

全国高等学校医学规划教材配套用书

基础化学

学习指导与习题解析

主编 祁嘉义



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高等学校医学规划教材配套用书

基础化学

学习指导与习题解析

INSTRUCTION & EXERCISE ANALYSES OF
FUNDAMENTAL CHEMISTRY

主编 祁嘉义

参编人员

祁嘉义	南京医科大学	侯华新	广西医科大学
仇佩虹	温州医学院	武世界	兰州医学院
赵光	首都医科大学	杨左海	咸宁学院
罗一帆	中山大学中山医学院	周萍	南京医科大学
李东方	中国人民解放军第二 军医大学	程宝荣	南京医科大学
李柏林	中国医科大学	许贯虹	南京医科大学



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

《基础化学学习指导与习题解析》是全国高等学校医学规划教材《基础化学》的配套用书,对《基础化学》各章内容从知识要点、例题解析、习题解析、自我检测、名校题库五个方面进行辅导。

本书着眼点在于培养和提高学生的解题能力,通过解题加深对基本知识、基础理论重点的掌握,难点的理解,提高学习效率。习题和思考题、自我检测题及全国名校题库均有标准答案,有助于学生检测自己对于化学的基本理论、基础知识掌握的程度,明晰解题思路。

本书适用于高等医学院校基础化学教师、实验室准备人员作教学参考之用,也可作为医务工作人员进行知识更新或继续教育的辅助工具书。

图书在版编目(CIP)数据

基础化学学习指导与习题解析/祁嘉义主编. —北京:
高等教育出版社, 2005. 3
ISBN 7-04-016393-4

I. 基... II. 祁... III. 化学-医学院校-教学参
考资料 IV. O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 005600 号

策划编辑 瞿德竑 责任编辑 周传红 封面设计 张楠 责任绘图 宗小梅
版式设计 马静如 责任校对 殷然 责任印制 孔源

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 20.75
字 数 500 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>

版 次 2005 年 3 月第 1 版
印 次 2005 年 3 月第 1 次印刷
定 价 28.10 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 16393-00

前 言

基础化学是5年制医学专业学生甫进大学就学习的一门极其重要的必修课。在从分子、亚分子出发来探索生命的奥秘、用化学的规律来解释医学的今天,基础化学的重要性尤为突出。学好基础化学将为学生的后续课程——有机化学、生物化学等课程的学习打下坚实的化学基础,更为重要的是使学生在成为高素质的医学人才的道路上一开始就受到严格的素质教育训练。

基础化学对于医学专业学生如此重要,但要学好它,并非易事。高考(3+2x)模式,使有些医学专业学生在中学没有选修化学,因此基础薄弱,学习基础化学倍感困难;即便对于大多数中学选修化学的医学专业学生,学好基础化学也绝非轻而易举。基础化学内容涵盖面宽,由无机化学、物理化学、分析化学的基本理论和基础知识组成,知识点多,概念、公式多,学生不易抓住要领。和中学相比,大学在教学方式、教学进度上也有极大的区别:进度快,每堂课授课的内容多,讲完后,教师不像中学那样指导学生反复复习,在第二堂课又教授大量新的内容,学生往往不适应,重点抓不住、难点吃不透、习题不会解。

本书以全国多所主要医学院校的资深化学教师编写出版的“全国高等学校医学规划教材”《基础化学》为依据,以《基础化学学习指南》(祁嘉义,东南大学出版社)、《新基础化学学习指导》(祁嘉义,东南大学出版社)两本辅导教材为蓝本,精心编写而成。目的在于帮助一年级的医学专业学生尽快适应大学的化学教学,明确教学大纲的“掌握、熟悉、了解”三级“教学要求”,通过“知识要点”强化重点、钻透难点,并通过“例题解析”、“习题解析”讲解解题的思路和技巧。通过“自我检测”、“名校题库”,使学生发现差距,总结经验,改进方法,充分发挥学生学习的主动性,提高学习效率,增强独立思考和解决问题的能力,牢固掌握化学学科的基础理论和基本知识,顺利完成本门课程的学业。

本书充分学习国内外同类教材的长处,以提高学生解题能力作为学好基础化学的突破口。本书列举例题132道,解思考题和练习题387道,自我检测题511道,试题库收录全国名校试卷11套。对于例题、习题,不是简单地写出答案,而是进行分析,写出思路,在解题过程中,不仅写出公式和过程,而且大多进行具体运算。通过大量的习题解析使学生不但知其然,而且知其所以然,这就是本书的主要特点。

仇佩虹、赵光、罗一帆、李东方、李柏林、侯华新、武世界、杨左海、周萍、程宝荣、许贯虹为本书做了大量工作,在此表示感谢!

