

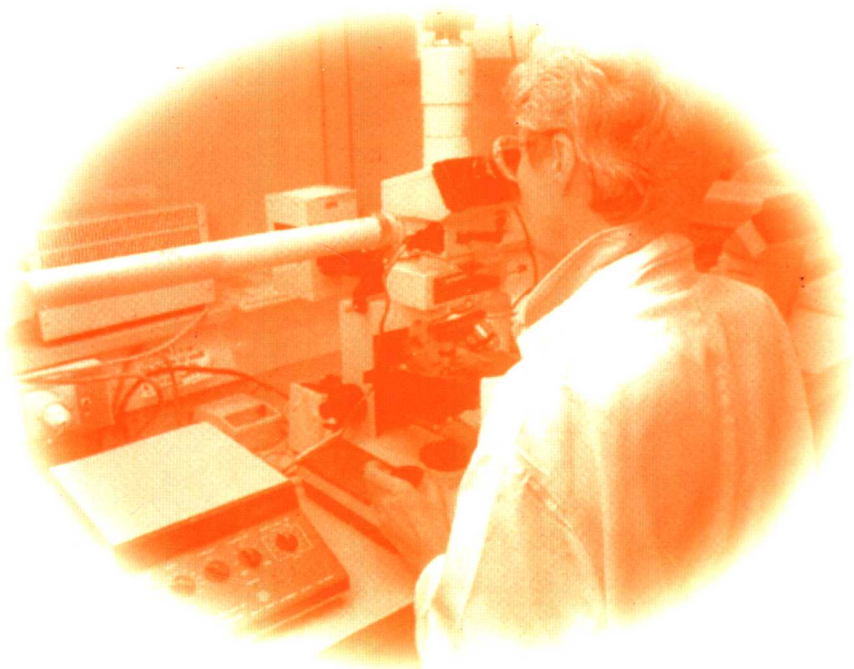
药类专业必修课考试辅导教材

供药学类专业用

梳理教材知识体系 精讲重点难点考点 揭示名校命题规律

# 无机化学

徐春祥 主编



 科学技术文献出版社

药学专业必修课考试辅导丛书  
(供药学和检验学专业用)

# 无机化学

主 编 徐春祥

副主编 马慧媛 王明召

编 者 (按编写章次为序)

骆 鑫(四川大学)

曹凤歧(中国药科大学)

张林娜(哈尔滨医科大学)

涂剑平(江西医学院)

田秋霖(武汉大学)

李青松(赣南医学院)

杨左海(咸宁医学院)

刘新泳(山东大学)

蒋惠娣(浙江大学)

王宝珍(吉林大学)

马慧媛(哈尔滨师范大学)

张欣荣(第二军医大学)

王 桥(首都医科大学)

刘有训(大连医科大学)

戴伯川(福建医科大学)

孙勒枢(济宁医学院)

刘亚琴(齐齐哈尔医学院)

王明召(北京师范大学)

丁里玉(河北医科大学)

于 丽(天津医科大学)

何西利(西安交通大学)

科学技术文献出版社

Scientific and Technical Documents Publishing House

北 京

**图书在版编目(CIP)数据**

无机化学/徐春祥主编. -北京:科学技术文献出版社,2005.1  
(药学专业必修课考试辅导教材)

ISBN 7-5023-4853-0

I. 无… II. 徐… III. 无机化学-医学院校-教材 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 112963 号

**出 版 者** 科学技术文献出版社  
**地 址** 北京市复兴路 15 号(中央电视台西侧)/100038  
**图书编务部电话** (010)68514027,(010)68537104(传真)  
**图书发行部电话** (010)68514035(传真),(010)68514009  
**邮 购 部 电 话** (010)68515381,(010)58882952  
**网 址** <http://www.stdph.com>  
E-mail: stdph@istic.ac.cn  
**策 划 编 辑** 科 文  
**责 任 编 辑** 孙江莉  
**责 任 校 对** 唐 炜  
**责 任 出 版** 王芳妮  
**发 行 者** 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销  
**印 刷 者** 北京国马印刷厂  
**版 ( 印 ) 次** 2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
**开 本** 787×1092 16 开  
**字 数** 450 千  
**印 张** 15.5  
**印 数** 1~6000 册  
**定 价** 24.00 元

© 版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

(京)新登字 130 号

## 内 容 简 介

本书为高等医药院校药学和检验学专业基础理论必修课《无机化学》的教学辅导教材。全书共分为十三章,内容分别为溶液、化学反应速率、化学热力学初步、化学平衡、酸碱平衡、难溶电解质的沉淀溶解平衡、氧化还原、原子结构、分子结构、配位化合物、非金属元素、金属元素和过渡元素。每一章由教学基本要求、本章要点、习题解析、补充习题四部分组成。为了方便教师考试出题和学生复习考试,本书还精心编写了九套无机化学水平测试题。本书旨在帮助学生正确理解和掌握基本的无机化学概念、理论和方法,培养其应用无机化学知识解决实际问题的能力。

本书读者对象为高等医药院校药学和检验专业的学生,也可供讲授无机化学课程的教师 and 有关人员参考。

---

科学技术文献出版社是国家科学技术部系统唯一一家中央级综合性科技出版机构,我们所有的努力都是为了使您增长知识和才干。

# 前 言

《无机化学》是药学专业必修课考试辅导教材丛书中的一个分册,读者对象是高等医药院校药学和检验医学等各专业学生。同时,也可供讲授无机化学课程的教师 and 有关人员参考。

无机化学是我国高等医药院校各专业重要的基础理论课。它不仅给学生传授知识,并为后续课程做好准备,而且作为大学化学教育的主要内容,它还提供一种科学的思维方式,对如何思考,如何用所学知识解决实际问题,开发学生潜在的能动性和创造性起关键作用。目前,我国高等医药院校通常是在大学一年级第一学期开设无机化学课,由于内容多,学生学习往往不得要领。为了使学生学好无机化学,编写出一本针对药学特点的教学辅导教材,告诉学生应该掌握哪些内容,怎样正确理解和巩固加深所学的知识,以培养学生应用无机化学知识解决实际问题的能力,无疑是大有裨益的。

