

博雅系列精品教材

全国高等医学院校规划教材

医用 基础化学

Basic Chemistry for
Higher Medical Education

主编 刘永民

供临床、麻醉、影像、口腔、检验、
预防、药学、护理等专业使用



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

博雅系列教材

医用基础化学

(供临床、麻醉、影像、口腔、检验、预防、药学、护理等专业使用)

主 编 刘永民

副主编 张荣丽 王 静



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

内 容 提 要

本书根据医学等专业本科生的培养目标和要求进行编写,内容为生命科学及相关专业学生必须掌握的基础化学的基本理论、基本知识和最新进展。全书分 13 章:稀溶液的依数性、电解质溶液和离子平衡、缓冲溶液、胶体溶液、化学热力学、化学动力学、电极电位、原子结构、分子结构、配位化合物、滴定分析法、紫外-可见吸收光谱法和元素与健康。注重基础化学与医学、药学的结合。每章开头设有学习目标,章后有本章小结、练习题,文后附有参考答案,教师便于教,学生便于学。

本书可供高等医学院校的临床医学、药学、麻醉学、影像学、检验、预防、口腔、全科医学、护理等专业作为基础化学教材,亦可作为教师教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

医用基础化学/刘永民主编. —上海:第二军医大学出版社,2013. 10

ISBN 978 - 7 - 5481 - 0700 - 2

I. ①医… II. ①刘… III. ①医用化学—高等学校—教材 IV. ①R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 225724 号

出 版 人 陆小新

责任编辑 画 恒 高 标

医用基础化学

主 编 刘永民

第二军医大学出版社出版发行

<http://www.smmup.cn>

上海市翔殷路 800 号 邮政编码:200433

发行科电话/传真:021-65493093

全国各地新华书店经销

上海华教印务有限公司印刷

开本:787×1092 1/16 印张:16.75 字数:450 千字

2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5481 - 0700 - 2/R • 1469

定价:41.00 元

本书编委会

主 编 刘永民

副主编 张荣丽 王 静

编 委 (按姓氏笔划为序)

于素华 扬州大学

王 静 徐州医学院

吕晓萌 江苏大学

刘永民 徐州医学院

李银保 赣南医学院

陈建华 南通大学

陈栋勤 徐州医学院

张荣丽 徐州医学院

杨俊松 蚌埠医学院

赵丽艳 河北北方学院

贺艳斌 长治医学院

温相如 徐州医学院

温儒宝 徐州医学院

路秋丽 徐州医学院

前 言

化学一直是医学、药学和生物学的重要基础课。特别是 21 世纪以来,分子生物学、分子医学、蛋白组学、遗传组学和代谢组学等的相继出现和飞速发展,标志着生命科学的研究已进入分子水平,因而化学的重要性日益突出。为适应课程改革和教学新形势的需要,我们学习研究了国内外化学先进教材,吸取了经验和成果,编写了这套医药院校用化学系列教材,《医用基础化学》、《医用有机化学》和《医用化学实验》共三本。前两本是理论课教材,后一本是实验课教材。

这套教材注重体现教材的基本理论、基本知识和基本技能的特点,坚持教材的思想性、科学性、先进性、启发性、适应性原则,根据教学要求,适应教学对象,尽量选材适当,条理分明、语句简洁,使教师好教,学生易学。

理论教材《医用基础化学》和《医用有机化学》每章由学习目标、章节正文、本章小结和练习题组成。内容上循序渐进、由浅入深、举一反三、触类旁通。实验教材《医用化学实验》分为实验绪论、基础实验、有机实验和附录四部分,内容上由验证性实验、设计性实验和探索性实验组成,部分实验有英文版,适于双语教学。

《医用基础化学》不计绪论,全书共十三章:稀溶液的依数性、电解质溶液和离子平衡、缓冲溶液、胶体溶液、化学热力学、化学动力学、电极电位、原子结构、分子结构、配位化合物、滴定分析法、紫外-可见吸收光谱法和元素与健康。学时安排可在 50~60 学时。

值《医用基础化学》的出版,感谢江苏大学谢吉民教授百忙中对全书文稿的认真审阅和宝贵建议!感谢第二军医大学出版社和徐州医学院学报编辑部的大力支持!并衷心希望各位读者给予批评指正。

