0618V$.

$$V_{\text{水煤气}} = V_{\text{其他}} + V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} = 0.79V + 0.3864V + 0.0618V = 1.1932V$$

在同温同压下每通过一单位体积的空气可以产生发生炉煤气的体积是 1.1932 个单位体积.

(2) 假设空气体积为 V , 则同温同压条件下, 根据等体积定律

$$V_{\text{O}_2} = 0.21V, V_{\text{N}_2} = 0.78V, V_{\text{Ar}} = 0.0094V, V_{\text{CO}_2} = 0.0003V$$

$$V_{\text{O}_2} = Vx_{\text{O}_2}, V_{\text{N}_2} = Vx_{\text{N}_2}, V_{\text{Ar}} = Vx_{\text{Ar}}, V_{\text{CO}_2} = Vx_{\text{CO}_2}$$

根据(1)的结果, 可知 $V_{\text{CO}}=0.3864V$, $V_{\text{CO}_2}=0.0618V+0.003V=0.0648V$,

$$V_{\text{N}_2} = 0.78V, V_{\text{Ar}} = 0.0094V, V_{\text{总}} = V_{\text{CO}} + V_{\text{CO}_2} + V_{\text{其他}} = 1.1932V$$

$$x_{\text{N}_2} = \frac{V_{\text{N}_2}}{V_{\text{总}}} = \frac{0.78V}{1.1932V} = 0.6537, x_{\text{Ar}} = \frac{V_{\text{Ar}}}{V_{\text{总}}} = \frac{0.0094V}{1.1932V} = 0.0079$$

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{总}}} = \frac{0.0648V}{1.1932V} = 0.0543$$

(3) 假设空气为 n mol, 则 $n_{\text{O}_2} = n_{\text{空气}} \times x_{\text{O}_2} = 0.21n$

$$n_c = \frac{m}{M} = 0.21n \times 2 \times 0.92 + 0.21 \times 0.08 = \frac{1\text{kg}}{12 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.4032n$$

$$n = 206.68\text{mol}$$

同理, 由(1)题可知发生炉煤气的量为 $1.1932 \times 206.68 = 246.61$.

根据气体状态方程

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{246.61\text{mol} \times 8.314\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 20)\text{K}}{100 \times 10^3 \text{Pa}} = 6\text{m}^3$$

22. 在压力 100kPa 时, 当温度为 1572°C 时铈蒸气的密度是同温同压下空气密度的 12.43 倍, 在温度为 1640°C 时, 密度为同温同压下空气的 11.25 倍.

(1) 用上述数据分别求出每一式量(1 formula weight, 即 1mol Sb)所能产生的蒸气的物质的量;

(2) 假定铈蒸气中仅有 Sb_2 和 Sb_4 两种分子, 试求各温度下, 两种蒸气的摩尔分数.

【分析】(1) 由 $pV=nRT$ 得 $\rho = \frac{pM}{T}$, 从而得出 M'_{Sb} , 再由质量守恒定律得 n'_{Sb} .

同理得 1640℃ 时的 n''_{Sb} . (2) 由质量守恒定律即可求得 Sb_2, Sb_4 的摩尔分数, 同理得 1640℃ 下的摩尔分数.

解: (1) 根据气体状态方程得 $\rho = \frac{pM}{RT}$

同温同压条件下, $\frac{\rho_{\text{Sb}}}{\rho_{\text{空}}} = \frac{M_{\text{Sb}}}{M_{\text{空}}}$, 在 100kPa, 1572℃ 条件下,

$$M'_{\text{Sb}} = \frac{\rho_{\text{Sb}}}{\rho_{\text{空}}} M_{\text{空}} = 12.43 \times 29 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 360.47 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

根据质量守恒定律 $n_{\text{Sb}} \cdot M_{\text{Sb}} = n'_{\text{Sb}} \cdot M'_{\text{Sb}}$,

$$1 \text{ mol} \times 121.8 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = n'_{\text{Sb}} \times 360.47 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$n'_{\text{Sb}} = 0.34 \text{ mol}$$

同理, 在 1640℃ 时 $M''_{\text{Sb}} = 11.25 \times 29 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 326.25 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n''_{\text{Sb}} = 0.37 \text{ mol}$$

(2) 假设 Sb_2 的摩尔分数为 x , 则 Sb_4 的摩尔分数为 $1-x$, 1572℃ 条件下

$$M_{\text{Sb}_2} \cdot x + M_{\text{Sb}_4} (1-x) = 360.47, x = 0.52$$

因此蒸汽 Sb_2 的摩尔分数为 0.52, 蒸汽 Sb_4 的摩尔分数为 0.48.

同理在 1640℃ 条件下

$$M_{\text{Sb}_2} x + M_{\text{Sb}_4} (1-x) = Mx = 0.66$$

因此蒸汽 Sb_2 的摩尔分数为 0.66, 蒸汽 Sb_4 的摩尔分数为 0.34.

23. 设在一垂直的柱体中充满理想气体, 当高度为 0 和 h 时, 气体的压力分别为 p_0 和 p , 试根据理想气体定律以及流体静力学原理(hydrostatic principle), 即: 任一密度为 $\bar{m}$ 的流体, 当高度增加 dh 时, 其压力的减小值 $-dp$ 等于单位横截面上该流体的重量(以力的单位表示之).