基于上述要求,应《药学专业必修课考试辅导教材》组委会之邀,哈尔滨医科大学徐春祥教授与其他高等医药院校无机化学教研室的同仁合作编写了这本书。本书以人民卫生出版社出版的《无机化学》(第四版)和哈尔滨医科大学徐春祥教授主编的教育科学“十五”国家规划课题研究成果《无机化学》(高等教育出版社出版)作为配套教材。全书分为十三章,内容包括溶液、化学反应速率、化学热力学初步、化学平衡、酸碱平衡、难溶电解质的沉淀溶解平衡、氧化还原、原子结构、分子结构、配位化合物、非金属元素、金属元素和过渡元素。各章均由下列四部分组成:

- (1) 教学基本要求:这一部分概括说明按教学大纲要求本章应学习的内容。
- (2) 本章要点:这一部分给出了本章应掌握的基本概念、定义、重要定理和常用公式,同时归纳总结出本章基本理论与方法之间的联系及重点和难点。
- (3) 习题解析:这一部分将教材中的习题全部进行了解答,通过分析示范,以解题方式体现教学内容的要求。辅导学生正确理解和掌握基本概念、基本理论和基本方法,培养学生应用化学知识解决实际问题的能力。
- (4) 补充习题:这一部分是针对各章内容经过仔细筛选的具有相应广度和深度的典型习题,所有习题均进行了解答,供学生学习时参考。

为了方便教师考试出题和学生复习考试,本书还精心编写了九套无机化学水平测试题。这九套测试题包括了无机化学期末考试的全部题型,所有试题均给出参考答案,供学生复习时参考。

由于水平所限,再加之时间仓促,本书一定会存在欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

徐春祥

2004年9月30日

于哈尔滨医科大学药学院

# 目 录

第一章 溶液 .....	1
第二章 化学反应速率 .....	12
第三章 化学热力学初步 .....	25
第四章 化学平衡 .....	35
第五章 酸碱平衡 .....	51
第六章 难溶电解质的沉淀溶解平衡 .....	68
第七章 氧化还原 .....	76
第八章 原子结构 .....	90
第九章 分子结构 .....	99
第十章 配位化合物 .....	112
第十一章 非金属元素 .....	126
第十二章 金属元素 .....	146
第十三章 过渡元素 .....	156
无机化学水平测试题(一) .....	176
无机化学水平测试题(二) .....	183
无机化学水平测试题(三) .....	194
无机化学水平测试题(四) .....	204
无机化学水平测试题(五) .....	209
无机化学水平测试题(六) .....	213
无机化学水平测试题(七) .....	219
无机化学水平测试题(八) .....	225
无机化学水平测试题(九) .....	232

# 第一章 溶 液

## 一、教学基本要求

1. 掌握溶液组成的各种表示方法,能熟练地进行相关计算和相互换算。
2. 了解难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降、沸点升高和凝固点降低的原因及其在日常生活中的应用。
3. 掌握产生渗透现象的条件和渗透压力的概念。
4. 掌握渗透压力和渗透浓度的计算,了解它们在医学和药学中的应用。
5. 掌握离子强度、活度因子和活度的计算。

## 二、本 章 要 点

### 1. 溶液组成的表示方法

#### (1) 质量分数

B 的质量分数定义为 B 的质量与混合物的质量之比:

$$w_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-1)$$

质量分数的单位是 1,可以用百分数表示。

#### (2) 摩尔分数

B 的摩尔分数定义为 B 的物质的量与混合物的物质的量之比:

$$x_B = \frac{n_B}{n} \quad (1-2)$$

摩尔分数的单位是 1。

#### (3) 质量摩尔浓度

溶质 B 的质量摩尔浓度定义为溶质 B 的物质的量除以溶剂 A 的质量:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (1-3)$$

质量摩尔浓度的 SI 单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

#### (4) 质量浓度

B 的质量浓度定义为 B 的质量除以混合物的体积:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-4)$$

质量浓度的 SI 单位为  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,其常用单位是  $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

#### (5) 物质的量浓度

B 的物质的量浓度定义为 B 的物质的量除以混合物的体积:

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-5)$$

物质的量浓度可以简称为浓度,其 SI 单位为  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ,其常用单位为  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

## 2. 难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降

液体的饱和蒸气所具有压力称为饱和蒸气压。在相同温度下,纯溶剂的蒸气压与难挥发非电解质稀溶液的蒸气压之差称为稀溶液的蒸气压下降。

拉乌尔指出:在一定温度下,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压等于纯溶剂的蒸气压乘以溶剂的摩尔分数:

$$p = p_A^* x_A \quad (1-6)$$

上式也可改写为:

$$\Delta p = p_A^* x_B \quad (1-7)$$

式(1-7)表明,难挥发非电解质稀溶液的蒸气压下降等于纯溶剂的蒸气压乘以溶质的摩尔分数。式(1-6)和式(1-7)是拉乌尔定律的两种不同表达形式。

## 3. 难挥发非电解质稀溶液的沸点升高

液体的蒸气压等于外界压力时的温度称为液体的沸点。由于难挥发非电解质稀溶液的蒸气压低于纯溶剂的蒸气压,因此其沸点高于纯溶剂。难挥发非电解质稀溶液的沸点与纯溶剂的沸点之差称为稀溶液的沸点升高。