编 者

2013 年 5 月

目 录

绪 论	(1)
第一节 基础化学课程的意义	(1)
第二节 科学记数法和有效数字	(2)
第三节 溶液的组成标度	(4)
练习题	(7)
第一章 稀溶液的依数性	(9)
第一节 溶液的蒸气压下降	(9)
第二节 溶液的沸点升高	(11)
第三节 溶液的凝固点降低	(12)
第四节 溶液的渗透压力	(13)
本章小结	(19)
练习题	(20)
第二章 电解质溶液和离子平衡	(22)
第一节 强电解质溶液理论	(22)
第二节 酸碱质子理论	(24)
第三节 酸碱溶液 pH 的计算	(30)
第四节 难溶强电解质的多相离子平衡	(34)
本章小结	(40)
练习题	(41)
第三章 缓冲溶液	(44)
第一节 缓冲溶液及缓冲原理	(44)
第二节 缓冲溶液 pH 的计算	(46)
第三节 缓冲容量和缓冲范围	(49)
第四节 缓冲溶液的配制	(51)
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	(54)
本章小结	(55)
练习题	(56)
第四章 胶体溶液	(59)
第一节 乳状液	(59)

第二节 溶胶	(62)
第三节 大分子溶液与凝胶	(67)
本章小结	(70)
练习题	(71)
第五章 化学热力学	(73)
第一节 热力学的基本概念	(73)
第二节 化学反应的能量	(76)
第三节 化学反应的方向	(83)
第四节 化学反应的限度和化学平衡	(87)
第五节 化学平衡的移动	(89)
本章小结	(91)
练习题	(92)
第六章 化学动力学	(94)
第一节 化学反应速率及其表示方法	(94)
第二节 化学反应速率理论简介	(96)
第三节 浓度与化学反应速率的关系	(99)
第四节 温度与化学反应速率的关系	(105)
第五节 催化剂与化学反应速率的关系	(106)
本章小结	(108)
练习题	(109)
第七章 电极电位	(111)
第一节 原电池	(111)
第二节 电极电位	(115)
第三节 能斯特方程式及影响电极电位的因素	(118)
第四节 电极电位和电池电动势的应用	(121)
本章小结	(126)
练习题	(126)
第八章 原子结构	(129)
第一节 核外电子运动状态及特征	(129)
第二节 氢原子的波函数和量子数	(133)
第三节 多电子原子的核外电子排布	(140)
第四节 原子的电子组态与元素周期表	(142)
本章小结	(147)
练习题	(148)
第九章 分子结构	(150)
第一节 现代价键理论	(150)

第二节 杂化轨道理论	(154)
第三节 价层电子对互斥理论	(158)
第四节 分子轨道理论	(159)
第五节 分子间作用力	(164)
本章小结	(169)
练习题	(170)
第十章 配位化合物	(172)
第一节 配合物的基本概念	(172)
第二节 配合物的化学键理论	(175)
第三节 螯合物	(183)
第三节 配位平衡	(185)
本章小结	(189)
练习题	(190)
第十一章 滴定分析法	(192)
第一节 滴定分析概述	(192)
第二节 分析结果的误差	(195)
第三节 酸碱滴定法	(199)
第四节 氧化还原滴定法	(208)
第五节 配位滴定法	(210)
本章小结	(212)
练习题	(213)
第十二章 紫外-可见吸收光谱法	(216)
第一节 吸收光谱法基本原理	(216)
第二节 紫外-可见吸收光谱法	(219)
本章小结	(221)
练习题	(222)
第十三章 元素与健康	(225)
第一节 常量元素和微量元素	(225)
第二节 生命元素的生理功能	(227)
第三节 污染元素	(232)
练习题	(234)
附录 1 一些物理和化学的基本常数和单位换算	(235)
附录 2 弱电解质在水中的解离常数(质子传递平衡常数)	(236)
附录 3 一些难溶化合物的溶度积常数(298.15 K)	(238)
附录 4 一些物质的热力学数据	(240)
附录 5 常见食物能的热量含量(每 100 g)	(243)

附录 6 一些化学反应的活化能	(244)
附录 7 标准电极电位表(298.15 K)	(245)
附录 8 金属配合物的稳定常数	(247)
附录 9 我国的法定计量单位	(250)
附录 10 希腊字母表	(253)
参考答案	(254)
参考文献	(258)

