

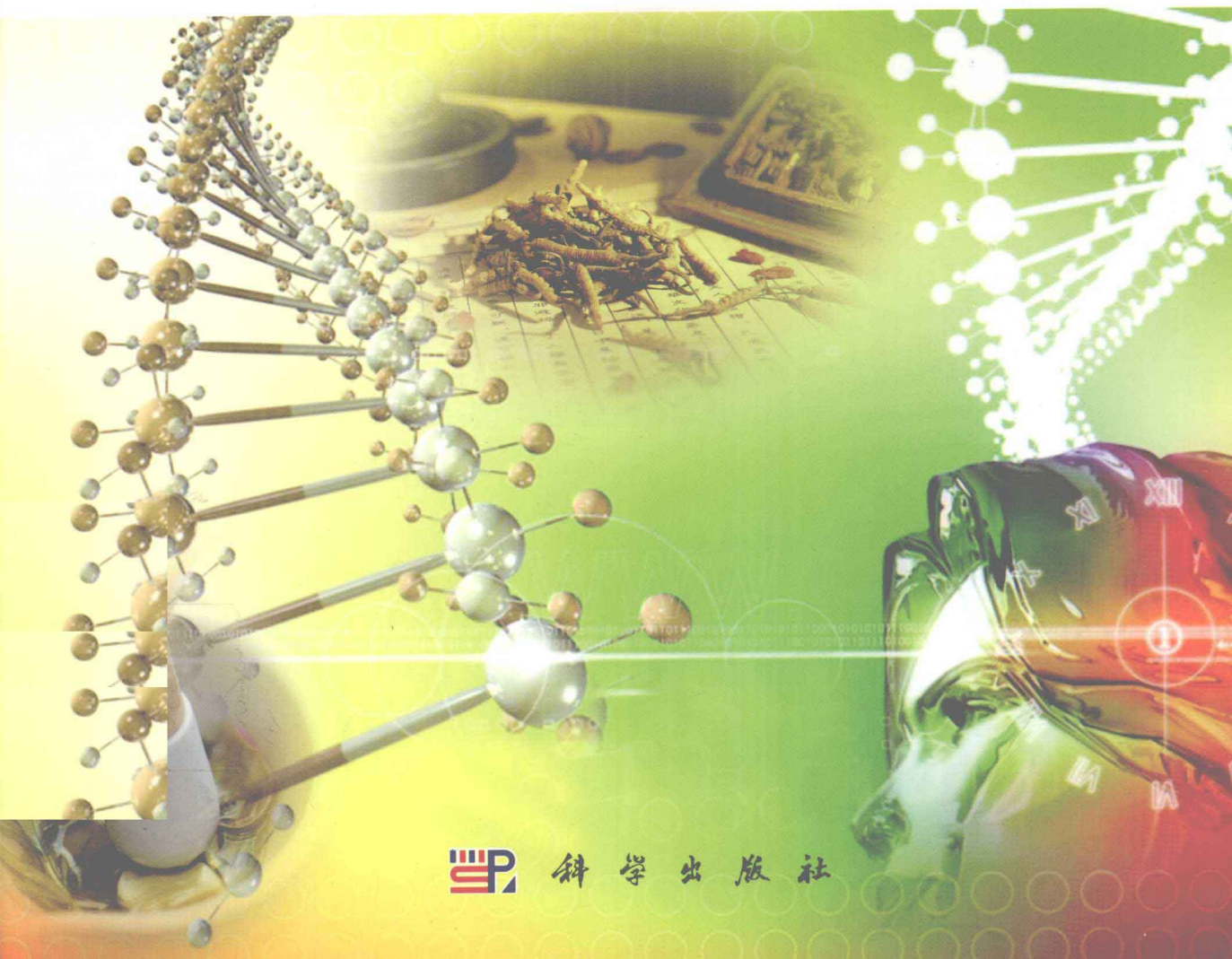
全国高职高专医药院校规划教材

供中药学和药学类专业用

无机化学

第2版

刘幸平 张 拴 主编



科学出版社

全国高职高专医药院校规划教材

供中药学和药学类专业用

无机化学

第2版

刘幸平 张 拴 主编

科学出版社

北京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

内 容 简 介

本书是在第1版的基础上,根据教学的基本要求编写修订而成。本书为“全国高职高专医药院校规划教材”之一。全书共10章,以化学平衡为主线,介绍无机化学的四大平衡原理,利用元素周期表,将化学反应原理、物质结构基础知识与元素性质尽可能地结合在一起,着眼于提高学生分析问题和解决问题的能力。书中附有一些链接,将无机化学的原理与实际应用结合,具有启发性和趣味性,可提高学生的学习兴趣。

本书可供本科、高职类本科、成教院校的中药、药学、临床药学、生物制药、药物制剂、药理等专业学生作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/刘幸平,张拴主编.—2版.—北京:科学出版社,2011.6