虽然我们力争将本书写成精品辅助教材,但由于水平有限,教学经验不足,难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

祁嘉义

2004年7月于南京

目 录

绪论	1
第一章 稀溶液的依数性	8
第二章 电解质溶液	20
第三章 缓冲溶液	34
第四章 难溶强电解质的多相离子平衡	48
第五章 胶体和乳状液	60
第六章 化学热力学初步	69
第七章 化学反应的方向和限度	82
第八章 化学反应速率	107
第九章 氧化还原与电极电位	121
第十章 原子结构与元素周期表	136
第十一章 共价键和分子间作用力	149
第十二章 配位化合物	161
第十三章 滴定分析法	176
第十四章 可见和紫外分光光度法	193
第十五章 环境化学基础	205
第十六章 基础化学实验应知应会	214
名校题库	225
自我检测题答案	289
附录	311

绪 论

本章知识要点^① (化学与医药学的关系;基础化学的研究内容;基础化学的学习方法);物质的量与物质的量浓度;质量浓度;质量摩尔浓度;摩尔分数;质量分数与体积分数;(标准平衡常数的表达式)。

本章知识要点^①

(化学与医药学的关系;基础化学的研究内容;基础化学的学习方法);物质的量与物质的量浓度;质量浓度;质量摩尔浓度;摩尔分数;质量分数与体积分数;(标准平衡常数的表达式)。

溶液的组成标度

物质的量(amount of substance)是表示微观物质数量的基本物理量,是国际单位制 7 个基本量之一。物质 B 的质量(mass)为 $m_B(\text{g})$,摩尔质量(molar mass)为 $M_B(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$,则物质 B 的物质的量为

$$n_B = \frac{m_B}{M_B}$$

物质的量与质量是不同的两种概念,质量的单位是 kg、g 等;物质的量的单位为 mol 和 mmol。物质的量不能称为“摩尔数”。这里摩尔质量 M_B 与相对分子质量 M_r 虽然数值相同,但概念不同,单位也不同。

物质的量浓度(amount-of-substance concentration)^②简称浓度,定义为溶质的物质的量除以溶液的体积,即

$$c_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{V}$$

使用物质的量和物质的量浓度时,特别要注意必须用元素符号、化学式或相应的粒子符号标明**基本单元**(elementary entity),基本单元可以是实际存在的,也可以是想像的或根据需要假设的种种粒子或其分割与组合。基本单元不同,同一份溶液的浓度数值就不同。

$$c(x\text{B}) = \frac{1}{x}c(\text{B})$$

例如, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 而 $c(2\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

本书用 $[\text{B}]$ 表示物质 B 的平衡浓度,用 $c(\text{B})$ 或 c_B 表示物质 B 的初始浓度。国外资料用符号

① 教学大纲分为“掌握”、“熟悉”、“了解”三级要求。

掌握:要求透彻理解、牢固记忆、灵活运用、融会贯通。本书中用下划线表示。

熟悉:要求清楚理解、熟悉要点。不用任何符号表示。

了解:要求一般性理解,拓宽学生知识面。本书中用圆括号()表示。

② 外文资料常用 molarity 表示“摩尔浓度”,此术语我国废除,可将其等同于“物质的量浓度”。

M 表示浓度,我国已废止使用。

物质 B 的质量浓度(mass concentration) ρ_B 定义为

$$\rho_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_B}{V}$$

质量浓度多用于溶质为固体配制的溶液。医学上对相对分子质量未知的溶质使用质量浓度,它的质量单位可以变化,可用 g、mg、 μg ,体积单位不变,用 L。物质的量浓度与质量浓度有如下换算关系:

$$c(\text{B})(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}) \cdot M_{\text{B}}(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}) = \rho_{\text{B}}(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$$

溶质 B 的质量摩尔浓度(molality) 符号为 b_B , 定义为

$$b_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{m_A}$$

b_B 的单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因为不受温度的影响,在物理化学上常用。溶质 B 的质量摩尔浓度有些教材使用符号 m_B ,但易与质量符号 m 混淆。当溶质的质量为 $m_B(\text{g})$,摩尔质量为 $M_B(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$,则

$$b_B = \frac{m_B}{M_B m_A}$$

注意这里 m_A 的单位应该用 kg。

B 的物质的量分数(amount-of-substance fraction)(摩尔分数)定义为 B 的物质的量与混合物的物质的量之比,符号为 x_B ,单位是 1(one)。即

$$x_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{n_B}{\sum_i n_i}$$

它也不受温度的影响。若溶液由溶质 B 和溶剂 A 两组分组成,则有

$$x_B = n_B / (n_A + n_B), x_A = n_A / (n_A + n_B), x_A + x_B = 1$$

例题解析

【例 0-1】 下列 4 句说法中正确的是()。

- A. 氧的摩尔数为 2
 B. “1 mol O_2 ”可说成“1 摩尔分子氧”
 C. 1 mol C 原子等于 12 g
 D. $c\left(\frac{1}{3} \text{H}_2\text{SO}_4\right) = 3c(\text{H}_2\text{SO}_4)$