难挥发非电解质稀溶液的沸点升高与溶质的质量摩尔浓度成正比:

$$\Delta T_b = k_b b_B \quad (1-8)$$

测定出难挥发非电解质稀溶液的沸点升高,可以计算难挥发非电解质的摩尔质量或相对分子质量,其计算公式为:

$$M_B = \frac{k_b m_B}{m_A \Delta T_b} \quad (1-9)$$

## 4. 非电解质稀溶液的凝固点降低

稀溶液与固态纯溶剂平衡共存时的温度称为稀溶液的凝固点。稀溶液中溶剂的蒸气压低于纯溶剂的蒸气压,因此稀溶液的凝固点也低于纯溶剂。纯溶剂的凝固点与稀溶液的凝固点之差称为稀溶液的凝固点降低。

非电解质稀溶液的凝固点降低与溶质的质量摩尔浓度成正比:

$$\Delta T_f = k_f b_B \quad (1-10)$$

测定出非电解质稀溶液的凝固点降低,可以计算溶质的摩尔质量或相对分子质量,其计算公式为:

$$M_B = \frac{k_f m_B}{m_A \Delta T_f} \quad (1-11)$$

## 5. 稀溶液的渗透压力

溶剂分子通过半透膜由纯溶剂进入溶液,或从渗透浓度较小的溶液进入渗透浓度较大的溶液的过程称为渗透。产生渗透的条件是有半透膜存在和半透膜两侧溶液的渗透浓度不同。

能产生渗透作用的溶质的分子和离子的总浓度称为溶液的渗透浓度。对于非电解质溶液,溶液的渗透浓度等于溶液的浓度;对于强电解质溶液,溶液的渗透浓度等于电解质解离产生的阳、阴离子的浓度的总和;对于弱电解质,溶液的渗透浓度等于未解离的弱电解质分子的浓度与弱电解质解离产生的阳、阴离子的浓度的总和。

为维持只允许溶剂分子通过的半透膜所隔开的溶液与纯溶剂之间的渗透平衡而需要的超额压力称为溶液的渗透压力。

稀溶液的渗透压力与溶液的渗透浓度和热力学温度的乘积成正比:

$$\Pi = c_{os, B} RT \quad (1-12)$$

渗透压力的 SI 单位为 Pa。

测定出稀溶液的渗透压力,可以计算高分子非电解质的摩尔质量或相对分子质量,其计算公式为:



$$M_b = \frac{m_b RT}{\Pi V} \quad (1-13)$$

两种溶液相比较,若它们的渗透压力(或渗透浓度)相等,则为等渗溶液;若它们的渗透压力(或渗透浓度)不相等,则渗透压力(或渗透浓度)较高的溶液称为高渗溶液,而渗透压力(或渗透浓度)较低的溶液称为低渗溶液。在医学上,等渗、高渗和低渗溶液是以血浆的渗透浓度为标准确定的。医学临床上规定渗透浓度在  $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围内的溶液为等渗溶液,渗透浓度大于  $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液为高渗溶液,渗透浓度小于  $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的溶液为低渗溶液。

### 6. 离子强度

溶液的离子强度定义为离子的电荷数的平方与离子的质量摩尔浓度的乘积的总和的一半:

$$I = \frac{1}{2} \sum z_b^2 b_b \quad (1-14)$$

离子强度的 SI 单位为  $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

在稀溶液中,离子强度通常表示为下列形式:

$$I = \frac{1}{2} \sum z_b^2 c_b \quad (1-15)$$

当离子强度以式(1-15)定义时,其常用单位为  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  等。

### 7. 活度和活度因子

对溶液中的溶质 B,活度定义为:

$$a_b = \gamma_b (b_b / b^\ominus) \quad (1-16)$$

式中:  $\gamma_b$  为溶质 B 的活度因子(也称活度系数),其单位为 1;  $b^\ominus$  为标准质量摩尔浓度,  $b^\ominus = 1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

对稀溶液中的溶质 B,其活度也常表示为:

$$a_{b,b} = \gamma_b (c_b / c^\ominus) \quad (1-17)$$

式中:  $\gamma_b$  为以溶质 B 的相对浓度表示的活度因子,其单位为 1;  $c^\ominus$  为标准浓度,  $c^\ominus = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

对于  $I < 0.01 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  或  $I < 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  的稀溶液,  $25^\circ\text{C}$  时溶质 B 的活度因子与离子强度之间的关系为:

$$\lg \gamma_b = -0.509 z_b^2 \sqrt{I} \quad (1-18)$$

式中,  $I$  为离子强度的数值。式(1-18)称为德拜-休克尔极限公式。

对离子强度较大的溶液,式(1-18)可修正为:

$$\lg \gamma_b = \frac{-0.509 z_b^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \quad (1-19)$$

## 三、习题解答

1. 计算下列几种常用试剂的物质的量浓度和摩尔分数:

(1) 质量分数为 37%, 密度  $d$  为  $1.19 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  的浓盐酸。

(2) 质量分数为 28%, 密度  $d$  为  $0.90 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  的浓氨水。

解: (1) 质量分数为 37% 的浓盐酸的浓度和 HCl 的摩尔分数分别为:

$$c(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{V_{\text{溶液}}} = \frac{m_{\text{溶液}} w(\text{HCl}) / M(\text{HCl})}{m_{\text{溶液}} / d_{\text{溶液}}} = \frac{m_{\text{溶液}} \times 37\% / 36.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{m_{\text{溶液}} / 1.19 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = 12 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$x(\text{HCl}) = \frac{n(\text{HCl})}{n(\text{HCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{m_{\text{溶液}} w(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}}{\frac{m_{\text{溶液}} [1 - w(\text{HCl})]}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{m_{\text{溶液}} w(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}} =$$

$$\frac{\frac{w(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}}{\frac{1-w(\text{HCl})}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{w(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}} = \frac{\frac{37\%}{36.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}}{\frac{1-37\%}{18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} + \frac{37\%}{36.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}} = 0.22$$