全国高职高专医药院校规划教材

ISBN 978-7-03-030089-8

I. 无… II. ①刘… ②张… III. 无机化学-高等学校:技术学校-教材
IV. O61

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第012491号

责任编辑:郭海燕 杨 扬 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:刘士平 / 封面设计:范璧合

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

辽宁印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年6月第二版 印张:15 3/4 插页:1

2011年6月第九次印刷 字数:367 000

印数:21 001—24 000

定价:34.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第2版编写说明

本教材是在2005年版“21世纪高职高专教材”《无机化学》基础上进行修订的,此次修订中,全书的基本框架没有改变。对各章内容根据2010年6月科学出版社召开的编写会议精神进行了修订。

本次修订工作是将近5年的教学经验与科研发展中的新进展融入到教材中去,对上一版编写中存在的问题进行了修订。主要修改的地方有:

(1) 坚持体现“三基”(即“基本知识、基本技能、基本理论”)和“五性”(即思想性、科学性、先进性、启发性、适用性)的原则;明确本套教材的读者对象是高职高专的学生,突出教材的可读性和可操作性(实用性)。

(2) 增加了分子结构中的价层电子对互斥理论,离子的相互极化,配位化合物的几何异构现象;增加了一些小的链接,如能斯特的简历,铂系抗癌药物的简介等。

(3) 修改了电极电势的符号,替换了一些图片;对上一版说法上欠妥之处进行了修订。

(4) 标准态压力 p^0 原定为 101.325kPa,按现在国际上的要求,改 p^0 为 100kPa。相应的标准摩尔体积也就有了改变, V^0 由 22.4L 改为 22.71L。

(5) 参考一些新的文献、手册对附录的数据进行了全面修订。

这次修订工作主要由各使用教材的老师参加,各位老师在自己任课过程中发现了一些问题,提出宝贵的修改意见,并得到了全国中医药院校高职高专教材建设委员会的指导和南京中医药大学、陕西中医学院、北京中医药大学、江西中医学院、浙江中医药大学、安徽中医学院、湖南中医药大学、天津中医药大学、山西中医学院、成都中医药大学等单位领导和教务处的大力支持,在此一并表示感谢。同时,还要感谢为本书第1版编写工作作出了贡献的黄尚荣、戎惠珍、卢文标、张晓薇、黄莺、房方老师。

由于我们水平有限,编写时间仓促,难免有考虑不周与错误之处,恳请读者与同行提出宝贵意见。

编者
2010年8月

第1版编写说明

本教材是根据2004年6月在南京中医药大学召开的“21世纪全国中医药院校高职高专教育与教材建设研讨会”的精神,由全国10多所中医药院校长期从事基础化学教育的教师共同编写而成的。

近年来随着职业教育和成人教育的不断发展,招生规模不断扩大,对其配套教材有了更高的要求,这类教材应该与本科教学使用的教材在内容和形式上有所区别。本教材的内容由无机化学中与药学关系较为密切的基础理论、基本知识、基本技能组合而成。我们力求突出教材的“思想性、科学性、实用性和创造性”原则,贴近社会、贴近岗位、贴近学生,内容不必过专,以必知、必会内容为基础,符合培养目标和教学要求。同时设计了内容精致的链接,一方面拓宽学生的视野,另一方面将理论与实际联系,增强了学习的趣味性。因此,本教材不仅可供高职高专学生使用,也适合药学类函大、夜大等成人教育学院各专业学生使用。

教学过程设置为三个模块:基础模块、实践模块和选学模块。基础模块和实践模块是必学内容,选学模块可由各院校根据专业、学时、学分等实际情况选择使用。

本教材的编写得到了全国中医药院校高职高专教材建设委员会的指导,并得到了山东中医药大学、北京中医药大学、江西中医学院、浙江中医学院、安徽中医学院、湖南中医学院、天津中医学院、山西中医学院、成都中医药大学的大力支持,在此一并表示感谢。

由于我们水平有限,编写时间仓促,难免有不当与错误之处,恳请读者与同行提出宝贵的意见,以期改正。

编者

2004年8月

《无机化学》编委会名单

- 主 编 刘幸平 张 拴
副主编 吴培云 吴巧凤 关 君
王颖莉 卞金辉
- 编 委 (按姓氏笔画排列)
- 王 燕 陕西国际商贸学院
王颖莉 山西中医学院
卞金辉 成都中医药大学
支兴蕾 南京中医药大学
吕惠卿 浙江中医药大学
刘幸平 南京中医药大学
关 君 北京中医药大学
吴巧凤 浙江中医药大学
吴培云 安徽中医学院
张师愚 天津中医药大学
张 拴 陕西中医学院
杨茂忠 贵阳中医学院
陈 莉 福建中医药大学
郭 惠 陕西中医学院
陶阿丽 安徽新华学院