【答】 D 正确。

A 说法有 3 个错误,未指明基本单元是什么,是“O”还是“ O_2 ”;摩尔是表示物质的量的 SI 单位名称,不能用“摩尔数”代替物质的量;“2”实际未明确指出单位,是“摩尔”还是“毫摩尔”。正确的说法是:氧分子的物质的量是 2 摩尔,即 $n(\text{O}_2) = 2 \text{ mol}$ 。

B 应该说“1 摩尔氧分子”。

C 的正确说法是“1 mol C 原子的质量是 12 g”或“C 原子的摩尔质量是 12 克每摩尔”。

【例 0-2】 将 9.00 g NaCl 溶解于 996.0 g 水中,此溶液的密度为 $1.005 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$,求 NaCl 溶液的质量摩尔浓度、物质的量浓度、物质的量分数。

【分析】 $M(\text{NaCl}) = 58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,溶剂的质量为 0.996 0 kg,

溶液的体积 $V = (9.00 \text{ g} + 996.0 \text{ g}) / 1.005 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 1000 \text{ mL} = 1.000 \text{ L}$, 根据各种标度的定义求解。

【解】 $n(\text{NaCl}) = 9.00 \text{ g} / 58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.154 \text{ mol}$
 $b(\text{NaCl}) = 0.154 \text{ mol} / 0.9960 \text{ kg} = 0.155 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$
 $c(\text{NaCl}) = 0.154 \text{ mol} / 1.000 \text{ L} = 0.154 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
 $n(\text{H}_2\text{O}) = 996.0 \text{ g} / 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 55.27 \text{ mol}$
 $x(\text{NaCl}) = 0.154 \text{ mol} / (0.154 \text{ mol} + 55.27 \text{ mol}) = 2.78 \times 10^{-3}$

【例 0-3】 A sucrose solution was prepared by dissolving $0.0135 \text{ kg C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ in enough water to make exactly 0.1000 L solution, which was then found to have a density of $1.050 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$. Compute molarity and molality of the solution.

【分析】 sucrose solution: 蔗糖溶液; dissolving: 溶解; density: 密度; molarity: 物质的量浓度; molality: 质量摩尔浓度。

已知 $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,

$$n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 0.0135 \text{ kg} \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} / 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.0395 \text{ mol}$$

又从溶液的体积和密度可求出溶液的质量:

$$m = Vd = 0.1000 \text{ L} \times 1.050 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} = 0.1050 \text{ kg}$$

则溶剂的质量 $m_A = 0.1050 \text{ kg} - 0.0135 \text{ kg} = 0.0915 \text{ kg}$ 。

【解】 $c(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) / V = 0.0395 \text{ mol} / 0.1000 \text{ L} = 0.395 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$$b(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) / m_A = 0.0395 \text{ mol} / 0.0915 \text{ kg} = 0.432 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

思考题和练习题解答

1. 为什么说化学和医学的关系密切, 医学专业学生必须学好化学?

答: (略)

2. “1 mol 硫酸的质量是 98.0 g”, 对吗?

答: 错误! 未指明基本单元, 正确说法是 1 mol H_2SO_4 的质量是 98.0 g 或 $1 \text{ mol} \left(\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4 \right)$ 的

质量是 49.0 g。

3. $0.4 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ 溶解于水, 配成 500 mL 溶液, 其浓度表示正确的是()。

A. $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ B. $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C. $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D. 硫酸的浓度为 $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

答: 正确的是 A。根据定义, 1 L 溶液中含有 $0.8 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

4. 下列说法正确的是()。

A. “1 mol O”可以说成“1 mol 原子 O”

B. 1 mol C 原子等于 12 g

C. 1 L 溶液中含有 H_2SO_4 98 g, 该溶液的摩尔浓度是 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D. 基本单元不仅可以是构成物质的任何自然存在的粒子或粒子的组合, 也可以是想象的或

根据需要假设的种种粒子或其分割与组合

答:正确的是D。

A应说成“1 mol 氧原子”;B应为“1 mol C原子的质量等于12 g”;C不应该使用“摩尔浓度”,此术语已被废除。

5. 求0.100 kg $[(1/2)\text{Ca}^{2+}]$ 的物质的量。

解: $M[(1/2)\text{Ca}^{2+}] = (40.08 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}/2) = 20.04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n[(1/2)\text{Ca}^{2+}] = [m/M[(1/2)\text{Ca}^{2+}]] = 0.100 \text{ kg} \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} / 20.04 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} =$$

4.99 mol

6. 每100 mL血浆含 K^+ 为20 mg,计算 K^+ 的物质的量浓度,单位用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示。