(2) 质量分数为 28% 的浓氨水的浓度和  $\text{NH}_3$  的摩尔分数分别为:

$$c(\text{NH}_3) = \frac{d_{\text{浓}} w(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)} = \frac{0.90 \times 10^3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \times 28\%}{17 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 15 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$x(\text{NH}_3) = \frac{\frac{w(\text{NH}_3)/M(\text{NH}_3)}{1-w(\text{NH}_3)} + \frac{w(\text{NH}_3)}{M(\text{H}_2\text{O})}}{\frac{w(\text{NH}_3)/M(\text{NH}_3)}{1-w(\text{NH}_3)} + \frac{w(\text{NH}_3)}{M(\text{H}_2\text{O})} + \frac{w(\text{NH}_3)}{M(\text{NH}_3)}} = \frac{28\%/17 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{\frac{1-28\%}{18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} + \frac{28\%}{17 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}} = 0.29$$

2. 烟草的有害成分尼古丁的实验式为  $\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$ , 今有 0.60 g 尼古丁溶于 12.0 g 水中, 所得溶液在 101.3 kPa 下的沸点是 373.16 K, 求尼古丁的分子式。

解: 尼古丁的摩尔质量为:

$$M_B = \frac{k_b m_B}{m_A \Delta T_b} = \frac{0.512 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 0.60 \text{ g}}{12.0 \text{ g} \times (373.16 \text{ K} - 373.00 \text{ K})} = 0.160 \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1} = 160 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

若尼古丁的分子式为  $(\text{C}_6\text{H}_7\text{N})_a$ , 则  $a$  为:

$$a = \frac{M[(\text{C}_6\text{H}_7\text{N})_a]}{M(\text{C}_6\text{H}_7\text{N})} = \frac{160 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{81 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 2$$

因此尼古丁的分子式为  $(\text{C}_6\text{H}_7\text{N})_2$ , 即  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$ 。

3.  $0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  萘的苯溶液、 $0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  尿素的水溶液、 $0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$  氯化钙的水溶液凝固点是否相同? 说明之。

解: 苯的凝固点为 278.65 K, 苯的凝固点降低系数为  $5.10 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; 水的凝固点为 273.15 K, 水的凝固点降低系数为  $1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。三种溶液的凝固点降低分别为:

$$\Delta T_{f,1} = 5.10 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1} = 0.255 \text{ K}$$

$$\Delta T_{f,2} = 1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1} = 0.093 \text{ K}$$

$$\Delta T_{f,3} = 1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times (3 \times 0.05 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}) = 0.279 \text{ K}$$

三种溶液的凝固点依次分别为:

$$T_{f,1} = 278.65 \text{ K} - 0.255 \text{ K} = 278.39 \text{ K}$$

$$T_{f,2} = 273.15 \text{ K} - 0.093 \text{ K} = 273.06 \text{ K}$$

$$T_{f,3} = 273.15 \text{ K} - 0.279 \text{ K} = 272.87 \text{ K}$$

计算表明, 三种溶液的凝固点不相同。

4. 四氢呋喃 ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ ) 曾被建议用作防冻剂, 应往相同质量的水中加多少克四氢呋喃才能使它的凝固点下降与加入 1.0 g 乙二醇 ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ ) 的作用相当?

解: 当两种非电解质水溶液的凝固点降低相同时, 则两种溶液中溶质的质量摩尔浓度相等。则有:

$$\frac{m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O})/M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)/M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)}{m(\text{H}_2\text{O})}$$

应往相同质量的水中加入四氢呋喃的质量为:

$$m(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}) = \frac{m(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)M(\text{C}_4\text{H}_8\text{O})}{M(\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2)} = \frac{1.0 \text{ g} \times 72 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}}{62 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 1.2 \text{ g}$$

5. 孕酮是一种雌性激素, 经分析得知其中含 9.5% H, 10.2% O 和 80.3% C。今有 1.50 g 孕酮试样溶于 10.0 g 苯中, 所得溶液的凝固点为 276.06 K, 求孕酮的分子式。

解: 孕酮的摩尔质量为:

$$M_b = \frac{k_f m_b}{m_A \Delta T_f} = \frac{5.10 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1.50 \text{ g}}{10.0 \text{ g} \times (278.5 \text{ K} - 276.06 \text{ K})} = 0.314 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 314 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

因此孕酮的相对分子质量为 314。

一个孕酮分子中所含 H, O, C 原子数分别为:

$$N(\text{H}) = \frac{M_{r,b} w(\text{H})}{A_r(\text{H})} = \frac{314 \times 9.5\%}{1} = 30$$

$$N(\text{O}) = \frac{M_{r,b} w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{314 \times 10.2\%}{16} = 2$$

$$N(\text{C}) = \frac{M_{r,b} w(\text{C})}{A_r(\text{C})} = \frac{314 \times 80.3\%}{12} = 21$$

因此,孕酮的分子式为  $\text{C}_{21}\text{H}_{30}\text{O}_2$ 。

6. 在水中,某蛋白质的饱和水溶液的质量浓度为  $5.18 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 293 K 时其渗透压为 0.413 kPa, 求此蛋白质的分子量。

解: 此蛋白质的摩尔质量为:

$$M_b = \frac{m_b RT}{V \Pi} = \frac{\rho_b RT}{\Pi} = \frac{5.18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{413 \text{ Pa}} = 30.6 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = 3.06 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

此蛋白质的相对分子质量为  $3.06 \times 10^4$ 。

7. 在 50 mL  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  尿素溶液中,需加入多少克葡萄糖( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )才能与血液等渗(血液凝固点为 272.44 K)。

解: 血液中溶质的渗透质量摩尔浓度为:

$$b_{os} = \frac{\Delta T_f}{k_f} = \frac{273.0 \text{ K} - 272.44 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.30 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

血液的渗透浓度为:

$$c_{os} = \frac{b_{os} c^\ominus}{b^\ominus} = \frac{0.30 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \times 1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1.0 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}} = 0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