目 录

第2版编写说明

第1版编写说明

绪论	(1)
第1章 非电解质稀溶液	(4)
第1节 物质的量	(4)
第2节 溶液的浓度	(8)
第3节 溶液的渗透压	(12)
第2章 化学反应速率和化学平衡	(17)
第1节 化学反应速率	(17)
第2节 可逆反应与化学平衡	(20)
第3节 化学平衡的移动	(22)
第3章 电解质溶液	(27)
第1节 弱电解质的电离平衡	(27)
第2节 缓冲溶液	(36)
第3节 盐类的水解	(40)
第4节 强电解质溶液理论	(42)
第5节 酸碱理论	(44)
第4章 难溶强电解质的沉淀-溶解平衡	(50)
第1节 溶度积原理	(50)
第2节 沉淀的生成与溶解	(53)
第3节 沉淀反应的某些应用	(59)
第5章 原子结构与元素周期系	(64)
第1节 原子的结构	(64)
第2节 核外电子运动状态和电子的排布	(68)
第3节 原子的电子层结构和元素周期系	(78)
第6章 分子结构	(86)
第1节 离子键	(86)
第2节 共价键	(88)
第3节 分子的极性	(96)
第4节 分子间的作用力与氢键	(98)
第5节 离子极化	(100)
第7章 氧化还原反应	(105)
第1节 氧化还原反应	(105)
第2节 电极电势	(111)
第3节 电极电势的影响因素	(118)
第4节 电极电势的应用	(121)

第8章 配位化合物	(131)
第1节 配位化合物的基本知识	(131)
第2节 配合物的化学键理论——价键理论	(136)
第3节 配位平衡	(141)
第4节 配位化合物的应用(自学)	(148)
第9章 非金属元素	(153)
第1节 卤素	(153)
第2节 氧和硫	(160)
第3节 氮和磷	(163)
第4节 碳和硅	(166)
第5节 硼	(169)
第10章 金属元素	(173)
第1节 碱金属和碱土金属	(173)
第2节 铝和砷	(178)
第3节 d区元素	(179)
第4节 ds区元素	(186)
第5节 金属元素在医药中的应用	(190)
实验部分	(194)
实验1 仪器的认领和基本操作训练	(194)
实验2 电离平衡、沉淀平衡与盐的水解	(196)
实验3 缓冲溶液的配制与性质	(199)
实验4 乙酸溶液的配制和浓度标定	(200)
实验5 乙酸电离度和电离平衡常数的测定	(202)
实验6 氧化还原反应	(203)
实验7 配合物的生成、性质与应用	(205)
实验8 硫酸亚铁铵的制备	(209)
实验9 铬、锰、铁	(210)
实验10 氯化铅溶度积常数的测定	(213)
实验11 银氨配离子配位数的测定	(215)
附录	(218)
附录一 无机酸、碱在水中的电离常数(298K)	(218)
附录二 难溶化合物的溶度积(291~298K)	(219)
附录三 标准电极电位表(291~298K)	(221)
附录四 配合物的稳定常数(293~298K, I=0)	(225)
参考答案	(229)
《无机化学》教学基本要求	(235)
彩图 元素周期表	

绪 论

一、化学研究的对象

世界是由物质构成的,物质是人类赖以生存的基础。“物质是作用于我们感官引起感觉的东西;物质是我们感觉到的客观实在”。物质的概念是广泛的,它包括人们意识之外独立存在的一切。物质以“实物”和“场”两种基本形态存在。既具有相对静止质量和体积,又具有运动质量和体积的物质称为实物。例如铁、铝、金、石、水、分子、原子、人体等都是实物。另一种,没有静止质量和体积,但具有运动质量和体积的物质称为场。例如引力场、电磁场、光场、核力场等。

化学研究的对象是构成自然界中各种各样实物的基本物质。浩瀚的宇宙和地球上人类用肉眼能见到的和不能直接观察到的以原子或分子形态存在的物质,都是我们要了解和研究的对象。化学是在分子、原子和离子等层次上研究物质的组成、结构、性质、变化及其应用和合成的一门自然科学。

二、无机化学的研究对象及内容

化学科学按其研究物质的类别可分为有机化学和无机化学。研究碳氢化合物及其衍生物的化学科学,称为有机化学。研究除有机化合物以外的其他元素及其化合物的化学科学,称为无机化学。无机化学是研究无机物质的组成、结构、性质及反应规律的科学。它是化学中最古老的分支学科,是其他化学学科的基础。无机物质包括所有化学元素和它们的化合物,不过大部分碳化合物除外(除二氧化碳、一氧化碳、二硫化碳、碳酸盐等简单化合物仍属于无机物质外,其余均属于有机物质)。