解: $M(\text{K}^+) = 39.10 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\text{K}^+) = [m/M(\text{K}^+)] = (20 \text{ mg} / 39.10 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) = 0.51 \text{ mmol}$$

$$c(\text{K}^+) = [n(\text{K}^+)/V] = 0.51 \text{ mmol} / 0.1 \text{ L} = 5.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

7. 计算下列常用试剂的物质的量浓度。

(1) 浓硝酸,含 HNO_3 的质量分数为0.700,密度为 $1.42 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$

(2) 浓氨水,含 NH_3 的质量分数为0.280,密度为 $0.900 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$

解:设溶液的体积为1.00 L。

$$(1) c(\text{HNO}_3) = \frac{1000 \text{ mL} \times 1.42 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.700}{63.01 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} = 15.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$(2) c(\text{NH}_3) = \frac{1000 \text{ mL} \times 0.900 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.280}{17.03 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} = 14.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

8. 某患者需补充 Na^+ $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$,应补充 NaCl 的质量是多少?若用生理盐水 $[\rho(\text{NaCl}) = 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}]$ 补充,应需生理盐水的体积是多少?

解: $m = 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol} \times 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 2.9 \text{ g}$

设补充生理盐水 $x \text{ L}$,则 $x \cdot 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} = 2.9 \text{ g}$

$$x = 0.32 \text{ L}$$

9. 实验室现有剩余的 $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 500 mL和 $0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 300 mL,如何利用上述溶液加入一定体积的 $\omega_B = 0.960$ 的 H_2SO_4 (密度 $\rho = 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$)配制成1000 mL浓度为 $0.250 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 溶液?

解:500 mL $0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 中,

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_1 V_1 = 500 \text{ mL} \times 0.100 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 50.0 \text{ mmol}$$

300 mL $0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 中,

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = c_2 V_2 = 300 \text{ mL} \times 0.0500 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 15.0 \text{ mmol}$$

$\omega = 0.960$ 的 H_2SO_4 的浓度为

$$c_3 = \frac{1000 \text{ mL} \times 1.84 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} \times 0.960}{98.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} = 18.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

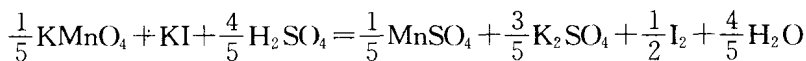
设取该酸体积为 V_3 (mL),则有

$$(50.0 + 15.0 + 18.0 V_3) \text{ mmol} = 1000 \text{ mL} \times 0.250 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$V_3 = 10.3 \text{ mL}$$

10. 溶液中 KI 与 KMnO_4 反应, 假如最终有 0.508 g I_2 析出, 以 $(\text{KI} + \frac{1}{5}\text{KMnO}_4)$ 为基本单元, 所消耗的反应物的物质的量是多少?

解: $\text{KMnO}_4 + 5\text{KI} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{MnSO}_4 + 3\text{K}_2\text{SO}_4 + 5/2 \text{I}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$



$$n\left(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4 + \text{KI}\right) = n\left(\frac{1}{2}\text{I}_2\right) = \frac{0.508 \text{ g} \times 1000 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1}}{126.9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 4.00 \text{ mmol}$$

11. 用质量摩尔浓度来表示溶液的组成标度有何优点?

答: 质量摩尔浓度不会因为温度的变化而变化, 在物理化学应用较多。

12. 100 g 浓硫酸中含纯 H_2SO_4 95 g, 将此 100 g 浓硫酸加入 400 g 水中, 混合后溶液的密度为 $1.13 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算此溶液的质量摩尔浓度、物质的量浓度和摩尔分数。

解:
$$b_{\text{B}} = \frac{95 \text{ g}/98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(400+5) \times 10^{-3} \text{ kg}} = 2.4 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$c_{\text{B}} = \frac{95 \text{ g}/98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{500 \times 10^{-3} \text{ kg}/1.13 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}} = 2.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$x(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{95 \text{ g}/98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(95 \text{ g}/98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}) + (405 \text{ g}/18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1})} = 0.041$$

13. What is the mole fraction of the solute in a $1.00 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ aqueous solution?

解:
$$x_{\text{B}} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ mol} + \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 0.018$$

14. A solution contains 20.0 g acetic acid, CH_3COOH , in 250 g water. What is the concentration of the solution expressed as (1) mole fraction of CH_3COOH and H_2O (2) molality?