混合溶液与血液等渗,说明尿素与葡萄糖的浓度之和与血液的渗透浓度相等。则有:

$$\frac{m_{\text{尿素}}/M_{\text{尿素}}}{V} + \frac{m_{\text{葡萄糖}}/M_{\text{葡萄糖}}}{V} = c_{os}$$

需加入葡萄糖的质量为:

$$m_{\text{葡萄糖}} = (c_{os} V - m_{\text{尿素}}/M_{\text{尿素}}) M_{\text{葡萄糖}} = (0.30 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.050 \text{ L} - \frac{10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.050 \text{ L}}{60 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}) \times 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 1.2 \text{ g}$$

8. 按下列三种要求,分别计算  $0.020 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  NaCl 溶液在 298 K 时的渗透压各是多少? 将计算值与实验值(约 85 kPa)进行比较。

(1) NaCl 完全电离,离子浓度按  $0.040 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$  计算;

(2) 利用公式  $\lg \gamma_b = -0.509 z_b^2 \sqrt{\{I\}}$  求活度,计算渗透压力;

(3) 利用公式  $\lg \gamma_b = -0.509 z_b^2 \frac{\sqrt{\{I\}}}{1 + \sqrt{\{I\}}}$  求活度,计算渗透压力。

解: (1) 298 K 时,溶液的渗透压力为:

$$\begin{aligned} \Pi &= c_{os}(\text{NaCl}) RT = [c(\text{Na}^+) + c(\text{Cl}^-)] RT = \\ &2 \times 0.020 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K} = 99 \text{ kPa} \end{aligned}$$

由于没有考虑阳、阴离子之间的相互作用,因此计算值与实验值相差较大。

(2) 溶液的离子强度为:

$$I = \frac{1}{2} \times [b(\text{Na}^+)z^2(\text{Na}^+) + b(\text{Cl}^-)z^2(\text{Cl}^-)] =$$

$$\frac{1}{2} \times [0.020 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \times (+1)^2 + 0.020 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \times (-1)^2] = 0.020 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

离子的活度因子为:

$$\lg \gamma(\text{Na}^+) = \lg \gamma(\text{Cl}^-) = -0.509 [z(\text{Na}^+)]^2 \sqrt{I} = -0.509 \times (+1)^2 \times \sqrt{0.020} = -0.072$$

$$\gamma(\text{Na}^+) = \gamma(\text{Cl}^-) = 0.85$$

利用活度计算,溶液的渗透压力为:

$$\Pi = [\gamma(\text{Na}^+)c(\text{Na}^+) + \gamma(\text{Cl}^-)c(\text{Cl}^-)]RT =$$

$$(20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.85 + 20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.85) \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K} = 84 \text{ kPa}$$

用活度计算,计算值与实验值非常接近。

(3) 离子的活度因子为:

$$\lg \gamma(\text{Na}^+) = \lg \gamma(\text{Cl}^-) = -0.509 [z(\text{Na}^+)]^2 \frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} =$$

$$-0.509 \times (+1)^2 \times \frac{\sqrt{0.020}}{1 + \sqrt{0.020}} = -0.063$$

$$\gamma(\text{Na}^+) = \gamma(\text{Cl}^-) = 0.86$$

溶液的渗透压力为:

$$\Pi = [\gamma(\text{Na}^+)c(\text{Na}^+) + \gamma(\text{Cl}^-)c(\text{Cl}^-)]RT =$$

$$(20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.86 + 20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 0.86) \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298 \text{ K} = 85 \text{ kPa}$$

用准确公式计算求算活度因子,所得计算值与实验值完全一致。

比较(2)、(3)的计算结果,可以看出,对于稀溶液,利用近似求算活度因子的公式进行计算,相对误差很小,足以满足计算的要求。

9. 人体眼液的渗透压 37°C 时约为 770 kPa。市售的某种眼药水是由下列四种物质配制而成: 5.00 g  $\text{ZnSO}_4$ , 17.00 g  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (硼酸), 0.20 g 盐酸黄连素和 0.008 g 盐酸普鲁卡因溶于水并稀释到 1000 mL。若设  $\text{ZnSO}_4$  完全电离,硼酸是一元弱酸几乎不电离,黄连素和普鲁卡因含量少忽略不计,计算该眼药水的渗透压力是多少? 比较考虑和不考虑活度因子的两种计算结果。

解: 溶液中  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  的浓度分别为:

$$c(\text{ZnSO}_4) = \frac{5.00 \text{ g} / 161.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1.00 \text{ L}} = 0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{H}_3\text{BO}_3) = \frac{17.00 \text{ g} / 61.8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{1.00 \text{ L}} = 0.275 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(1) 用离子的活度进行计算:

离子强度为:

$$I = \frac{1}{2} \times [c(\text{Zn}^{2+}) \cdot z^2(\text{Zn}^{2+}) + c(\text{SO}_4^{2-}) \cdot z^2(\text{SO}_4^{2-})] =$$

$$\frac{1}{2} \times [0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times (+2)^2 + 0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times (-2)^2] = 0.124 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

离子的活度因子为:

$$\lg \gamma(\text{Zn}^{2+}) = \lg \gamma(\text{SO}_4^{2-}) = -0.509 \times (+2)^2 \times \frac{\sqrt{0.124}}{1 + \sqrt{0.124}} = -0.530$$

$$\gamma(\text{Zn}^{2+}) = \gamma(\text{SO}_4^{2-}) = 0.295$$

溶液的渗透压力为:

$$\begin{aligned}\Pi &= [\gamma(\text{Zn}^{2+})c(\text{Zn}^{2+}) + \gamma(\text{SO}_4^{2-})c(\text{SO}_4^{2-}) + c(\text{H}_3\text{BO}_3)]RT = \\ & (2 \times 0.295 \times 0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + 0.275 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}) \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} = 756 \text{ kPa}\end{aligned}$$

(2) 用离子的浓度计算:

溶液的渗透压力为:

$$\begin{aligned}\Pi &= [c(\text{Zn}^{2+}) + c(\text{SO}_4^{2-}) + c(\text{H}_3\text{BO}_3)]RT = \\ & (0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + 0.0310 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} + 0.0275 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}) \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} = \\ & 868 \text{ kPa}\end{aligned}$$

## 四、补充习题

1. 在 90 g 质量分数为 0.15 的 NaCl 溶液里加入 10 g 水或 10 g NaCl 晶体, 分别计算用这两种方法配制的 NaCl 溶液中 NaCl 的质量分数。

解: 加入 10 g 水后, NaCl 的质量分数为:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{NaCl}) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{90 \text{ g} \times 0.15}{90 \text{ g} + 10 \text{ g}} = 0.135$$

加入 10 g NaCl 晶体后, NaCl 的质量分数为:

$$w(\text{NaCl}) = \frac{90 \text{ g} \times 0.15 + 10 \text{ g}}{90 \text{ g} + 10 \text{ g}} = 0.235$$

2. 25 °C 时, 将 50 mL 水与 150 mL 乙醇混合, 所得乙醇溶液的体积为 193 mL。试计算此乙醇溶液中乙醇的体积分数。

解: 乙醇的体积分数为:

$$\varphi_{\text{乙醇}} = \frac{V_{\text{乙醇}}^*}{V_{\text{水}}^* + V_{\text{乙醇}}^*} = \frac{150 \text{ mL}}{50 \text{ mL} + 150 \text{ mL}} = 0.75$$

3. 10.00 mL NaCl 饱和溶液的质量为 12.00 g, 将其蒸干后得 3.17 g NaCl 晶体。计算:

- (1) 此饱和溶液中 NaCl 的质量浓度;
- (2) 此饱和溶液中 NaCl 的浓度;
- (3) 此饱和溶液中 NaCl 和 H<sub>2</sub>O 的摩尔分数;
- (4) 此饱和溶液中溶质 NaCl 的质量摩尔浓度。

解: (1) NaCl 的质量浓度为:

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V(\text{NaCl})} = \frac{3.17 \text{ g}}{0.01000 \text{ L}} = 317 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

(2) NaCl 的浓度为:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{317 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 5.42 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(3) NaCl 和 H<sub>2</sub>O 的摩尔分数分别为:

$$x(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{n(\text{NaCl}) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.17 \text{ g} / 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{\frac{3.17 \text{ g}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{12.00 \text{ g} - 3.17 \text{ g}}{18.0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 0.10$$

$$x(\text{H}_2\text{O}) = 1 - x(\text{NaCl}) = 1 - 0.10 = 0.90$$

(4) NaCl 的质量摩尔浓度为:

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{3.17 \text{ g} / 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(12.00 - 3.17) \times 10^{-3} \text{ kg}} = 6.14 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

4. 医学临床上静脉注射用 KCl 溶液的极限质量浓度是  $2.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 如果在 250 mL 葡萄糖溶液中加入 1 安瓿 (10 mL)  $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  KCl 溶液。所得混合溶液中 KCl 的质量浓度是否超过了极限值?

解: 混合溶液中 KCl 的质量浓度为:

$$\rho(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{V_{\text{溶液}}} = \frac{100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.010 \text{ L}}{0.250 \text{ L} + 0.010 \text{ L}} = 3.8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} > 2.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

所得混合溶液中 KCl 的质量浓度超过极限值。

5. 正常人血浆中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  的浓度分别是  $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $27 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 化验测得某病人血浆中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  的质量浓度分别是  $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。试通过计算判断该病人血浆中这两种离子的浓度是否正常。

解: 该病人血浆中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  离子的浓度分别为:

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{\rho(\text{Ca}^{2+})}{M(\text{Ca}^{2+})} = \frac{300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{40 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} = 7.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = \frac{\rho(\text{HCO}_3^-)}{M(\text{HCO}_3^-)} = \frac{1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{61 \text{ mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} = 1.6 \times 10^{-2} \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

该病人血浆中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{HCO}_3^-$  离子的浓度均不正常。

6. 某患者需用 500 mL  $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液, 若用  $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液和  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液进行配制, 需要这两种溶液的体积各为多少?

解: 若需要  $500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液和  $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液的体积分别为  $V_1$  和  $V_2$ , 则有:

$$\begin{cases} 500 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times V_1 + 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times V_2 = 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.50 \text{ L} \\ V_1 + V_2 = 0.50 \text{ L} \end{cases}$$

$$V_1 = 0.056 \text{ L} = 56 \text{ mL}$$

$$V_2 = 500 \text{ mL} - 56 \text{ mL} = 444 \text{ mL}$$

7. 某患者需补充  $0.050 \text{ mol Na}^+$ , 应补充 NaCl 的质量为多少? 如果采用生理氯化钠溶液(质量浓度为  $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ )进行补充, 需要生理氯化钠溶液的体积为多少?

解: 应补 NaCl 的质量为:

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl})M(\text{NaCl}) = n(\text{Na}^+)M(\text{NaCl}) = 0.050 \text{ mol} \times 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 2.93 \text{ g}$$

所需生理氯化钠溶液的体积为:

$$V(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{\rho(\text{NaCl})} = \frac{2.93 \text{ g}}{9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}} = 0.325 \text{ L} = 325 \text{ mL}$$

8. 在 298.15 K 时, 质量分数为 9.47% 的稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的密度为  $1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 在该温度下纯水的密度为  $997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。计算:

(1) 此稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中溶质  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的质量摩尔浓度;

(2) 此稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的浓度;

(3) 此稀  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液中  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的摩尔分数。

解: (1)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的质量摩尔浓度为:

$$b(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\% / 98 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{m_{\text{溶液}} \times (1 - 9.47\%)} = 1.07 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

(2)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  溶液的浓度为:

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{溶液}}} = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m_{\text{溶液}} / \rho_{\text{溶液}}} = \frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\% / 98 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{m_{\text{溶液}} / 1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}} =$$

$$1.02 \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} = 1.02 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

(3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  的摩尔分数为:

$$x(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{H}_2\text{SO}_4) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\%}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{m_{\text{溶液}} \times 9.47\%}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 9.47\%)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 1.89 \times 10^{-2}$$

9. 一由两种组分组成的溶液,若用  $x_B$  代表溶质 B 的摩尔分数,  $b_B$  代表溶质 B 的质量摩尔浓度,  $c_B$  代表 B 的浓度。

(1) 试证明这三种组成标度之间有如下的关系:

$$x_B = \frac{c_B M_A}{\rho - c_B(M_B - M_A)} = \frac{b_B M_A}{1.0 + b_B M_A}$$

式中:  $\rho$  为溶液的密度;  $M_A$  和  $M_B$  分别为溶剂 A 和溶质 B 的摩尔质量。

(2) 证明当溶液很稀时,有如下的关系:

$$x_B = \frac{c_B M_A}{\rho_A} = b_B M_A$$

式中,  $\rho_A$  为溶剂 A 的密度。

证明: (1) 由摩尔分数定义:

$$\begin{aligned} x_B &= \frac{n_B}{n_B + n_A} = \frac{c_B V_{\text{溶液}}}{c_B V_{\text{溶液}} + (V_{\text{溶液}} \rho - c_B V_{\text{溶液}} M_B) / M_A} = \\ &= \frac{c_B}{c_B + (\rho - c_B M_B) / M_A} = \frac{c_B M_A}{c_B M_A + \rho - c_B M_B} = \frac{c_B M_A}{\rho - c_B(M_B - M_A)} \\ x_B &= \frac{n_B}{n_B + n_A} = \frac{n_B / m_A}{(n_B / m_A) + (n_A / m_A)} = \frac{b_B}{b_B + (1 / M_A)} = \frac{b_B M_A}{1 + b_B M_A} \end{aligned}$$

(2) 当溶液很稀时,  $c_B \rightarrow 0$ ,  $\rho \rightarrow \rho_A$ ,  $b_B \rightarrow 0$ 。则:

$$\begin{aligned} x_B &= \frac{c_B M_A}{\rho - c_B(M_B - M_A)} = \frac{c_B M_A}{\rho_A} \\ x_B &= \frac{b_B M_A}{1 + b_B M_A} = b_B M_A \end{aligned}$$

10. 25 °C 时水的蒸气压为 133.3 Pa,若一甘油水溶液中甘油的质量分数为 0.100,该溶液的蒸气压为多少?

解: 25 °C 时,质量分数为 0.100 的甘油水溶液的蒸气压为:

$$p = p^*(\text{H}_2\text{O}) \cdot x(\text{H}_2\text{O}) = \frac{p^*(\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n_{\text{甘油}}} = \frac{133.3 \text{ Pa} \times \frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 0.100)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}}{\frac{m_{\text{溶液}} \times (1 - 0.100)}{18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} + \frac{m_{\text{溶液}} \times 0.100}{92 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}} = 130.5 \text{ Pa}$$

11. 从某种植物中分离出一种未知结构的有抗白血球增多症的生物碱,为了测定其相对分子质量,将 19.0 g 该物质溶于 100 g 水中,测得溶液的沸点升高了 0.060 K,凝固点降低了 0.220 K。计算该生物碱的相对分子质量。

解: (1) 利用沸点升高进行计算。该生物碱的摩尔质量为:

$$M_B = \frac{k_b m_b}{m_A \Delta T_b} = \frac{0.512 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 19.0 \text{ g}}{100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 0.060 \text{ K}} = 1.6 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

(2) 利用凝固点降低进行计算。该生物碱的摩尔质量为:

$$M_B = \frac{k_f m_b}{m_A \Delta T_f} = \frac{1.86 \text{ K} \cdot \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1} \times 19.0 \text{ g}}{100 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 0.220 \text{ K}} = 1.6 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

当摩尔质量的单位为  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  时,摩尔质量在数值上等于相对分子质量。因此该生物碱的相对分子质量为  $1.6\times 10^3$ 。

12. 有几种昆虫能够耐寒,是由于这些昆虫的血液中含有大量的甘油。已知某种寄生黄蜂的血液中甘油的质量分数大约为 0.30,试估算这种黄蜂的血液的凝固点。

解: 这种黄蜂的血液的凝固点降低为:

$$\Delta T_f = k_f b_{\text{甘油}} = \frac{k_f m_{\text{血液}} w_{\text{甘油}} / M_{\text{甘油}}}{m_{\text{血液}} (1 - w_{\text{甘油}})} = \frac{k_f w_{\text{甘油}}}{M_{\text{甘油}} (1 - w_{\text{甘油}})} = \frac{1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times 0.30}{92 \times 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1} \times (1 - 0.30)} = 8.7 \text{ K} = 8.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

这种黄蜂的血液的凝固点约为:

$$T_f = T_f^* - \Delta T_f = 0 \text{ }^\circ\text{C} - 8.7 \text{ }^\circ\text{C} = -8.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

13. 人体血液的凝固点为 272.59 K, 计算在正常体温下血液的渗透压力。

解: 人体血液的质量渗透摩尔浓度为:

$$b_{\text{os}} = \frac{\Delta T_f}{k_f} = \frac{273.15 \text{ K} - 272.59 \text{ K}}{1.86 \text{ K}\cdot\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.301 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}$$

正常体温下血液的渗透压力为:

$$\begin{aligned} \Pi &= c_{\text{os}} RT = \frac{b_{\text{os}} c^{\ominus}}{b^{\ominus}} RT = \\ &= \frac{0.301 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1} \times 1.0 \times 10^3 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-3}}{1.0 \text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}} \times 8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 310.15 \text{ K} = \\ &= 7.76 \times 10^5 \text{ Pa} = 776 \text{ kPa} \end{aligned}$$

14. 蛙肌细胞内液的渗透浓度为  $240 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 若把蛙肌细胞分别置于质量浓度分别为  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液中, 将各呈什么形态?