19世纪末开始,随着物理学科新技术的采用,科学上一系列重大发现猛烈地冲击着人们关于原子不可再分的旧观念。它把整个自然科学的研究推进到更深层次的物质结构来探索,也孕育着化学发展中又面临着的一场深刻的改革,标志着现代化学的建立。在这期间,原子结构的理论相继建立,初步揭示了原子内部构成的奥秘,尤其是所提出的关于电子层结构的成就,曾为原子的电子理论的建立,也为人们进一步探求元素周期律的本质原因和丰富发展元素周期理论奠定了基础。20世纪30年代初,建立在量子力学基础上的现代原子结构模型及化学键理论,大大加深了人们对物质分子内部结构的本质认识,对现代化学的发展起了有力的促进作用。

近几十年来,由于科学技术的迅猛发展,无机化学冲破了历史的局限,与生物化学、有机化学等学科相互渗透,产生了不少新的边缘学科(例如:生物无机化学,金属有机化学,金属酶化学等),从而开拓了无机化学的研究新领域。把无机化学的理论知识、近代物理测试手段用于生物体系的研究就产生了生物无机化学。现代物理实验方法如X射线、中子衍射、磁共振、光谱学等方法的应用,从而将元素及其化合物的性质与其结构联系起来,形成了现代无机化学。现代无机化学就是应用物理技术及物质微观结构的观点来研究和阐述化学元素及其所有无机化合物

的组成、性能、结构和反应规律的科学。无机化学未来的发展趋向于新型化合物的合成和应用,以及新研究领域的开辟和建立。

本教材所编写的内容是根据中药专业的特点,在中学化学知识的基础上着眼于今后的药学习,精选了无机化学的经典章节,它包括以下两个方面:

1. 基础知识部分(普通化学原理) 四大平衡:①弱电解质的电离平衡;②氧化还原平衡;③沉淀溶解平衡;④配合平衡。两大结构:①原子结构;②分子结构。

2. 元素化学部分 根据专业特点有选择地介绍一些常用的非金属元素和金属元素的单质及化合物的性质。

三、化学学习的基本方法

学习化学,首先要准确、牢固地掌握好化学的基本概念、基本知识和基础理论。加强对这“三基”的理解和记忆,做到在理解的基础上加强记忆,在记忆的基础上加深理解。把这“三基”灵活贯穿在全部内容和实践之中。第二,要树立辩证唯物主义观点,应用自然辩证法和对立统一法则去分析各种化学变化。通过分析来掌握变化的本质,认识变化的规律,寻找各种变化之间的内在联系和转化条件。第三,要及时进行分析比较、归纳总结。做到每学完一章节后,及时比较各知识点之间的联系和区别,归纳出本章节的内容提要。第四,要及时复习,善于思考,勤于钻研;复习时要做到勤学好问,对疑难问题可开展讨论。第五,要多做习题,通过做习题来检验对知识点的掌握程度,发现自己的薄弱环节,及时解决学习中遇到的问题,才能继续学习下去。药学类专业的化学课程较多,无机化学、有机化学、分析化学、中药化学等等,若是一门化学学不好,往往会影响到下一门化学课程的学习,故一定要扎扎实实地学好每一门化学课。决不能靠临时抱佛脚的方式学习。第六,要理论联系实际,重视化学实验,通过实验,巩固所学知识。通过实验,培养提高自己的操作技能和技巧,为今后的实际工作奠定基础。实验时,还要做到仔细观察现象,及时做好记录,做出综合分析,这样既可有效地巩固课堂知识,又可培养自己实事求是、办事严谨的科学态度。

四、化学与医药学的关系

医学科学,包括药学科学,是生命科学的一部分。它以人体为主要研究对象,探索疾病发生和发展的规律,寻找预防和治疗的途径。预防和治疗主要依靠药物,用药物来调整因疾病而引起的种种异常变化。

无机化学与药学的关系密切,有些无机物质可直接作为药物,如药用 NaCl 可直接配制成生理盐水, I_2 与 KI 溶于乙醇得碘酊等。研究金属元素,特别是微量金属元素和药物的关系,研究在生物体内由于这些元素的失衡所引起的各种疾病和治疗它们的药物,则属于药物无机化学。就目前所知,许多疾病都与金属离子有关。早在 20 世纪 50 年代就发现金属配合物具有抗菌和抗病毒的能力,特别是铁、铈的邻菲罗啉配合物,在极低的浓度下就对流感病毒的分裂有强烈的抑制作用。许多癌症与病毒是紧密相关的。不少药物化学家试图从中寻找有效的抗癌药物。最令人瞩目的无机药物发展之一是美国卢森伯格(B. Rosenberg)在 20 世纪 60 年代意外地发现“惰性的铂电极”引起细菌丝状生长这一事实,从而展现了顺式二氯二氨合铂(II)的抗肿瘤特性,为进一步研究金属微量元素配合物抗癌作用开辟了新的领域。