绪 论

第一节 基础化学课程的意义

一、化学发展史

自从有了人类,化学便与人类结下了不解之缘。钻木取火、火烧食物、烧制陶器和冶炼金属等,都含有化学方法和技术的应用。正是这些应用,极大地促进了社会生产力的发展,成为人类进步的标志。今天,化学作为一门基础和中心学科,在科学技术、社会生活和现代文明的方方面面正起着越来越大的作用。从古至今,伴随着人类社会的进步,化学发展史经历了以下几个时期。

1. 古代化学时期 古代化学时期即炼丹术和医药化学时期,从公元前 1500 年到公元 1650 年,炼丹术士和炼金术士们,为求得长生不老的仙丹,为求得荣华富贵的黄金,开始了最早的化学实验。在中国、阿拉伯、埃及、希腊有许多记载炼丹术的书籍。这一时期积累了许多物质间的化学变化,为化学的进一步发展准备了丰富的素材。后来,炼丹术、炼金术几经盛衰,使人们更多地看到了它不合理一面,而合理的一面,化学方法和技术转而在医药和冶金方面得到了正当发挥。在欧洲文艺复兴时期,出版了一些有关化学的书籍,第一次有了“化学”这个名词。英语的 chemistry 起源于 alchemy,即炼金术。chemist 至今还保留着两个相关的含义:化学家和药剂师。

2. 近代化学时期 近代化学时期即定量化学时期,1775 年前后,拉瓦锡用定量化学实验阐述了燃烧的氧化学说,开创了定量化学时期。这一时期建立了不少化学基本定律,提出了原子学说,发现了元素周期律,发展了有机结构理论,指明化学(chemistry)是在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的自然科学。至 19 世纪末,化学形成了以下四大分支。

- (1) 无机化学 研究所有元素的单质及其化合物(碳氢化合物及其衍生物除外)。
- (2) 有机化学 研究碳氢化合物及其衍生物。
- (3) 分析化学 研究物质成分的测定方法和原理。
- (4) 物理化学 运用物理学的原理和实验方法研究物质化学变化的基本规律。

所有这一切都为现代化学的发展奠定了坚实的基础。

3. 现代化学时期 现代化学时期即科学相互渗透时期。20 世纪初,量子论的发展使化学和物理学有了共同的语言,解决了化学上许多悬而未决的问题。同时化学又与其他学科之间相互渗透,相互融合,化学学科内部各分支学科之间也相互交叉,不断形成许多新的边缘学科和应用学科,如生物化学、环境化学、食品化学、药物化学、农业化学、量子化学、结构化学、高分子化学等等。

从 20 世纪后期起,化学进入了一个崭新的发展阶段,主要表现为从描述性的科学向推理性的科学过渡,从静态向动态、从定性向定量发展,从宏观向微观深入。化学的发展必将对诸如生命科学、环境保护、能源开发、新材料的合成等世人瞩目的重大课题的研究起到重要作用。化学已被公认是一门中心科学。

二、化学与医学的关系

古希腊用柳树皮中的水杨酸为患者解热镇痛。

16 世纪就提出制造药物来医治疾病。

1800 年, Davy 发现了 N_2O 的麻醉作用后来有更多更好的麻醉药被应用于临床。

1932 年, Domagk 发现一种偶氮磺胺染料可以治疗细菌性败血症。此后, 制备了许多新型的磺胺药物, 开创了今天的抗生素领域。

现代医学与化学的关系更加密切。人体内许多生理、病理现象, 如消化、呼吸、排泄等都包含复杂的化学变化。人体的基本营养物质糖类、脂肪、蛋白质、无机盐等的代谢同样也遵循化学的基本原理和规律。在疾病诊断、治疗过程中, 需要进行化验和用药, 如测定血、尿等生物标本中某些成分的含量, 所用药物的结构、化学性质、纯度等对药理作用、毒副作用的影响以及药物间的配伍等。在卫生监督、疾病预防等方面, 如饮水分析、食品检验、环境监测等都需要化学。随着科技的进步, 现代医学已经逐渐发展到了分子层次, 成为分子医学, 化学的研究成果对此起了重要的推动作用。

