

高校经典教材同步辅导丛书

配套高教版·吉林大学、武汉大学、南开大学编

九章丛书

无机化学

(上、下册合订本)

同步辅导及习题全解

主 编 苏志平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

新版

高校经典教材同步辅导丛书

无机化学（上、下册合订本）

同步辅导及习题全解

主 编 苏志平



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

前言

《无机化学》是化学类专业重要的课程之一,也是许多专业研究生入学考试的必考科目。很多学生在学习中存在一定困难,不能将课上学习的理论与实际问题联系起来,出现“课上能听懂,作业不会做”的现象。本书集多位资深教授的经验于一体,针对读者的常见困惑,引导学生把理论知识与实际问题、习题紧密地联系起来,举一反三,既巩固了理论知识,又提高了解题能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性的特点。考虑到读者的不同情况,本辅导书以教材内容为依据,对教材的主要内容、基本公式进行了知识点归纳,并对教材的课后习题进行了全面解答。我们在内容上作了以下安排:

1. 知识点归纳:对每章知识点做了简练概括,梳理了各知识点之间的脉络联系,突出各章主要定理及重要公式,使读者在各章学习过程中目标明确,有的放矢。
2. 典型例题与解题技巧:精选各类题型,涵盖本章所有知识点,对题目进行深入详细地讨论和分析,并引导学生思考问题,能举一反三,拓展思路。
3. 课后习题全解:教材中课后习题丰富、层次多样,许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材课后的全部习题给了详细的解答。由于时间较仓促,编者水平有限,难免书中有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评、指正。

编者
2010年12月

目 录

第二章 化学基础知识	1
知识点归纳	1
典型例题与解题技巧	4
课后习题全解	6
第三章 化学热力学基础	15
知识点归纳	15
典型例题与解题技巧	19
课后习题全解	21
第四章 化学反应速率	30
知识点归纳	30
典型例题与解题技巧	34
课后习题全解	36
第五章 化学平衡	47
知识点归纳	47
典型例题与解题技巧	50
课后习题全解	53
第六章 原子结构与元素周期律	63
知识点归纳	63
典型例题与解题技巧	69
课后习题全解	70
第七章 化学键理论概述	77
知识点归纳	77
典型例题与解题技巧	85
课后习题全解	86
第八章 酸碱解离平衡	100
知识点归纳	100
典型例题与解题技巧	103

课后习题全解	105
第九章 沉淀溶解平衡	112
知识点归纳	112
典型例题与解题技巧	113
课后习题全解	114
第十章 氧化还原反应	120
知识点归纳	120
典型例题与解题技巧	124
课后习题全解	126
第十一章 配位化合物	140
知识点归纳	140
典型例题与解题技巧	144
课后习题全解	145
第十二章 碱金属和碱土金属	159
知识点归纳	159
典型例题与解题技巧	163
课后习题全解	164
第十三章 硼族元素	169
知识点归纳	169
典型例题与解题技巧	172
课后习题全解	175
第十四章 碳族元素	184
知识点归纳	184
典型例题与解题技巧	188
课后习题全解	190
第十五章 氮族元素	199
知识点归纳	199
典型例题与解题技巧	209
课堂习题全解	211
第十六章 氧族元素	219
知识点归纳	219
典型例题与解题技巧	228
课后习题全解	230
第十七章 卤素	237
知识点归纳	237
典型例题与解题技巧	245
课后习题全解	246

第十八章 氢和稀有气体	256
知识点归纳	256
典型例题与解题技巧	259
课后习题全解	259
第十九章 铜副族和锌副族	264
知识点归纳	264
典型例题与解题技巧	269
课后习题全解	271
第二十章 铬副族和锰副族	278
知识点归纳	278
典型例题与解题技巧	281
课后习题全解	283
第二十一章 铁系元素和铂系元素	289
知识点归纳	289
典型例题与解题技巧	292
课后习题全解	293
第二十二章 钛副族和钒副族	300
知识点归纳	300
典型例题与解题技巧	303
课后习题全解	304
第二十三章 无机物性质规律讨论	307
知识点归纳	307
典型例题与解题技巧	309
课后习题全解	310