解: (1)
$$x(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{20 \text{ g}/60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{\frac{20 \text{ g}}{60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{250 \text{ g}}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 0.023$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - 0.023 = 0.977$$

(2)
$$b_{\text{B}} = \frac{20.0 \text{ g}}{0.250 \text{ kg}} = \frac{60.00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{0.250 \text{ kg}} = 1.34 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

自我检测题

一、是非判断题

- 1 mol 硫酸的质量是 98 g。
- 物质 B 的浓度就是物质 B 的物质的量的浓度的简称。
- 物质 B 的物质的量就是指微观物质 B 的质量除以它的摩尔质量的商。
- 分子物质 B 的摩尔质量用符号 M_{B} 表示, 物质 B 的相对分子质量用符号 M_r 表示, 二者虽然数值相同, 但是单位不同, 不是同一个概念。
- $c(3\text{HCl}) = 3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

6. 在使用物质的量、摩尔、物质的量的浓度时,必须指明基本单元。这里的基本单元不一定是自然存在的粒子或其特定组合,也可以是想象的或根据需要假设的种种粒子或其分割与组合。

7. 使用质量浓度 ρ_B 时,质量单位可以改变,可用 kg、g、mg 等,体积单位也能改变,可用 mL、L 等。

8. 溶剂是水的溶液不必指明溶剂,如可以说 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液。但溶剂不是水时,必须指明溶剂种类,如可以说 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 萘(C_{10}H_8)的苯溶液。

9. 国家法定计量单位规定英文单位符号不用复数形式,如 20 分应记为 20 min,不得记为 20 mins。

10. 对稀溶液而言,可近似认为在数值上 $c_B = b_B$,但二者不是同一种组成标度。

二、选择题

1. 下列说法或做法正确的是()。

A. 质量摩尔浓度的优点是不受温度的影响,缺点是运算麻烦,常用于物理化学而少用于分析化学

B. 某硕士写论文时根据国外资料将物质的量浓度的符号写成 M

C. 1 L 溶液中含有 NaOH($M_r = 40.00$)40.00 g,该溶液的摩尔浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

D. 20 分可记为 20 mins 而不应该记为 20 min

2. 下列溶液组成标度表示方法中数值与温度有关的是()。

A. 物质的量分数 B. 物质的量浓度 C. 质量摩尔浓度 D. 质量分数

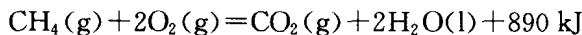
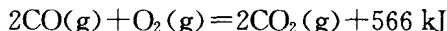
3. 某温度下,体积为 $V(\text{mL})$ 的 NaCl 饱和溶液其质量为 $m(\text{g})$,其中含 NaCl 质量为 $a(\text{g})$,NaCl 的摩尔质量为 $M_B(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$,则该溶液的质量摩尔浓度为()。

A. $\frac{a}{(m-a)M_B}$ B. $\frac{1000a}{mM_B}$ C. $\frac{1000a}{(m-a)M_B}$ D. $\frac{10^{-3}a}{(m-a)M_B}$

4. 用 NaOH 滴定分析 H_2SO_4 ,化学方程式为 $2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$,计算结果时按照“等物质的量”规则,终点时有 $c(2\text{NaOH})V(2\text{NaOH}) = c(\text{H}_2\text{SO}_4)V(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。这里氢氧化钠的基本单元是()。

A. NaOH B. $(1/2)\text{NaOH}$ C. 4NaOH D. 2NaOH

5. 在一定的条件下,CO 和 CH_4 燃烧的热化学方程式分别为



由 1 mol 的 $\text{CO}(\text{g})$ 和 3 mol 的 $\text{CH}_4(\text{g})$ 组成的混合气体在上述条件下完全燃烧时,释放的热量为()。

A. 2 912 kJ B. 2 953 kJ C. 3 236 kJ D. 3 867 kJ

6. 硫酸瓶上的标记是 80% H_2SO_4 ,相对分子质量 $M_r = 98.00$,密度 $\rho = 1.727 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$,下列数值中接近该酸的物质的量浓度的是()。

A. 14.1 B. 9.8 C. 10.2 D. 16.6

7. In an aqueous solution of strontium nitrate, $c(\text{NO}_3^-) = 0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. This solution is correctly labelled ().

A. $0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Sr}(\text{NO}_3)_2$ B. $0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Sr}(\text{NO}_3)_2$

C. $1.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Sr}(\text{NO}_3)_2$ D. $0.60 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ Sr}^{2+}$

注: strontium nitrate——硝酸锶, labelled——标记。

8. $0.2 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ 溶解在水中, 配制成 500 mL 溶液, 其浓度表示正确的是()。

A. $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ B. $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

C. $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D. 硫酸的浓度为 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

9. A sample of 4.4044 g of catechol($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$, $M_r = 110.0$) is dissolved in 200.0 g of benzene(C_6H_6), at 26.1°C . The molality of catechol in this solution, in $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ is ()。

A. 0.4128 B. 2.000×10^{-4} C. 4.128×10^{-4} D. 0.2000

注: catechol——儿茶酚或邻苯二酚。

10. $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ CaCl}_2$ 的 500 mL 溶液中 Cl^- 离子的物质的量(mol)是()。