(1) 试证明对于理想气体, 其表示式与 Boltzmann 公式相同;

(2) 求高于海平面 2000m 处的气压, 假定在海平面的压力为 100kPa, 且把空气看作是摩尔质量为 $29.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的单一物种.

【分析】(1) 考查流体静力学与理想气体状态方程的应用. (2) 考查 Boltzmann 公式的应用.

解: (1) 设在高度为 h 处压力为 p , 高度增加 dh 时压力的减少值为 $-dp$, 又因为已知其压力的减少值 $-dp$ 等于单位横截面上该流体的重量, 则 $dp = -\bar{m}g dh$, 由理想气体公式 $\bar{m} = \frac{Mp}{RT}$ 代入上式后得 $-\frac{dp}{p} = \frac{Mg}{RT} dh$.

$$\int_{p_0}^p -\frac{dp}{p} = \int_0^h \frac{Mg}{RT} dh$$

得 $\ln \frac{p}{p_0} = -\frac{Mgh}{RT}$ (假设在 $0 \sim h$ 高度范围内温度不变)

因此 $p = p_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right)$ 表示式与 Boltzmann 公式相同.

$$(2) T=273\text{K} \text{ 代入 Boltzmann 公式 } p=p_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right)=77.8 \times 10^3 \text{ Pa.}$$

24. 在地球表面干空气的组成用摩尔分数表示为: $x_{\text{O}_2}=0.21$, $x_{\text{N}_2}=0.78$, $x_{\text{Ar}}=0.0094$, $x_{\text{CO}_2}=0.0003$. 因空气有对流现象, 故可假定由地球表面至 11km 的高空, 空气的组成不变. 在此高度处的温度为 -55°C . 今假定在此高度以上空气的温度恒为 -55°C , 且无对流现象, 试求

(1) 在高于地球表面 60km 处气体 $\text{O}_2(\text{g})$, $\text{N}_2(\text{g})$, $\text{Ar}(\text{g})$ 以及 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的摩尔分数;

(2) 该高度处的总压力.

【分析】(1) 考察了 Boltzmann 公式的灵活应用, (2) 应用理想气体状态方程.

解: (1) 假设地表面的空气为 n' mol, 则 $n'_{\text{O}_2}=0.21n'$ mol, $n'_{\text{N}_2}=0.78n'$ mol, $n'_{\text{Ar}}=0.0094n'$ mol, $n'_{\text{CO}_2}=0.0003n'$ mol 代入 Boltzmann 公式

$$n=n_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right)$$

$$\text{在 60km 处 } n_{\text{O}_2}=n'_{\text{O}_2} \exp\left(-\frac{Mg(h-11)}{RT}\right)=4.37 \times 10^{-5} n' \text{ mol}$$

$$\text{同理 } n_{\text{N}_2}=4.67 \times 10^{-4} n' \text{ mol}, n_{\text{Ar}}=2.38 \times 10^{-7} n' \text{ mol}, n'_{\text{CO}_2}=2.59 \times 10^{-9} n' \text{ mol.}$$

若空气中此时只有 O_2 , N_2 , Ar , CO_2 ,

$$x_{\text{O}_2}=\frac{n_{\text{O}_2}}{n_{\text{总}}}=\frac{4.37 \times 10^{-5} n' \text{ mol}}{(4.37 \times 10^{-5}+4.67 \times 10^{-4}+2.38 \times 10^{-7}+2.59 \times 10^{-9}) n' \text{ mol}}=0.0855$$

$$\text{同理 } x_{\text{N}_2}=\frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{总}}}=0.914, x_{\text{Ar}}=\frac{n_{\text{Ar}}}{n_{\text{总}}}=0.000466, x_{\text{CO}_2}=\frac{n_{\text{CO}_2}}{n_{\text{总}}}=5.07 \times 10^{-6}.$$

(2) 假定地球表面压力为 100kPa, 温度为 0°C , 在 11km 高空的温度为 -55°C , 取其平均温度为 -27.5°C , 在此范围内空气组成不变, 则 11km 高空的压力 p_0 为

$$p_0=100\text{kPa} \times \exp\left(-\frac{29.0 \times 10^3 \times 9.8 \times 11 \times 10^3}{8.314 \times 245.5}\right)=21.62\text{kPa}$$

60km 高空处总压为 $p_{(60\text{km})}=5.11 \times 10^{-4} p_0=11.05\text{Pa}$.

25. 由于离心力的作用, 在离心力场中混合气体的组成将发生变化. 今有一长为 80cm 的长管, 管内装有等分子数的氢气和氧气的混合气体, 将长管放置在一个水平盘上, 管的中部固定在盘中垂直的中心轴上, 今以每分钟 3000 转的速度使盘在水平面上旋转, 并设周围环境的温度保持为 20°C .

(1) 求由于旋转的原因在管之两端, 每一个氧气分子以及每一个氮气分子的动能;

(2) 在达到平衡后, 试根据 Boltzmann 公式分别计算两种气体在管端和管中央处的浓度比;

(3) 假定设法保持在管之中心部位氢气和氧气的浓度比为 1:1, 总压力为 100kPa (例如在管的中部即旋转轴中心处, 缓慢通入浓度比为 1:1 的氢气氧气混合