药学研究通常分为两大部分:①药物的分离(中草药)、合成与构效关系研究;②制剂即不同

的原料药需制成不同的剂型(如片剂、喷雾剂、针剂等),同一原料药不同疗效有时也需制成不同剂型,在其中必须用到有关无机化学、有机化学的知识。例如药典上记载有 NaHCO_3 片和 NaHCO_3 注射液,是作为抗酸药,用于治疗糖尿病昏迷及急性肾炎等引起的代谢性酸中毒。 NaHCO_3 为什么有抗酸作用?因 NaHCO_3 溶解在水中后发生电离,产生 Na^+ 和 HCO_3^- ,这两个成分谁是抗酸成分?各种无机药和有机药的性能都与它们的结构有关。只有通过化学的学习,才能制好药,用好药,故医药工作者必须具备一定的化学知识。

第1章 非电解质稀溶液



学习目标

1. 了解物质的量、溶液各种浓度的名称及定义
2. 熟悉渗透现象产生的条件知道溶液的渗透压与浓度、温度之间的关系
3. 能熟练地进行溶液浓度之间的计算和换算;会比较溶液的渗透压大小,判断渗透方向
4. 了解渗透压在医学上的意义

两种或两种以上的物质相混合,如果每一种物质都以分子、原子或离子的形式分散到其他物质中构成均匀而又稳定的分散体系,这种分散体系叫溶液(solution)。为了研究方便,我们将溶液中的一种物质叫做溶剂(solvent),通常用A表示,而将其他物质叫溶质(solute),用B表示,一般将含量较多的组分称为溶剂,含量较少的称为溶质。我们最熟悉的液态溶液(liquid solution)是以水为溶剂的水溶液。例如:食盐水、糖水等。若以酒精、丙酮、氯仿、苯等作为溶剂的称为非水溶液。除液态溶液外,还有气态溶液(gaseous solution)和固态溶液(solid solution)。气体混合物均是气态溶液,如空气等。在一定条件下多种不同的固体可构成固态溶液,如Au和Ag, Zn和Cu的合金等。本章讨论的溶液是水溶液。

溶液的溶质可以是电解质(electrolyte)或非电解质(nonelectrolyte),电解质是在水中或熔融状态下能导电的物质,非电解质是指在上述状态下不导电的物质。本章只讨论非电解质溶液。关于电解质溶液,将在后面章节讨论。

第1节 物质的量

在中学化学中,我们学习过原子、分子、离子等构成物质的粒子,还学习了一些常见物质之间的化学反应。通过这些知识的学习,使我们认识到物质之间所发生的化学反应,实际上是由肉眼看不见的微粒之间按一定数目关系进行的,例如碳的燃烧是碳原子和氧分子之间的反应,没有氧气,碳是不能燃烧的,但燃烧一定量的碳需要多少氧气呢?实验证明,微粒的数目和物质的质量之间有一定的关系。要将它们之间建立联系,科学上采用“物质的量”这个物理量把一定数目的原子、分子或离子等微观粒子与可称量的物质的质量联系起来。

一、物质的量及其单位

物质的量是表示以某一特定数目的基本单元粒子为集体数及其倍数的物理量。即是表示微粒集体数的物理量,其符号用“ n ”表示。书写物质的量 n 时,应在右下角或用括号形式写明物质的化学式,如:氢原子的物质的量,记为 n_{H} 或 $n(\text{H})$;水分子的物质的量,记为 $n_{\text{H}_2\text{O}}$ 或 $n(\text{H}_2\text{O})$ 。“物质的量”是一个特定词组,是专有名词,使用时不能颠倒、拆开、缺字或加字。

1960年第十一届国际计量大会(CGPM)决定,物质的量的单位是摩尔,单位符号为mol。正如米是长度的单位,千克是质量的单位一样,摩尔是表示物质的量的单位,它是国际单位制(SI)的7个基本物理量之一。

国际单位制的七个基本物理量

量的单位	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

链接

物质的量实际上表示含有一定数目粒子的集体,科学实验表明,在 $0.012\text{kg }^{12}\text{C}$ 中所含有的碳原子数约为 6.02×10^{23} 个,如果在一定量的粒子集体中所含有的粒子数与 $0.012\text{kg }^{12}\text{C}$ 中所含有的碳原子数相同,我们就说它为 1mol 。

例如, 1mol O 中约含有 6.02×10^{23} 个 O ;

$1\text{mol H}_2\text{O}$ 中约含有 6.02×10^{23} 个 H_2O ;

1mol O^{2-} 中约含有 6.02×10^{23} 个 O^{2-} ;

1mol 的任何物质含有的粒子数叫做阿伏伽德罗常量。阿伏伽德罗常量的符号为 N_A ,通常使用 $6.02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$ 这个近似值。

阿伏伽德罗 (Amedeo Avogadro, 1776 ~1856)