A. 0.2 B. 0.3 C. 0.4 D. 0.8

三、填空题

1. 物质 B 的物质的量的符号是 ①, 单位符号是 ②; 浓度的符号是 ③, 医学化学中常用单位是 ④, 平衡浓度用 ⑤ 表示。

2. $c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 在 $1 \text{ L H}_2\text{SO}_4$ 溶液中含 H_2SO_4 ⑥ g。

3. 分子物质的摩尔质量符号是 ⑦, 常用单位是 ⑧; 相对分子质量的符号是 ⑨, 它的单位是 ⑩。

4. 物质 B 的质量浓度的符号是 ⑪, 它与 c_B 的关系是 ⑫。

5. 物质 B 的质量摩尔浓度的符号是 ⑬, 常用单位是 ⑭。

6. 物质 B 的物质的量分数的符号是 ⑮。

四、计算题

1. 市售浓硫酸密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 质量分数 $w_B = 0.980$, 计算此溶液溶质的质量摩尔浓度、物质的量浓度和摩尔分数。已知 $M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98.0$

2. What is the molarity of NaOH in a solution which contains 24.0 g NaOH in 600 mL of solution?

注: molarity——浓度。

3. What is the molality of a solution which contains $20.0 \text{ g cane sugar}$, $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, dissolved in 250 g water ?

注: molality——质量摩尔浓度, cane sugar——蔗糖。

4. What is the mole fraction of the solute in a $1.20 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ aqueous solution?

5. 若溶液中溶质 B 的浓度是 $c_B(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$, 质量摩尔浓度是 $b_B(\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1})$, 摩尔质量是 $M_B(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$, 溶液的密度是 $\rho(\text{kg} \cdot \text{L}^{-1})$, 证明 $c_B\left(\frac{M_B}{1000} + \frac{1}{b_B}\right) = d$ 。

第一章 稀溶液的依数性

本章知识要点

难挥发性非电解质的稀溶液的蒸气压下降和拉乌尔定律;溶液的沸点升高与凝固点降低;溶液的渗透现象、净渗透方向、渗透压;范特霍夫方程;强电解质溶液的依数性;渗透浓度;等渗、高渗和低渗溶液;皱缩和溶血;(晶体渗透压与胶体渗透压)。

难挥发性非电解质的稀溶液中溶剂的蒸气压下降(vapor pressure lowering)、沸点升高(boiling point elevation)和凝固点降低(freezing point depression)以及溶液的渗透压(osmotic pressure)等性质称为稀溶液的依数性(colligative properties),这类性质只与溶质、溶剂微粒(分子、离子)数的比值有关,而与溶质的本性无关。

一、溶液的蒸气压下降

与液相处于动态平衡的气体叫做饱和蒸气(saturated vapor),它具有的压力称为该温度下的饱和蒸气压,简称蒸气压(vapor pressure) p ,单位是 kPa(千帕)。

在一定的温度下,蒸气压是一个定值,而与气相的体积、液相的量无关。

它与物体的本性有关。同温度下蒸气压大的称为易挥发性的物质,蒸气压小的叫难挥发性物质。蒸气压也与温度有关,即蒸气压随温度升高而增大。

本章讨论溶液依数性时忽略溶质的蒸气压,只考虑溶剂的蒸气压。

当纯溶剂中溶有难挥发性溶质后,溶质分子要占据溶液的部分液面,所以含有难挥发性溶质溶液的蒸气压总是低于同温度纯溶剂的蒸气压。

拉乌尔定律给出了溶液的蒸气压下降的定量关系:

$$p = p^* x_A$$

$$\Delta p = p^* - p = p^* x_B$$

$$\Delta p = p^* - p = K b_B$$

这里 p 为单一溶质与溶剂组成的溶液在某温度下的蒸气压; p^* 为同温度下纯溶剂的蒸气压; Δp 为溶液的蒸气压下降; x_A 是溶剂的摩尔分数; x_B 是溶质的摩尔分数; $K = p^* M_A$, M_A 是溶剂的摩尔质量; b_B 为溶质的质量摩尔浓度。

二、溶液的沸点升高和凝固点降低

液体的沸点(boiling point)是液体的蒸气压等于外压时的温度,随外压而变化,压强愈大,沸

点愈高。外压为 101.3 kPa 时的沸点称为液体的正常沸点(normal boiling point)。凝固点(freezing point)是物质的固相纯溶剂的蒸气压与它的液相蒸气压相等的温度。