第二章

化学基础知识

知识点归纳

一、气体

1. 理想气体的状态方程

理想气体是人们以实际气体为根据抽象而成的气体模型。忽略气体分子的自身体积,将分子看成是有质量的几何点;假设分子间没有相互吸引,分子之间及分子与器壁之间发生的碰撞是完全弹性的,不造成动能损失。这种气体称为理想气体。

理想气体状态方程: $pV = nRT$

在国际单位制中 p 用 Pa(帕斯卡), V 用 m^3 (立方米), n 用 mol(摩尔), T 用 K(开尔文)为单位。此时 R 为 $8.314\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

2. 实际气体的状态方程

理想气体实际上是一种抽象的模型,因此实际气体的实验数据都偏离理想气体的状态方程。由 1873van der Waals 引入修正气体方程。

理想气体的压强 p 与实际气体的压强 $p_{\text{实}}$ 的关系为

$$p = p_{\text{实}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2$$

理想气体的体积 V 与实际气体的 $V_{\text{实}}$ 的关系为

$$V = V_{\text{实}} - nb$$

范德华方程为

$$\left[p_{\text{实}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right] (V_{\text{实}} - nb) = nRT$$

其中 a, b 为气体的范德华常数。

对 1mol 实际气体,即 $n=1$ 时,上式变化成

$$\left(p_{\text{实}} + \frac{a}{V_{\text{m,实}}^2} \right) (V_{\text{m,实}} - b) = RT$$

式中, V_m 表示气体的摩尔体积。

气体的范德华常数 a 和 b 的值越大说明实际气体偏离理想气体的程度越大。

3. 混合气体的分压定律

混合气体: 将两种或两种以上的气体混合在一起组成的体系。

混合气体的组分气体: 指组成混合气体的每种气体。

混合气体的物质的量为 $n = \sum_i n_i$

第 i 种组分气体的摩尔分数 x_i 为 $x_i = \frac{n_i}{n}$

Dalton 分压定律表达式为 $p_{\text{总}} = \sum_i p_i$

分压定律的实质: 混合气体中, 组分气体是相互独立的。

分压定律的一个重要结论: 一组分气体的分压等于总压与该组分气体的摩尔分数之积。即

$$p_i = p_{\text{总}} x_i$$

4. 气体扩散定律

气体扩散定律是指同温同压下气态物质的扩散速率与其密度的平方根成反比, 即

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{\rho_B}{\rho_A}}$$

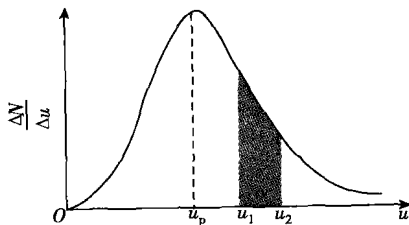
式中, u 表示扩散速率, ρ 表示密度。

气体的扩散速率与其相对分子质量的关系, 即

$$\frac{u_A}{u_B} = \sqrt{\frac{M_{r(B)}}{M_{r(A)}}}$$

5. 气体分子的速率分布和能量分布

(1) 气体分子的速率分布: 英国物理学家 Maxwell (麦克斯韦) 用概率论及数理统计力学的方法推出了计算气体分子运动速率分布公式。讨论了分子运动速率的分布, 即速率极大和极小的分子都较少, 而速率居中的分子较多。如下图所示:



其中, $\frac{\Delta N}{\Delta u}$ 表示单位速率间隔内分子的数目, u 表示分子运动的速率。 u_p 为最概然速率, 表示具有该速率的分子数目最多。

(2) 气体分子的能量分布: 由于气体分子的能量与分子运动速率有关, 因此有着速率分布相类似的分布, 也呈现两头小中间大的不对称峰形分布。

能量计算的近似公式为

$$f_{E_0} = \frac{N_i}{N} = e^{-\frac{E_0}{RT}}$$

式中, E_0 是某个特定的能量数值, $\frac{N_i}{N}$ 表示能量大于 E_0 的分子占有所有分子的分数。

二、液体和溶液

1. 溶液浓度的表示方法

(1) 物质的量浓度 溶液中所含溶质 B 的物质的量除以溶液的体积, 称为 B 的物质的量浓度, 可简称为浓度, 用符号 c_B 表示。其单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(2) 质量摩尔浓度 溶液中溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量称为 B 的质量摩尔浓度, 用符号 b_B 或 m_B 表示。其单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 表达式为