阿伏伽德罗是意大利物理学家、化学家。1811年发表“阿伏伽德罗假说”(后称阿伏伽德罗定律),并提出分子概念及原子、分子区别等重要化学问题。由于他的论点不易理解,以致这假说在当时没有得到大家的赞同,后来经坎尼札罗用实验加以论证,到1860年才获得普遍的公认,但他已不在人世。

链接

物质的量、阿伏伽德罗常量与粒子总数(符号为 N)之间存在着下列关系:

$$n = \frac{N}{N_A} \quad (1-1)$$

从式(1-1)可以看出,物质的量是粒子总量与阿伏伽德罗常量之比。例如, 3.01×10^{23} 个 O_2 的物质的量为 0.5mol 。

值得注意的是,所谓基本单元可以是原子、离子、分子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。例如:硫酸的基本单元可以是 H_2SO_4 ,也可以是 $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 。当用 H_2SO_4 作基本单元时,98g的硫酸,其基本单元数目与在 $0.012\text{kg }^{12}\text{C}$ 的原子数目相等,因而是 $1\text{mol H}_2\text{SO}_4$;若是以 $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 作基本单元,其基本单元数目是 $0.012\text{kg }^{12}\text{C}$ 的两倍,因而98g硫酸是 $2\text{mol } 1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 。

可见,同样质量的物质,所采用的基本单元不同,物质的量也就不同。

二、摩尔质量

1mol 不同物质中所含的分子、原子或离子的数目虽然相同,但由于不同粒子的质量不同,因此,1mol 不同物质的质量也不同。

我们知道,1mol ^{12}C 的质量是 0.012kg,即 6.02×10^{23} 个 ^{12}C 的质量是 0.012kg,利用 1mol 任何粒子集体中都含有相同数目的粒子这个关系,我们可以推知 1mol 任何粒子的质量。例如,1 个 ^{12}C 与 1 个 H 的质量比约为 12:1,1mol ^{12}C 与 1mol ^1H 含有的原子数目相同,因此,1mol ^{12}C 与 1mol H 的质量比也约为 12:1。而 1mol ^{12}C 的质量是 12g,所以,1mol ^1H 的质量就是 1g。

同样的,我们可以推知,1mol N_2 的质量为 28g,1mol O_2 的质量为 32g,1mol Na 的质量为 23g,1mol NaCl 的质量为 58.5g,等等。

对于离子来说,由于电子的质量很小,当原子得到或失去电子变成离子时,电子的质量可忽略不计。因此,1mol Na^+ 的质量为 23g,1mol Cl^- 的质量为 35.5g。

通过以上分析,我们不难看出,1mol 任何粒子或物质的质量以克为单位时,其数值上都与该粒子的相对原子质量或相对分子质量相等。我们将单位物质的量的物质所具有的质量叫摩尔质量。也就是说,物质的摩尔质量是该物质的质量与该物质的物质的量之比。摩尔质量的符号为 M (或 M_B),常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 或 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ (习惯上也有写作 g/mol 或 kg/mol)。

物质的量(n)、物质的质量(m)和物质的摩尔质量(M)之间存在着下列关系:

$$M = \frac{m}{n} \quad (1-2)$$

【例 1-1】 49g H_2SO_4 的物质的量是多少?

解 由 H、S、O 原子的原子量,可计算出 H_2SO_4 的摩尔质量为

$$M_B = 1\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 2 + 32\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 1 + 16\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 4 = 98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\text{利用关系式: } n = \frac{m}{M_B} = \frac{49\text{g}}{98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.5\text{mol}$$

答: 49g H_2SO_4 的物质的量为 0.5mol。

通过物质的量 n 和摩尔质量 M ,把肉眼看不见的微粒数 N 与可称量的物质质量 m 紧密联系起来,给化学研究带来了极大的方便。

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} \quad (1-3)$$

三、气体摩尔体积

1mol 物质在一定条件下所具有的体积,称为该物质在该条件下的摩尔体积。定义为:

$$V_m = \frac{V}{n} \quad (V_m \text{ 为摩尔体积的符号}) \quad (1-4)$$

摩尔体积的 SI 单位是 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$,化学上对固态或液态物质常用 $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$,对气态物质则常用 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 作单位。

在物理学中,学习过物质的体积、密度、质量之间的关系。现在我们又可以根据物质的相对原子质量或相对分子质量,知道 1mol 物质的质量,如果再知道物质的密度,就可以计算出 1mol 物质的体积。

如室温下,1mol Al 的质量为 27g,密度为 $2.7\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,则体积为 $27\text{g}/2.7\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 10\text{cm}^3$

1mol Fe 的质量为 56g,密度为 $7.8\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,则体积为 $56\text{g}/7.8\text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 7.2\text{cm}^3$

1mol H_2O 的质量为 18g,密度为 $1.00\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,则体积为 18cm^3

通过上述计算可以看出:对于固态或液态物质来说,1mol 不同物质的体积是不相同的。这是为什么呢?实际上摩尔体积的大小,一是取决于构成这种物质的微粒本身的大小,二是取决于微粒间平均距离的大小。由于构成固态或液态物质的分子、原子或离子间的距离很小,因此它们的体积大小主要取决于这些微粒的大小。所以各种固态或液态物质之间的摩尔体积差异很大。

那么,1mol 气态物质的体积是不是也不相同呢?