由于溶液的蒸气压恒低于纯溶剂,必然使溶液的沸点升高、凝固点降低,如图 1-1 所示:

$$\Delta T_b = T_b - T_b^* = K_b b_B \quad \Delta T_f = T_f^* - T_f = K_f b_B$$

K_b 为溶剂的质量摩尔沸点升高常数, K_f 为溶剂的质量摩尔凝固点降低常数,二者只与溶剂本性有关。

纯溶剂的沸点是恒定的,但溶液的沸点却不断在变动。溶液的沸点是指溶液刚开始沸腾时的温度。

溶液在凝固点时析出的是纯溶剂。随着冰的析出,溶液浓度不断增大,溶液的凝固点也不断下降。因此,溶液的凝固点是指溶液刚开始凝固时的温度。

在医学和生物科学实验中利用凝固点降低法测定溶质的相对分子质量,计算公式为

$$M_B = \frac{K_f \cdot m_B}{m_A \Delta T_f}$$

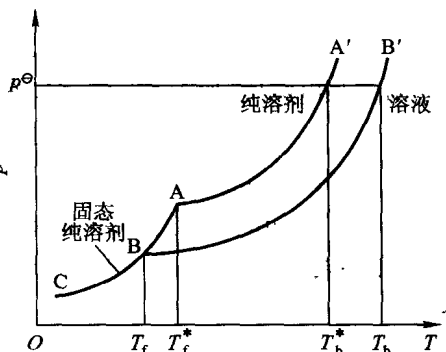


图 1-1 沸点升高和凝固点降低

三、溶液的渗透压

若用只允许溶剂(如水)分子透过而溶质(如蔗糖)分子不能透过的半透膜(semi-permeable membrane)把溶液和纯溶剂隔开,纯溶剂透过半透膜进入溶液,溶液一侧的液面升高,称为渗透现象。渗透现象发生的条件一是存在半透膜,二是膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等。

净渗透的方向是溶剂分子从纯溶剂往溶液、或从稀溶液往浓溶液进行。

为了使渗透现象不发生,必须在溶液液面上施加一超额的压力。超额压力等于溶液的渗透压(osmotic pressure),符号为 Π ,单位为 kPa。

渗透压与浓度、温度关系的范特霍夫(van't Hoff)方程是

$$\Pi = c_B RT$$

式中 c_B 为物质的量浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); T 为热力学温度; R 是摩尔气体常数,为 $8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。 Π 与 c_B 或 T 成正比。

在稀溶液中 $c_B \approx b_B$, $\Pi \approx RTb_B$ 。

用渗透压法测定蛋白质等高分子化合物的相对分子质量,公式是

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V}$$

强电解质在稀溶液中可视为 100% 解离,在计算电解质的依数性时,要乘以校正系数 i 。 NaCl 、 NaHCO_3 、 MgSO_4 、 $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$ (乳酸钠)等电解质的 $i=2$; CaCl_2 、 Na_2CO_3 的 $i=3$ 。

$$\Delta T_b = iK_b b_B, \Delta T_f = iK_f b_B, \Pi = i c_B RT \approx i b_B RT$$

渗透浓度(osmolarity) c_{os} 是渗透活性物质(分子、离子)的总浓度,单位为 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

渗透浓度可以先计算出以“分子”为基本单元的物质的量浓度,再乘以校正系数 i 求得。例

如对非电解质, 求出 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则

$$c_{\text{os}} = 0.2 \times 1 \times 1000 = 200 (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

对于强电解质, 如 NaCl, 若 $c(\text{NaCl}) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 则 Na^+ 和 Cl^- 的

$$c_{\text{os}} = 0.2 \times 2 \times 1000 = 400 (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$$

血浆渗透浓度范围为 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 医学上溶液的渗透浓度在此范围的称为等渗溶液(isotonic solution), 高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为高渗溶液(hypertonic solution), 低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为低渗溶液(hypotonic solution)。在高渗溶液中红细胞会发生皱缩, 而在低渗溶液中则发生溶血。

例题解析

【例 1-1】 讨论溶液依数性时的前提条件是什么, 条件的内涵是什么?

【答】 溶液依数性的适用条件可归纳为 3 个字: “难”、“非”、“稀”——难挥发性非电解质的稀溶液。所谓难挥发是指在同样温度下, 蒸气压极小, 小得可以忽略不计, 所以溶液的蒸气压唯一由溶剂决定, 完全不考虑溶质的蒸气压; 非电解质指溶质以分子形式存在, 不解离成离子, 质量摩尔浓度就反映了单位质量溶剂中溶质的分子数; 只有稀溶液才较准确地符合拉乌尔定律, 可以不考虑溶质对溶剂分子的引力。葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)、蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)、尿素 $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ 的稀溶液都属于这类溶液。

但是, 并不是在讨论依数性时, 就局限于这 3 个条件, 我们可以推广到强电解质溶液的依数性; 在利用溶液凝固点的降低性质用乙二醇($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$)制备永久抗冻液时浓度可非常高。