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

式中, m_A 为溶剂的质量。

(3) 质量分数 B 的质量与混合物的质量之比称为 B 物质的质量分数。质量分数用符号 w 表示, 即

$$w_B = \frac{m_B}{m}$$

对溶液而言, m_B 代表溶质 B 的质量, m 代表溶液的质量。

(4) 摩尔分数 溶液中溶质的物质的量 $n_{\text{质}}$ 与溶液的总物质的量 $n_{\text{液}}$ 之比叫做溶质的摩尔分数, 用符号 $x_{\text{质}}$ 表示, 即

$$x_{\text{质}} = \frac{n_{\text{质}}}{n_{\text{液}}} \text{ 或 } x_{\text{质}} = \frac{n_{\text{质}}}{n_{\text{质}} + n_{\text{剂}}}$$

同样, 可以定义溶剂的摩尔分数为

$$x_{\text{剂}} = \frac{n_{\text{剂}}}{n_{\text{液}}} \text{ 或 } x_{\text{剂}} = \frac{n_{\text{剂}}}{n_{\text{质}} + n_{\text{剂}}}$$

溶液中溶质和溶剂的摩尔分数之和等于 1, 即

$$x_{\text{质}} + x_{\text{剂}} = 1$$

对于稀溶液:

$$x_{\text{质}} = k' b$$

即稀溶液中, 溶质的摩尔分数与其质量摩尔浓度成正比。

2. 饱和蒸气压

(1) 纯溶剂的饱和蒸气压

① 凝聚: 当蒸气分子与液面撞击时, 则被捕获进入液体中, 这个过程为凝聚。

② 饱和蒸气: 当凝聚速度和蒸发速度相等时, 上方空间的蒸气密度不再改变。

即达到一种动态平衡, 此时蒸气称为饱和蒸气。

③ 饱和蒸气压: 饱和蒸气所产生的压强, 用 p^* 表示。

p^* 属于液体的性质, 与温度有关, 对于同一液体来说, 若温度高, 饱和蒸气压就大, 反之温度低,

饱和蒸气压低。

(2) 溶液的饱和蒸气压 溶液的饱和蒸气压 p 小于纯溶剂的蒸气压 p^* 。

拉乌尔定律指出,难挥发非电解质的稀溶液的饱和蒸气压 p 与纯溶剂的饱和蒸气压 p^* 有如下关系:

$$p = p^* x_{\text{剂}}$$

式中, $x_{\text{剂}}$ 为溶剂摩尔分数。

3. 非电解质稀溶液的依数性

稀溶液的某些性质只和溶液中溶质的质点数有关,这一性质为依数性。主要包括以下几点:

(1) 蒸气压下降 拉乌尔定律也可以描述为

$$\Delta p = p^* x_{\text{质}} \text{ 或 } \Delta p = p^* - p$$

式中, Δp ——表示稀溶液饱和蒸气压的降低值,即 $\Delta p = p^* - p$;

$x_{\text{质}}$ ——溶质的摩尔分数;

k ——比例系数;

b ——质量摩尔浓度。

(2) 沸点升高和凝固点降低

① 沸点:当液体的饱和蒸气压和外界气压相等时,液体的汽化将在其表面和内部同时发生,称为液体的沸腾。此时的温度称为沸点。

② 凝固点:液体凝固成固体(严格说是晶体)时的温度称为该液体的凝固点。

难挥发非电解质溶液沸点升高(ΔT_b)和凝固点下降(ΔT_f)符合如下关系:

$$\Delta T_b = k_b \cdot b$$

$$\Delta T_f = k_f \cdot b$$

式中, k_b 为沸点升高常数; k_f 为冰点降低常数,且有 $\Delta T_b > 0$, $\Delta T_f > 0$ 。

(3) 渗透压 1886 年荷兰物理学家 Van't Hoff (范特霍夫) 指出,稀溶液的渗透压与溶液浓度和温度有关系,即

$$\Pi V = nRT \text{ 或 } \Pi = cRT$$

式中, Π 代表渗透压; V 是溶液体积; n 是溶质的物质的量; c 是以 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 为单位的浓度; R 是摩尔气体常数; T 是热力学温度。