三、医用化学的内容和学习方法

医用基础化学前四章内容是稀溶液的依数性、电解质溶液和离子平衡、缓冲溶液和胶体溶液, 是生理学、病理学有关知识和概念的基础。接着三章是化学热力学、化学动力学和电极电位, 是生理学、病理学和药理学有关知识和概念的基础。然后三章是原子结构、分子结构和配位化合物, 是有机化学、分子生物学有关知识和概念的基础, 然后两章是滴定分析法、紫外-可见吸收光谱法, 是临床分析和实验技能基础。最后一章是元素与健康, 从化学元素的角度, 看人体健康问题。

大学课程的特点是内容多, 容量大, 进度快。作为学生应从思想上、行动上适应这种情况, 主动学习、带着问题学习, 养成良好的学习习惯。上课前预习该章内容乃至全书内容。课上认真听讲, 积极思辨乃至发言, 理解概念、公式和原理。课后及时复习, 勇于讨论, 掌握知识, 并能灵活运用。独立顺利完成课后练习题。考试前应系统回顾, 全面复习, 劳逸结合, 挑战最好成绩。无论理论课还是实验课, 注意培养学习能力、实验能力和创造能力。能力和知识相辅相成, 能力培养比知识学习更重要。

第二节 科学记数法和有效数字

一、科学记数法

科学记数法 (scientific notation) 用幂的形式, 可以方便地表示日常生活中遇到的一些较大的数, 如光的速度大约是 $300\,000\,000\text{ m/s}$; 全世界人口数大约是 $6\,100\,000\,000$ 人。常在物理上见到这样的大数, 读、写都很不方便, 考虑到 10 的幂有如下特点。

一般的, 10 的 n 次幂, 在 1 的后面有 n 个 0, 这样就可用 10 的幂表示一些大数, 如: $6\,100\,000\,000 = 6.1 \times 1\,000\,000\,000 = 6.1 \times 10^9$ 。

任何非 0 实数的 1 次方都等于它本身。

当有了负整数指数幂的时候, 小于 1 的正数也可以用科学记数法表示。如: $0.000\,01 = 10^{-5}$, 即小于 1 的正数也可以用科学记数法表示为 a 乘 10 的负 n 次方的形式, 其中 a 是正整数数

位只有一位的正数, n 是正或负整数。

科学记数法是指把一个数表示成 $a \times 10^n$ 的形式 ($1 \leq a < 10$, n 为整数)。

科学计数法可以很方便地表示一些绝对值较大的数,同样,用科学计数法也可以很方便地表示一些绝对值较小的数。

一般地,一个小于 1 的正数可以表示为 $a \times 10^n$,其中 $1 \leq a < 10$, n 是负整数。

二、有效数字

在表达实验结果时,所用的数据不仅要反映测量值的大小,还应反映测量的准确程度。有效数字(significant figure)是这种既能表达数值大小,又能表明测量值准确程度的数字表示方法,它是指在实际工作中能测量到的具有实际意义的数字,包括测得的全部准确数字和一位可疑数字,即在一个近似数中,从左边第一个不是 0 的数字起,到精确到的位数止,这中间所有的数字都叫这个近似数字的有效数字。

由于只能保留一位可疑数字,其是由测量仪器的精度确定的。例如,用万分之一精度 (± 0.0001 g) 分析天平称得某样品质量为 0.1234 g,它是四位有效数字,前三位是准确的,最后一位是可疑的,表明该样品的真实质量在 0.1233~0.1235 g。反过来,按照数字的精度要求也可选择合适的仪器。例如,要求加入某样品 20.00 ml,必须使用移液管或滴定管;加入某样品 2.00 ml,要求用刻度吸管;加入某样品 2 ml,用量筒即可。记录实验数据和表示计算结果时应保留几位数字,一定要根据测定方法和所用仪器的精度来决定。如滴定管读数能准至 ± 0.01 ml,因此,如滴定时用去 22.10 ml,就不可记录为 22.1 ml 或 22.100 ml。