【例 1-2】 在 21°C 时, 18.26 g 一难挥发性非电解质溶解在 33.25 g 溴乙烷($\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$)中, 该溶液的蒸气压为 44.79 kPa , 纯溴乙烷在此温度下的蒸气压是 53.32 kPa , 计算: (1) 溶剂的摩尔分数; (2) 溶质的摩尔质量。

【分析】 这是一题典型的拉乌尔定律的应用题, 根据溶液蒸气压的降低数据可以求出溶剂的摩尔分数。

$$\text{【解】} \quad (1) \quad p = p^* x_A \quad x_A = \frac{p}{p^*} = \frac{44.79 \text{ kPa}}{53.32 \text{ kPa}} = 0.8400$$

(2) 查出 $M_r(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}) = 108.9$, 设溶质的摩尔质量为 $M_B (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$,

$$\frac{\frac{33.25 \text{ g}}{108.9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{33.25 \text{ g}}{108.9 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{18.26 \text{ g}}{M_B}} = 0.8400 \quad M_B = 314.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

【例 1-3】 血浆可视为各种电解质和非电解质的水溶液, 它的凝固点范围是 $-0.521 \sim -0.595^\circ\text{C}$, $K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。现有 $45 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, $M_r = 180$)溶液 100 mL , 问需要在此溶液中加入氯化钠(NaCl , $M_r = 58.44$)的质量是多少克, 才能使它为等渗溶液? (设加入 NaCl 后溶液体积不变)

【分析】 从血浆凝固点的范围可以求出其渗透浓度的范围。若要使题目所给溶液成为等渗溶液, 就要求加入 $x \text{ g}$ 的 NaCl 后, 渗透浓度符合此范围。

$$\text{【解】 } \Delta T_f = K_f b_B \quad b_B = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{0.521 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.280 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$b_B = \frac{\Delta T_f}{K_f} = \frac{0.595 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.320 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

血浆的渗透浓度范围为 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$\frac{4.5 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} + \frac{x_1 \text{ g} \times 2}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} = 0.280 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad x_1 = 0.088 \text{ g}$$

$$\frac{4.5 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} + \frac{x_2 \text{ g} \times 2}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.1 \text{ L}} = 0.320 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \quad x_2 = 0.205 \text{ g}$$

在此 100 mL 溶液中加入 NaCl $0.088 \sim 0.205 \text{ g}$ 都可制备等渗溶液。

【归纳】 渗透浓度是总浓度的概念,是溶液中所有渗透活性物质(非电解质分子和电解质的离子)浓度之和。这里要注意电解质要乘以校正系数。

【例 1-4】 将 0.1010 g 胰岛素溶于 10.00 mL 水形成的溶液在渗透压仪上测得渗透压为 32.56 mmHg ,求胰岛素的摩尔质量。

【分析】 应用范特霍夫(van't Hoff)方程可以求出高分子物质的摩尔质量。

$$\Pi = c_B RT \quad \Pi = \frac{m_B}{M_B V} RT \quad M_B = \frac{m_B}{\Pi V} RT$$

【解】 这里 $m_B = 0.1010 \text{ g}$, $V = 0.01000 \text{ L}$, $\Pi = \frac{32.56 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = 4.34 \text{ kPa}$, 代入上述公式有

$$M_B = \frac{0.1010 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K}}{4.34 \text{ kPa} \times 0.01000 \text{ L}} = 5.77 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

【归纳】 利用依数性可以测定物质的摩尔质量(或相对分子质量),对于小分子生物样品,常用凝固点降低法,但对于高分子物质,常用的是渗透压法。

【例 1-5】 生理盐水, $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液为临床常用的等渗溶液。为了使补给电解质符合生理要求,常将两溶液按一定体积比例混合后使用,如 1 体积的 NaHCO_3 等渗溶液与 2 体积的生理盐水混合,试问这样的混合溶液是等渗溶液吗? 若将两种或两种以上的等渗溶液按任意体积混合(不发生化学反应),所得的溶液是等渗溶液吗?

【分析】 先算出各等渗溶液的渗透浓度,然后计算出混合后由于体积变化后各自的渗透浓度,最后将其相加,求出混合后溶液的总渗透浓度。

【解】 生理盐水

$$c_{os} = \frac{9.00 \text{ g}}{58.44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} \times 2 \times 1000 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

混合后, $c_{os} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \div 3 \times 2 = 205 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

NaHCO_3 溶液

$$c_{os} = \frac{12.5 \text{ g}}{84.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.00 \text{ L}} \times 2 \times 1000 \text{ mmol} \cdot \text{mol}^{-1} = 298 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

混合后, $c_{os} = 298 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \div 3 = 99.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

混合溶液的 $c_{os} = 205 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} + 99.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} = 304 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

现在证明两种渗透浓度皆为 c_{os} 的等渗溶液以任意体积(V_1 、 V_2)混合,所得溶液仍为等渗