三、固体

(1) 晶体:指质点排列有规律的固体。

(2) 非晶体:指质点的排列毫无规律。

根据排列有序的质点性质,可将晶体分为分子晶体、离子晶体、原子晶体和金属晶体。

分子晶体中有序排列的质点是分子;离子晶体中有序排列的质点是正、负离子。

原子晶体中有序排列的质点是原子;金属晶体中有序排列的质点是金属原子或金属离子。

典型例题与解题技巧

例 1 制备 $5.00 \text{ dm}^3 0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的氢溴酸,问需要 $100 \text{ kPa}, 300 \text{ K}$ 情况下的 HBr 气体体积为

多少?

【解题过程】 将题设中 $c = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 和 $V = 5.00 \text{ dm}^3$ 代入公式 $n = cV$ 后, 求出 HBr 的物质的量:

$$\begin{aligned} n &= 0.5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3} \times 5.00 \text{ dm}^3 \\ &= 2.50 \text{ mol} \end{aligned}$$

由理想气体状态方程

$$pV = nRT$$

得

$$V = \frac{nRT}{p}$$

将 $T = 300 \text{ K}$, $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $p = 100 \text{ kPa}$ 和 $n = 2.50 \text{ mol}$ 代入, 求出

$$\begin{aligned} V &= \frac{2.50 \text{ mol} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300 \text{ K}}{100\,000 \text{ Pa}} \\ &= 0.0624 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

例2 在温度和压强相同时, 充满烧瓶的气体 A 为 0.06g, 而充满相同容积的烧瓶的 O_2 为 0.48g。试求 A 气体的相对分子质量。若 O_2 从瓶中扩散出一半需要 100s 时间, 求 A 气体从瓶中扩散出一半需要的时间。

【解题过程】 根据 Avogadro 定律, 当 T, p 一定时, 气体的体积与物质的量成正比, 即 $V \propto n$, 由已知可知气体的体积相同, 故 $n_{\text{O}_2} = n_A$, 即

$$\frac{0.48 \text{ g}}{32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{0.06 \text{ g}}{M_A}$$

解得

$$M_A = 4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

所以 A 气体的相对分子质量为 4。

根据气体扩散定律, 气体的扩散速度与其相对分子质量的平方根成反比, 即

$$\frac{u_A}{u_{\text{O}_2}} = \sqrt{\frac{M_r(\text{O}_2)}{M_r(\text{A})}}$$

故

$$\frac{u_A}{u_{\text{O}_2}} = \sqrt{\frac{32}{4}} = 2.83$$

即 A 气体的扩散速度是氧气的 2.83 倍, 由已知可得 A 气体扩散用的时间为

$$\frac{100 \text{ s}}{2.83} = 35 \text{ s}$$

例3 313K 时 CHCl_3 的饱和蒸气压为 49.3kPa, 于此温度和 98.6kPa 的压强下, 将 4.00 dm^3 空气缓缓通过 CHCl_3 , 致使每个气泡都为 CHCl_3 饱和。求(1)通过 CHCl_3 后, 空气和 CHCl_3 混合气体的体积是多少? (2)被空气带走的 CHCl_3 的质量是多少?