生活经验告诉我们,气体比固体和液体更容易被压缩。这说明气体分子之间的距离要比固体或液体中的粒子之间的距离大得多。在气体中,分子之间的距离要比分子本身的体积大很多倍,分子可以在较大的空间内运动(如图 1-1 所示)。在通常状况下,相同质量的气态物质的体积要比它在固态或液态时的体积大 1000 倍左右。

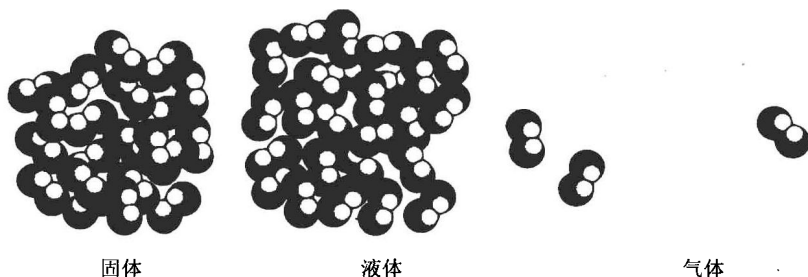


图 1-1 固体、液体、气体分子之间距离比较示意图

一般来说,若气体分子的直径为 0.4nm ,而分子之间的距离则约为 4nm ,即分子之间的距离约是分子直径的 10 倍。因此,当分子数目相同时,气体体积的大小主要取决于气体分子之间的距离,而不是气体分子本身体积的大小。

气体的体积与温度、压强等外界条件的关系非常密切。一定质量的气体,当温度升高时,气体分子之间的距离增大,当温度降低时,气体分子之间的距离缩小;当压强增大时,气体分子之间的距离减小,当压强减小时,气体分子之间的距离增大。因此,要比较一定质量气体的体积,就必须要在相同的温度和压强下才有意义。

我们通常将温度为 273.15K (即 0°C)、压强为 100kPa 时的状况称为标准状况。

大量实验证明,在标准状况下,1mol 任何实际气体占有的体积都约为 22.71L ,记为 V_m^\ominus (标准摩尔体积)。注意:由于标准压力规定的改变,而引起标准摩尔体积的变化。

欲比较几种气体的物质的量 n 或分子数 N 的大小,只要比较它们在相同状况下的体积大小即可。在同温、同压下,相同体积的任何气体都含有相同的数目的分子。这就是阿伏伽德罗定律。几种常见气体在标准状况下的摩尔体积见表 1-1。

表 1-1 几种气体在标准状况下摩尔体积

物质名称	摩尔质量 $M/(\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})$	密度 $\rho/(\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$	摩尔体积 $V_m^\ominus/(\text{L} \cdot \text{mol}^{-1})$
O_2	32.00	1.410	22.69
H_2	2.106	0.0887	22.72
N_2	28.02	1.2342	22.71
CO_2	44.01	1.9511	22.51

【例 1-2】 据估算,成人在平静呼吸时,每小时呼出 CO_2 气体约 11.35L(标准状况下),问每小时呼出的 CO_2 的质量是多少?

$$\text{解 } \because V = 11.35\text{L} \quad V_m^\ominus = 22.71\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \quad M(\text{CO}_2) = 44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\therefore n(\text{CO}_2) = \frac{V}{V_m^\ominus} = \frac{11.35\text{L}}{22.71\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.5\text{mol}$$

$$m = n \times M = 0.5\text{mol} \times 44\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 22\text{g}$$

答:平静呼吸时成人每小时呼出 CO_2 约 22g。

【例 1-3】 将下列物质按分子数从多到少排列成序,3g H_2 、10L O_2 (标准状况)、20ml H_2O ($\rho = 1.0\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)和 3.01×10^{23} 个 N_2 。