除“0”在数值的开头部分以外,每位“0~9”的数字均表示一位有效数字,例如 22.43 为四位有效数字,1.1342 为五位有效数字,0.0530 为三位有效数字,1.0000 为五位有效数字。某些不规范的习惯表达中,在其他数字后面的“0”有时仅起定位作用,其有效数字位数不能确定,一般应根据量具的精度用科学记数法表示,如 4000 应写成 4×10^3 或 4.0×10^3 等。在化学计量中,常遇到倍数或分数的换算,可视为无限多位有效数字。另外,常见的 pH、pOH、pK、lgc 等对数值,其有效数字的位数,仅取决于小数部分的有效位数。整数部分只代表该真数中的 10 的方次。如 $\text{pH}=11.20$ 为两位有效数字,因换算为 $[\text{H}^+]$ 时, $[\text{H}^+]=6.3 \times 10^{-12}$; $\text{pK}_a=4.75$ 为两位有效数字,换算为 K_a 时, $K_a=1.8 \times 10^{-5}$ 。

在处理数据过程中,涉及各测量数据的有效位数可能不同。因此,为了达到分析目的所要求的准确度,同时减少计算麻烦,就要按一定规则弃去多余的数字,即数字的修约(rounding)。

根据国家标准(GB 3103-93),有效数字的修约规则有两种,而在化学分析中为了使修约误差最小,常采用“四舍六入五成双”。即测量数值中被修约的那个数字等于或小于 4 时,该数字舍去,等于或大于 6 时,则进位;等于 5 且后面的数皆为 0 时,则视 5 前面的数而定,若 5 前面的为偶数,则舍去,若 5 前面的数为奇数,则进位,使修约后的最后一位为偶数。当 5 后面还有不为 0 的任何数时,无论 5 前面是偶数或奇数都进位。如将下列测定值修约为两位有效数字时,结果应为:4.487(4.5),2.350(2.4),2.450(2.4),2.4501(2.5),2.3499(2.3)。

在进行有效数字修约时,如多次修约可能会产生误差,因此要一次修约到所需位数。如 2.3499 修约为两位有效数字时,不能先修约为 2.350,再修约为 2.4,而应一次修约为 2.3。

三、有效数字的运算规则

(一) 有效数字的加减法

几个数相加或相减时,它们的和或差的有效数字的保留,应以原始数据中小数点后位数最少

(即绝对误差最大)的数为依据。用科学表示法表示的数据要先修约成相同的位数,然后才能加减。例如,将 35.625 0、2.51、16.419 三个数字相加,首先找出小数点后位数最少的数为 2.51(其绝对误差为 0.01 最大),然后以它为标准,将 35.625 0 修约为 35.62、16.419 修约为 16.42,再将三个数字进行相加,结果为: $35.62 + 2.51 + 16.42 = 54.55$ 。

(二) 有效数字的乘除法

几个数据相乘除时,他们的积或商的有效数字的保留,应以原始数据中有效数字位数最少的那个数为依据。这样,结果的相对误差才会与各数中相对误差最大的那个数相匹配。

例如, $0.0138 \times 21.67 \times 8.2671$ 三个数相乘之积,有效数字的保留以 0.0138 为准,其他各数均修约为三位有效数字,修约后再相乘:

$$0.0138 \times 21.67 \times 8.2671 = 0.0138 \times 21.7 \times 8.27 = 2.48$$

最后结果仍然保留三位有效数字。

(三) 有效数字及计算规则的应用注意事项

1) 在进行对数运算时,所取对数的小数(尾数)位数应与真数的有效数字位数相同。例如, $\lg(1.8 \times 10^{-5}) = 4.74$ 。

2) 在常量定量分析一般计算中,要求保留四位有效数字。精度只要求达到 $\pm 0.01\%$,故含量测定的结果只需保留小数点后两位。例如,高含量($\geq 10\%$)测定时,分析结果以四位有效数字报告;含量 $1\% \sim 10\%$ 时,以三位有效数字报告;含量 $< 1\%$ 时,以两位有效数字报告结果。

3) 在运算过程中,若某一个数的首位是 8、9 时,则有效数字的位数可多算一位。例如,9.66 有三位有效数字,但已接近 10.00,故可看作四位有效数字。

4) 使用计算器处理数据时,不必对每一步计算结果都进行修约,但要注意对最后的有效数字的位数应进行合理取舍,防止数值失去可信度。

第三节 溶液的组成标度

一、物质的量浓度

物质的量(amount of substance)是表示微观物质数量的基本物理量。物质 B 的物质的量用符号 n_B 表示。基本单位是摩尔(mole),单位符号为 mol。摩尔的定义是:“摩尔是某一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元(elementary entity)数与 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目相等”。 $0.012 \text{ kg } ^{12}\text{C}$ 的原子数目与阿伏伽德罗常数(Avogadro constant)数值相同,阿伏伽德罗常数 $L = 6.0226 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 。只要系统中基本单元 B 的数目为 6.0226×10^{23} ,B 的物质的量就是 1 mol。