【逻辑推理】 将题设的过程理解为一个 $p_1 = 98.6 \text{ kPa}$, $V_1 = 4.00 \text{ dm}^3$ 的空气气泡缓缓通过 CHCl_3 液体, 气泡在被 CHCl_3 饱和的过程中体系的总压没变, 气泡的体积增大。通过 CHCl_3 后的气泡是个混合气体体系, $V_{\text{总}}$ 是其体积, $p_{\text{总}} = 98.6 \text{ kPa}$ 。 CHCl_3 的饱和蒸气压 49.3kPa 是混合气体中该

组分的分压 p_2 , 设另一组分空气的分压为 $p_{\text{空}}$ 。

【解题过程】 (1) 由已知题意及分析可知

$$\begin{aligned} p_{\text{空}} &= p_{\text{总}} - p_2 \\ &= 98.6 \text{ kPa} - 49.3 \text{ kPa} \\ &= 49.3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

对组分气体空气, 使用 Boyle 定律, 因为 T, n 不变, $p_{\text{空}} V_{\text{总}} = p_1 V_1$, 故

$$\begin{aligned} V_{\text{总}} &= \frac{p_1 V_1}{p_{\text{空}}} \\ V_{\text{总}} &= \frac{98.6 \text{ kPa} \times 4.0 \text{ dm}^3}{49.3 \text{ kPa}} = 8 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

(2) 对组分气体 CHCl_3 使用理想气体状态方程 $p_2 V_{\text{总}} = nRT$, 故混合气体中 CHCl_3 的物质的量为

$$n = \frac{p_2 V_{\text{总}}}{RT} = \frac{49.3 \text{ kPa} \times 8 \text{ dm}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3 \times 313 \text{ K}} = 0.152 \text{ mol}$$

故带走 CHCl_3 的质量为

$$m = M_n = 119.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.152 \text{ mol} = 18.12 \text{ g}$$

例 4 将 10g 葡萄糖和甘油分别溶于 100g 水中, 问所得溶液的凝固点各为多少?

【解题过程】以葡萄糖水溶液为例进行计算。

依题意, 100g H_2O 中溶解 10g 葡萄糖, 按此比例 1000g H_2O 中有 100g 葡萄糖。

设溶液的质量摩尔浓度为 b , 则

$$b = \frac{100 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.556 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\Delta T_f = k_f b$$

已知 H_2O 溶液的 $k_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$, 将其与 b 值代入公式中

$$\begin{aligned} \Delta T_f &= 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.556 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \\ &= 1.034 \text{ K} \end{aligned}$$

由 ΔT_f (冰点降低值) 的定义式

$$\Delta T_f = T_f^0 - T_f$$

$$T_f = T_f^0 - \Delta T_f$$

故

$$\begin{aligned} &= 273 \text{ K} - 1.034 \text{ K} \\ &= 271.97 \text{ K} \end{aligned}$$

同理对甘油有 $b = 1.087 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\Delta T_f = 2.022 \text{ K}$, $T_f = 270.998 \text{ K}$ 。

课后习题全解

2.1 正确理解“理想气体”概念。理想气体状态方程的应用条件是什么? 实际气体的 van der Waals 方程是怎样推导出来的?

【解题过程】理想气体是一种抽象的气体模型, 实际上是不存在的。它忽略了气体分子的自

身体积,将分子看成是有质量的几何点;并假设分子间没有相互吸引,分子之间及分子与器壁之间发生的碰撞是完全弹性的,没有动能损失。这种气体称为理想气体。

理想气体状态方程 $pV = nRT$ 的应用条件应是高温且低压。

van der Waals 方程的推导过程:

(1) 压强项的修正 实际气体分子相互间的引力不容忽视,所以实际气体分子碰撞器壁时所产生的压力要比理想气体所产生的压力小。若用 $p_{\text{内}}$ 表示理想气体的压强 p 与实际气体的压强 $p_{\text{实}}$ 的差,则有

$$p = p_{\text{实}} + p_{\text{内}} \quad (1)$$

$p_{\text{内}}$ 是内层分子对碰撞器壁分子的吸引力造成的,它和内部分子的密度成正比,也和碰撞器壁的外层分子的密度成正比,即

$$p_{\text{内}} \propto \left(\frac{n_{\text{外}}}{V} \right) \left(\frac{n_{\text{内}}}{V} \right)$$

而这两部分分子共处于同一容器中,密度一致,故

$$p_{\text{内}} \propto \left(\frac{n}{V} \right)^2$$

令比例系数为 a , 上式可以写成

$$p_{\text{内}} = a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \quad (2)$$

将②式代入①中,理想气体的压强 p 与实际气体的压强 $p_{\text{实}}$ 的关系可以表示成

$$p = p_{\text{实}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \quad (3)$$