解 要比较分子数多少,只须比较物质的量 n 的大小。

$$\text{已知: } m(\text{H}_2) = 3\text{g} \quad M(\text{H}_2) = 2\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} \quad n(\text{H}_2) = \frac{m}{M} = \frac{3\text{g}}{2\text{g/mol}} = 1.5\text{mol}$$

$$V(\text{O}_2) = 10\text{L} \quad V_m^\ominus = 22.71\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \quad n(\text{O}_2) = \frac{V}{V_m^\ominus} = \frac{10\text{L}}{22.71\text{L/mol}} = 0.44\text{mol}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 20\text{ml} \times 1.0\text{g} \cdot \text{ml}^{-1} = 20\text{g} \quad M(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{\rho \cdot V}{M} = \frac{1.0\text{g/ml} \times 20\text{ml}}{18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 1.1\text{mol}$$

$$N(\text{N}_2) = 3.01 \times 10^{23} \quad N_A = 6.02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}$$

$$n(\text{N}_2) = \frac{N}{N_A} = \frac{3.01 \times 10^{23}}{6.02 \times 10^{23}\text{mol}^{-1}} = 0.5\text{mol}$$

$$\therefore n(\text{H}_2) > n(\text{H}_2\text{O}) > n(\text{N}_2) > n(\text{O}_2)$$

$$\therefore N(\text{H}_2) > N(\text{H}_2\text{O}) > N(\text{N}_2) > N(\text{O}_2)$$

第 2 节 溶液的浓度

一、分散系的概念

一种或几种物质以细小粒子分散在另一种物质里形成的体系称为分散系。分散系中被分散的物质称为分散相(或分散质),容纳分散相的物质称为分散介质(分散剂)。例如氯化钠溶液是分散系,其中氯化钠是分散相,水是分散介质。

根据分散程度的不同,分散系可分为以下三类。

(一) 分子(或离子)分散系

分散相颗粒直径小于 10^{-9}m ($<1\text{nm}$)的分散系称为分子或离子分散系。这类分散系中的分散相的粒子实际上是单个的分子或离子,分散相和分散介质之间不存在界面,因此它称为均匀分散系或称为真溶液。因为分子或离子都非常小,它们能透过滤纸,不能阻止光线通过,所以这类分散系是均匀透明的,也是稳定的。

(二) 胶体分散系

分散相颗粒直径在 $10^{-9} \sim 10^{-7}\text{m}$ ($1 \sim 100\text{nm}$)之间的分散系称为胶体分散系,简称胶体溶液。胶体分散系中分散相粒子分为两类,一类是由许多分子聚集而成的,比分子或离子分散相的粒子大得多,分散相和分散介质之间有界面存在,属非均匀体系。如氢氧化铁溶胶、氯化银溶

胶等。另一类是由大分子化合物溶于水形成的溶液,分散相粒子的直径在此范围内,分散相和分散介质之间没有相界面存在,属均匀体系。如蛋白质溶液、聚乙二醇溶液等。胶体溶液中粒子可以透过滤纸,但不能透过半透膜,可用半透膜将它们与溶剂分离。

(三) 粗分散系

分散相颗粒直径大于 10^{-7}m ($>100\text{nm}$) 的分散系称为粗分散系。这类分散系中的分散相粒子比胶体分散系中的粒子更大,分散相和分散介质之间有相界面存在,所以粗分散系是不均匀的。由于分散相的粒子更大,不能透过滤纸和半透膜,能阻止光线通过,所以粗分散系的外观是浑浊、不透明的;而且分散相易受重力的作用而降沉,因此粗分散系是不稳定的。如悬浊液和乳浊液,泥浆、氧化锌搽剂等。

在无机化学中,我们侧重讨论真溶液的一些性质。

二、溶液的浓度

在生产和科学实验中,我们经常要使用溶液,为了表明溶液中溶质和溶剂之间的定量关系,需要使用表示溶液组成的物理量。

稀溶液的浓度表示方法主要有两种,一是用单位体积溶液中溶质的质量或物质的量表示,一是用单位质量溶剂中溶质的物质的量表示,通常使用前者。

下面介绍几种常用的溶液浓度表示方法:

(一) 质量浓度

在一定量体积的溶液中所含溶质 B 的质量来表示溶液组成的物理量,其符号为 ρ_B 。定义为:

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-5)$$

质量浓度的 SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,化学和医学上多用 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 等单位。

溶液的浓度在医学上的应用

医学上表示液体的组成时,对于相对分子质量 M 已知的物质,可使用物质的量浓度,如在注射液的标签上同时写明质量浓度和物质的量浓度,如生理盐水瓶上标明 $\rho_B = 9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, $c_B = 0.15\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 对于体液中少数的相对分子质量尚未准确测定的物质可以暂时使用质量浓度。例如,免疫球蛋白 G (IgG) 的质量浓度的正常值范围为 $7.60 \sim 16.60\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 免疫球蛋白 D (IgD) 含量的正常值范围为 $30 \sim 50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

链接

【例 1-4】 我国药典规定,注射用生理盐水的规格是 0.5L 生理盐水中含 NaCl 4.5g。问生理盐水的质量浓度是多少? 如某病人已滴注 0.8L 生理盐水,问有多少克氯化钠进入了体内?

解

$$\because m_{\text{NaCl}} = 4.5\text{g} \quad V = 0.5\text{L}$$

$$\therefore \rho_B = \frac{m_B}{V} = \frac{4.5\text{g}}{0.5\text{L}} = 9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

由

$$\rho_B = 9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}, V = 0.8\text{L}$$