在使用摩尔时,必须指明基本单元——原子、分子、离子、电子及其他粒子,或这些粒子的特定组合。例如,我们说 H 、 H_2 、 H_2O 、 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 、 $\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$ 、 $(2\text{H}_2 + \text{O}_2)$ 等的物质的量都是可以的。

物质 B 的物质的量 n_B 可以通过 B 的质量和摩尔质量(molar mass)求算,即:

$$n_B = \frac{m_B \text{ g}}{M_B \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \quad (0-1)$$

式中 m_B 为物质 B 的质量,单位是 g; M_B 为 B 的摩尔质量,单位是 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。某原子的摩尔质量的数值等于其相对原子质量 A_r (relative atomic mass),某分子的摩尔质量的数值等于其相对

分子质量 M_r (relative molecular mass)。相对原子质量和相对分子质量的单位是 1。

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

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (0-2)$$

式中 c_B 为 B 的物质的量浓度, n_B 是物质 B 的物质的量, V 是溶液的体积。

物质的量浓度的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ 。医学上常用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (摩每升)、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ (毫摩每升)、 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (微摩每升) 作为物质的量浓度的单位。

c_B 一般表示 B 的初始浓度, $[B]$ 表示 B 的平衡浓度。

物质的量浓度可简称为浓度 (concentration)。使用时必须指明物质的基本单元。如 $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}) = 4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。括号中的化学式符号表示物质的基本单元。

世界卫生组织 (WHO) 建议凡是已知相对分子质量的物质在体液内的含量均应用物质的量浓度表示, 对于未知其相对分子质量的物质 B 则可用质量浓度表示。

例 0-1 1 mol H^+ 和 $1 \text{ mol}(1/2)\text{H}_2$ 的含义有何区别? $1 \text{ mol}[\text{H}_2 + (1/2)\text{O}_2 \text{ 中}] \text{H}_2$ 和 O_2 的质量分别为多少?

解: $1 \text{ mol}[\text{H}_2 + (1/2)\text{O}_2]$ 中 H_2 的质量 $m = 1.008 \text{ g} \times 2 = 2.016 \text{ g}$

$1 \text{ mol}[\text{H}_2 + (1/2)\text{O}_2]$ 中 O_2 的质量 $m = 15.999 \text{ g} \times 2 \div 2 = 15.999 \text{ g}$

例 0-2 市售浓硫酸密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, H_2SO_4 的质量分数为 96%, 计算 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)$, 单位用 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

解: H_2SO_4 的摩尔质量为 $98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 的摩尔质量为 $49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{96 \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100} = 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{96 \times 1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}}{49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 100} = 36 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{又, 根据式 (0-3)} \quad c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 2c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \times 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 36 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量浓度

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

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (0-3)$$

式中 m_B 为 B 的质量, V 是溶液的体积。质量浓度的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。质量浓度多用于溶质为固体配制的溶液, 此时可不写出质量浓度符号 ρ_B , 例如, 对 NaCl 溶液可直接写为“ $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液”。又如输液用等渗葡萄糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 的标签上过去标为 5%, 现在应同时标明质量浓度和物质的量浓度“ $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 $0.28 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ”。

例 0-3 输液用葡萄糖 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 的浓度为 $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.278 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 问它的质量浓度

($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)为多少?

解: $\rho_B = c(B) \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot M_B \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0.278 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 180 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 50.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

三、质量摩尔浓度

溶质 B 的质量摩尔浓度(molality)符号为 b_B , 定义为:

$$b_B = \frac{n_B}{m_A} \quad (0-4)$$

式中 n_B 为溶质 B 的物质的量, m_A 为溶剂 A 的质量。 b_B 的单位是 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

质量摩尔浓度与温度无关, 因此在科学研究中广为应用。

例 0-4 将 2.76 g 甘油($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$)溶于 200 g 水中, 已知 $M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 92.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 求质量摩尔浓度 $b(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3)$ 。

解: $b(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = \frac{2.76 \text{g}}{92.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.200 \text{kg}} = 0.150 \text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$