(2) 体积项的修正 实际气体自身的体积不容忽视,只有从实际气体的体积 $V_{\text{实}}$ 中减去其分子自身的体积,才能得到相当于理想气体体积的自由空间。设气体分子的摩尔体积为 $b \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 对 $n \text{ mol}$ 实际气体则有

$$V = V_{\text{实}} - nb \quad (4)$$

将③和④式代入理想气体状态方程 $pV = nRT$, 即得范德华方程

$$\left[p_{\text{实}} + a \left(\frac{n}{V} \right)^2 \right] (V_{\text{实}} - nb) = nRT$$

2.2 结合图 2-1 到图 2-4, 正确理解气体分子的速率分布和能量分布的规律。

【解题过程】 英国物理学家 Maxwell 对气体分子运动速率分布的研究结果表明,速率极大和速率极小的分子都较少,而速率居中的分子较多。

图 2-1 表明了这一结果。纵坐标 $\frac{\Delta N}{\Delta u}$ 表示单位速率间隔内分子的数目;横坐标 u 代表分子的运动速率。曲线下覆盖的面积为分子的数目 N , 阴影部分的面积为速率在 u_1 和 u_2 之间的气体分子的数目。从图中可以看出,速率大的分子数目少,速率小的分子数目也少,速率居中的分子数目较多。

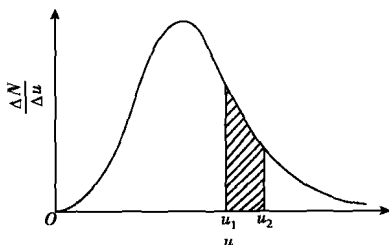


图 2-1 气体分子的速率分布

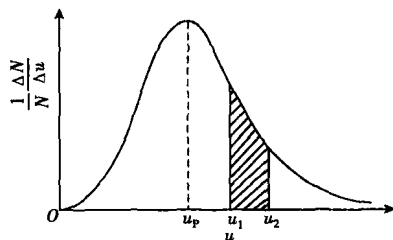
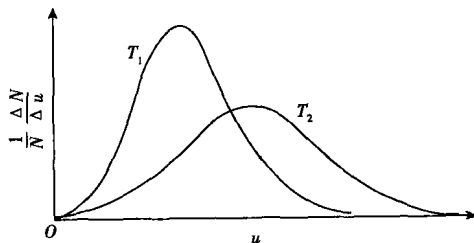


图 2-2 气体分子的速率分布最概然速率

图 2-1 的不足之处在于,面积代表的是一个绝对的数量 N ,因而气体分子总数不同时,图形会有不同。若将纵坐标改为 $\frac{1}{N} \frac{\Delta N}{\Delta u}$,其中 N 为分子总数,对 u 作图,见图 2-2,则曲线下覆盖的面积,将是某速率区间内分子数占分子总数的分数 $\frac{\Delta N}{N}$ 。而曲线下 u_1 和 u_2 之间阴影部分的面积表示速率处于 u_1 和 u_2 之间的气体分子的数目占分子总数的分数。由此可知整个曲线下覆盖的总面积为单位 1。

这种分布曲线的优点在于,只要温度相同,无论气体分子的总数怎样变化,曲线形状保持一致。

如图 2-3,温度升高时,气体分子的运动速度普遍增大,具有较高速率的分子分数必然提高,分布曲线右移。最概然速率 u_p 也随温度的升高而变大,但具有这种速率的分子分数却变小了。由于曲线下覆盖的面积为定值,故高度降低的同时,曲线覆盖面加宽,整个曲线变得较为平坦。

图 2-3 不同温度时的速率分布曲线($T_1 > T_2$)