解:  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液的渗透浓度分别为:

$$c_{\text{os1}}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.342 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 342 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c_{\text{os2}}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.240 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 240 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$c_{\text{os3}}(\text{NaCl}) = 2 \times \frac{3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}} = 0.103 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 103 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$$

与蛙肌细胞内液相比较,  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液分别为高渗溶液、等渗溶液和低渗溶液。若将蛙肌细胞分别置于  $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $7 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl 溶液中, 蛙肌细胞的形态分别为皱缩、正常和膨胀。

15. 把  $100 \text{ mL } 9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  生理盐水和  $100 \text{ mL } 50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  葡萄糖溶液混合, 与血浆相比较, 此混合溶液是高渗溶液、低渗溶液或等渗溶液?

解: 混合溶液的渗透浓度为:

$$\begin{aligned} c_{\text{os}} &= c_{\text{os}}(\text{NaCl}) + c_{\text{葡萄糖}} = \\ &= 2 \times \frac{9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \times 100 \text{ mL}}{58.5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \times (100 + 100) \text{ mL}} + \frac{50 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \times 100 \text{ mL}}{180 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} \times (100 + 100) \text{ mL}} = \\ &= 0.293 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 293 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1} \end{aligned}$$

正常血浆的渗透浓度为  $280 \sim 320 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 与血浆相比较, 此混合溶液为等渗溶液。

16. 树身内部树汁的上升是由渗透压力差造成的。若树汁为  $0.20 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  糖溶液, 树汁小管外部水溶液的渗透浓度为  $0.010 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。已知  $10.2 \text{ cm}$  水柱产生的压力为  $1 \text{ kPa}$ , 试估算  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  时树汁上升的



高度。

解：渗透压力差为：

$$\Delta \Pi = \Delta c_{\text{os}} RT = (0.20 - 0.010) \times 10^3 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K} = 4.63 \times 10^5 \text{ Pa}$$

293.15 K 时树汁上升的高度为：

$$h = \frac{4.63 \times 10^5 \text{ Pa}}{1000 \text{ Pa}} \times 10.2 \text{ cm} = 4.72 \times 10^3 \text{ cm} = 47.2 \text{ m}$$

17. 已知血液中蛋白质 ( $M = 6.6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) 的质量浓度为  $70 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ，试计算毛细血管壁所间隔的血液与组织液 (与血液的差别是不含蛋白质) 之间的渗透压力的差值。

解：血液与组织液间的渗透压力差值为：

$$\Delta \Pi = \Delta c_{\text{os}} RT = c_{\text{蛋白质}} RT = \frac{70 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{6.6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} = 2.73 \text{ kPa}$$

18. 糖尿病人和健康人的血浆中葡萄糖的质量浓度分别为  $1.80 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $0.85 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。假定糖尿病人与健康人血浆的渗透压力的差异仅仅是由于糖尿病人血浆中含有较高浓度的葡萄糖，试计算在体温  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  时此渗透压力的差值。

解：糖尿病患者和健康人在正常体温时的渗透压力差为：

$$\Delta \Pi = \Delta c_{\text{葡萄糖}} RT = \frac{(1.80 - 0.85) \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K} = 13.6 \text{ kPa}$$

19. 将  $5.0 \text{ g}$  鸡蛋白溶于水并配制成  $1.0 \text{ L}$  溶液， $25 \text{ }^\circ\text{C}$  时测得该溶液的渗透压力为  $306 \text{ Pa}$ ，计算鸡蛋白的相对分子质量。

解：鸡蛋白的摩尔质量为：

$$M_{\text{B}} = \frac{m_{\text{B}} RT}{\Pi V} = \frac{5.0 \text{ g} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K}}{306 \text{ Pa} \times 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 4.05 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

因此鸡蛋白的相对分子质量为  $4.05 \times 10^4$ 。

20. 将一动物肌肉内的某种细胞置于  $7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  NaCl 溶液中，该细胞既不膨胀也不皱缩。计算该细胞在  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  时的渗透压力。

解：该细胞内液在  $298.15 \text{ K}$  时的渗透压力为：

$$\Pi = c_{\text{os}} RT = c_{\text{os}}(\text{NaCl}) RT = 2 \times \frac{7 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 298.15 \text{ K} = 593 \text{ kPa}$$

21. 密闭钟罩内放有两杯溶液，甲杯中含  $1.68 \text{ g}$  蔗糖 ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) 和  $20.00 \text{ g}$  水，乙杯中含  $2.45 \text{ g}$  某非电解质和  $20.00 \text{ g}$  水。在恒温下放置足够长时间达到平衡，甲杯水溶液的质量变为  $24.90 \text{ g}$ ，求该非电解质的摩尔质量。

解：达到平衡后，甲杯和乙杯中水的质量分别为：

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{甲}} = 24.90 \text{ g} - 2.45 \text{ g} = 22.45 \text{ g}$$

$$m(\text{H}_2\text{O})_{\text{乙}} = 20.00 \text{ g} - (22.45 \text{ g} - 20.00 \text{ g}) = 17.55 \text{ g}$$

由拉乌尔定律可知，达平衡后两杯溶液中水的摩尔分数相等。则有：

$$\frac{22.45 \text{ g} / 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{22.45 \text{ g} + 1.68 \text{ g}} = \frac{17.55 \text{ g} / 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{17.55 \text{ g} + 2.45 \text{ g}} = \frac{17.55 \text{ g} / 18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{18.02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} + \frac{2.45 \text{ g}}{M_{\text{B}}}}$$

由上式解得：

$$M_{\text{B}} = 640 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

该非电解质的摩尔质量为  $640 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(四川大学 骆鑫)