四、物质的量分数

物质的量分数(amount-of-substance fraction)也可称为摩尔分数(mole fraction)。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, 符号为 x_B , 单位是 1。即:

$$x_B = n_B / \sum_i n_i \quad (0-5)$$

式中, n_B 为 B 的物质的量, $\sum_i n_i$ 为混合物总的物质的量。

若溶液由溶质 B 和溶剂 A 两组分组成, 则溶质 B 的摩尔分数为:

$$x_B = n_B / (n_A + n_B)$$

式中 n_B 为溶质 B 的物质的量, n_A 为溶剂 A 的物质的量。同理, 溶剂 A 的摩尔分数为:

$$x_A = n_A / (n_A + n_B)$$

显然:

$$x_A + x_B = 1$$

例 0-5 将 7.00 g 结晶草酸($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)溶于 93.0 g 水中, 求草酸的摩尔分数 $x(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ 。

解: $x(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{5.00 \text{g} / 90.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}}{(5.00 \text{g} / 90.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}) + (93.0 \text{g} / 18.0 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1})} = 0.0104$

五、质量分数

质量分数(mass fraction)的符号为 ω_B , 单位是 1, 定义为:

$$\omega_B = m_B / \sum_i m_i \quad (0-6)$$

式中 m_B 为物质 B 的质量, m 为混合物的质量。

如果 100 g 溶液中含有 10 g NaCl, $\omega(\text{NaCl}) = 0.1$ 。

六、体积分数

体积分数(volume fraction)的符号为 φ_B , 单位是 1, 定义为:

$$\varphi_B = V_B / \sum_i V_i \quad (0-7)$$

式中 V_B 是纯物质 B 在一定温度和压力下的体积, V 是混合物中各组分的纯物质在该温度和压力下的体积之和。

体积分数常用于溶质为液体的溶液, 近似计算时忽略混合过程中产生的体积变化, 用溶质的体积除以溶液的体积。 $\varphi(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})=5\%$, 表示该溶液是纯乙醇 5 ml 加水至 100 ml 配制而成。

练习题

一、选择题

- 下列数值中符合科学记数法表达的是 ()
 A. 12.34×10^5 B. 1.234×10^6
 C. 0.1234×10^7 D. 0.01234×10^8
- 下列数值有四位有效数字的是 ()
 A. $\text{pH}=10.26$ B. 0.020 8 C. 0.003 D. 23.40
- 物质的量的单位是 ()
 A. kg B. mol C. m D. n
- 0.4 mol H_2SO_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. $c[(1/2)(\text{H}_2\text{SO}_4)]=0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
 C. $c[(1/2)(\text{H}_2\text{SO}_4)]=0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ D. 硫酸的浓度为 $0.8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- 下列说法正确的是 ()
 A. “1 mol O”可以说成“1 mol 原子 O”
 B. 1 摩尔碳 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

二、判断题

- 1 mol 硫酸(H_2SO_4)的质量是 98.0 g。
- $\text{p}K_a=4.75$ 是三位有效数字。
- 溶液越稀, 其质量摩尔浓度越接近其物质的量浓度。
- $0.012 \text{ kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目与阿伏伽德罗常数(Avogadro constant)数值相。
- 对已知分子结构的物质, 其组成标度要用物质的量浓度表示。

三、计算题

- 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 $0.900 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 。
- 某患者需补充 $\text{Na}^+ 5.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$, 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?
- 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 $0.050 0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{H}_2\text{SO}_4$ 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 (相对密度 $d=1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$) 配制成为 1 000 ml 浓度为 $0.250 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 溶液?
- 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。

5. 某物质 $1.00 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的溶液的摩尔分数是多少?

四、讨论题

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? 怎样学好化学?
2. 科学记数法和有效数字的优点有哪些?
3. 物质的标度在临床上由哪些表示方法?
4. 什么是国际单位制(SI)? SI 的基本单位和导出单位有哪些? 在我国的应用如何?
5. 同一小组甲、乙两位同学测定同一样品中某物质的含量, 他们称取某样品 0.14 g 。实验结束后, 他们分别对共同测得的结果写出了实验报告, 甲报告样品中指定物质的含量为 0.21% , 而乙报告为 0.2098% , 问谁的报告合理? 为什么?
6. 用质量摩尔浓度来表示溶液的组成标度有何优点?

(刘永民)