气体分子的能量受其速率的影响,因此能量的分布与速率分布相类似,见图 2-4。与速率分布不同的是能量分布曲线上升阶段较陡,下降的后一阶段趋于平缓。

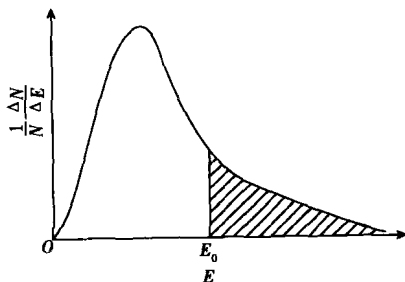


图 2-4 气体分子的能量分布

在无机化学中,常用近似公式来计算和讨论能量的分布:

$$f_{E_0} = \frac{N_i}{N} = e^{-\frac{E_0}{RT}}$$

式中, E_0 是某个特定的能量数值; $\frac{N_i}{N}$ 表示能量大于 E_0 的分子占有所有分子的分数,从式中可以看出, E_0 越大, f_{E_0} 越小。

2.3 溶液的浓度有哪些常用的表示方法? 试比较各种浓度表示方法在实际使用中的优缺点。对于稀的水溶液,试推导其质量摩尔浓度和溶质的摩尔分数的关系式。

【解题过程】 常用的溶液浓度表示方法有如下4种:

(1) 物质的量浓度 溶液中所含溶质 B 的物质的量,除以溶液的体积,称为 B 的物质的量浓度,可简称为浓度,用符号 c 表示,即

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

在温度不变的情况下,配制溶液或按要求转移溶液时,使用物质的量浓度十分方便,但是物质的量浓度会受到温度变化的影响。

(2) 质量摩尔浓度 溶液中所含溶质 B 的物质的量 n_B ,除以溶剂的质量 m_A ,称为 B 的质量摩尔浓度,用符号 b_B 或 m_B 表示,即

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

质量摩尔浓度最大的优点是会受到温度变化的影响。但使用移液管和滴定管时,必须知道溶液的密度才能计算出所转移溶液中溶质的物质的量。

(3) 质量分数 物质 B 的质量 m_B 与混合物的质量 m 之比称为物质 B 的质量分数。质量分数用符号 w 表示,即

$$w_B = \frac{m_B}{m}$$

当人们更注重溶液中溶质的质量而不是其物质的量时,质量分数这种溶液浓度表示方法就显得十分有意义;但是当人们注重的是溶质的物质的量时,质量分数应用起来就不十分方便。

对于溶液而言, m_B 代表溶质 B 的质量, m 代表溶液的质量。

(4) 摩尔分数 溶液中溶质的物质的量 $n_{质}$ 与溶液的总物质的量 $n_{液}$ 之比叫做溶质的摩尔分数,用符号 $x_{质}$ 表示,即

$$x_{质} = \frac{n_{质}}{n_{液}} \text{ 或 } x_{质} = \frac{n_{质}}{n_{质} + n_{剂}}$$

摩尔分数既不体现溶液的质量,又不体现溶液的体积,不是实验中常用的浓度表示方法。这种浓度的意义在于可以很好地从溶质和溶剂的物质的量的关系方面表示溶液的组成。

对于稀溶液有 $x_{剂} \gg x_{质}$, 所以 $x_{剂} + x_{质} = x_{剂}$, 所以

$$x_{质} = \frac{n_{质}}{n_{质} + n_{剂}} \approx \frac{n_{质}}{n_{剂}}$$

对于水溶液,当 $n_{\text{剂}} = \frac{1000\text{g}}{18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 55.56\text{mol}$ 时,其所对应的 $n_{\text{质}}$ 正是 1000g 溶液中所含的溶质的物质的量。所以 $n_{\text{质}}$ 的数值上等于溶质的质量摩尔浓度 $b_{\text{质}}$,于是有关系式

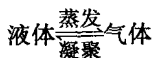
$$\alpha_{\text{质}} = \frac{b_{\text{质}} / (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})}{55.56}$$

2.4 正确理解“饱和蒸气压”概念。为什么饱和蒸气压与温度有关而与液体上方空间的大小无关?

【解题过程】 将纯溶剂置于密闭容器中时,进行蒸发和凝聚两个过程。当凝聚速率和蒸发速率相等时,液面上方空间的蒸气密度不再改变,体系达到了一种动态平衡。此时蒸气压强不再改变,这时的蒸气压为饱和蒸气压,用 p^* 表示。

若温度升高,蒸发速率会加快,只有当凝聚速率和蒸发速率相等时,才能实现动态平衡。

一般对同一液体来说,若温度越高,蒸气压越大,温度越低,则蒸气压越小。对于平衡



达到平衡后,若液体上方空间变大,则蒸气压小于 p^* ,平衡右移,直到蒸气压等于 p^* ,重新实现平衡;反之,平衡左移,达到平衡。所以液体的饱和蒸气压与液体上方空间的大小无关。

2.5 晶体与非晶体的基本区别是什么?按晶体中有序分布的质点的不同,晶体可以分成哪几种类型,每种类型的晶体其物理性质的特点如何?

【解题过程】 晶体与非晶体的基本区别在于:晶体的质点的排列是有规律的,非晶体的质点排列则毫无规律。

根据晶体中那些排列有序的质点的性质,可以将晶体分成四种基本类型:分子晶体、离子晶体、原子晶体和金属晶体。

分子晶体 分子晶体中有序排列的质点是分子,质点之间的结合力属于分子间作用力,这种力远小于离子键和共价键的结合作用,所以分子晶体一般来说熔点低,导电性能较差。

离子晶体 离子晶体中有序排列的质点是正离子和负离子,正、负离子间的静电引力,即离子键的作用是很强的,因此离子晶体的熔点通常要高室温很多。在晶体中,离子不能自由移动,所以这些离子晶体导电性差。然而当融化时,它们成为很好的导体。

原子晶体 原子晶体中有序排列的质点是原子。在任何一种原子晶体中,原子间都是以共价键相互连接的。由于共价键十分强,所以这类物质具有很高的熔点,十分坚硬,通常导电性差。

金属晶体 金属晶体中有序排列的质点是金属原子或金属离子,金属离子和原子有序地排列与沉浸在由失去的外层电子所形成的电子的“海洋”中。金属晶体的某些性质相差很大,这些差异可以由金属键的强弱来加以说明。

2.6 答案略,见例 1。

2.7 已知 1dm^3 某气体在标准状况下质量为 2.86g,试计算该气体的平均相对分子质量,并计算其在 17°C 和 207kPa 时的密度。

【解题过程】 由理想气体状态方程

$$pV = nRT$$

得

$$n = \frac{pV}{RT}$$

将 $V = 1 \text{ dm}^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $p = 101.3 \text{ kPa}$, $T = 273 \text{ K}$, 代入上式求得 n 为

$$\begin{aligned} n &= \frac{101300 \text{ Pa} \times 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 273 \text{ K}} \\ &= 0.04463 \text{ mol} \end{aligned}$$

所以该气体的摩尔质量为

$$M = \frac{2.86 \text{ g}}{0.04463 \text{ mol}} = 64.1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

即平均相对分子质量为 64.1。

设 17°C 和 207 kPa 时气体的体积为 V , 由理想气体的状态方程得

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{mRT}{MP}$$

故气体的密度为

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{V} = \frac{MP}{RT} = \frac{6.41 \times 207}{8.314 \times 290} \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3} \\ &= 5.50 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3} \end{aligned}$$

2.8 有一容积为 30 dm^3 的高压气瓶, 可以耐压 $2.5 \times 10^4 \text{ kPa}$ 。试求在 298 K 时可装多少千克 O_2 而不致发生危险。

【解题过程】 由理想气体的状态方程

$$pV = nRT$$

得

$$n = \frac{pV}{RT}$$

故盛装的氧气的物质的量为

$$\begin{aligned} n &= \frac{2.5 \times 10^7 \text{ Pa} \times 30 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}} \\ &= 302.7 \text{ mol} \end{aligned}$$

所以氧气的质量为

$$\begin{aligned} m &= Mn \\ &= 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 302.7 \text{ mol} \\ &= 9.69 \text{ kg} \end{aligned}$$

即该气瓶可盛装 9.69 kg 氧气而不致发生危险。

2.9 答案略, 见例 2。

2.10 410 K 时某容器内装有 0.30 mol N_2 , 0.10 mol O_2 和 0.10 mol He , 当混合气体的总压为 100 kPa 时 He 的分压是多少? N_2 的分体积是多少?

【解题过程】 气体 He 的摩尔分数为