



技能型紧缺人才培养培训工程教材
面向21世纪全国卫生职业教育系列教改教材

供高职（**5年制**）护理、助产、检验、药剂、卫生保健、
康复、口腔工艺、影像技术等相关医学专业使用



无机化学

张少云 李峰 主编



科学出版社
www.sciencep.com

技能型紧缺人才培养培训工程教材
面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材

供高职(5 年制)护理、助产、检验、药剂、卫生保健、康复、口腔
工艺、影像技术等相关医学专业使用

无机化学

张少云 李 峰 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材之一,全书 11 章,内容包括物质的量;溶液;原子结构和元素周期律;元素及其化合物;分子结构;氧化还原反应;化学反应速率和化学平衡;电解质溶液;缓冲溶液;胶体溶液;配位化合物等。编写过程中力争使教材具有思想性、科学性、适用性、实用性和创新性,体现“贴近社会、贴近岗位、贴近学生”的职业教育特色。本教材不仅供高职 5 年制护理及相关医学专业使用,亦可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/张少云,李峰主编. —北京:科学出版社,2003.8

(面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材)

ISBN 7-03-011883-9

I. 无… II. ①张…②李… 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(2003)第 065805 号

责任编辑:吴茵杰 李 君 / 责任校对:柏连海

责任印制:刘士平 / 封面设计:卢秋红

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 8 月 第 一 版 开本: 850×1168 1/16

2004 年 9 月 第三次印刷 印张: 15

印数: 12 001—17 000 字数: 291 000

定价: 18.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

序 言

雪,纷纷扬扬。

雪日的北京,银装素裹,清纯,古朴,大器,庄重。千里之外的黄山与五岳亦是尽显雾凇、云海的美景。清新的气息、迎新的笑颜,在祖国母亲的怀抱里,幸福欢乐,涌动着无限的活力!

今天,“面向 21 世纪全国卫生职业教育系列教改教材”——一套为指导同学们学、配合老师们教而写的系列学习材料,终于和大家见面了!她是全国卫生职业教学新模式研究课题组和课程建设委员会成员学校的老师们同心协力、创造性劳动的成果。

同学,老师,所有国人,感悟着新世纪的祖国将在“三个代表”重要思想的指引下,实现中华民族的伟大复兴,由衷地欢欣鼓舞与振奋。与世界同步,祖国的日新月异更要求每个人“活到老,学到老”,才能贡献到老,终生幸福。学习的自主性养成、能动性的发挥与学习方法的习得,是现代人形成世界观、人生观、价值观和掌握专业能力、方法能力、社会能力,进而探索人生与一生持续发展的基础、动力、源泉。面对学习,每个人都会自觉或不自觉地提出三个必须深思的问题,即为什么学?学什么?怎么学?

所以,教材的编写老师也必须回答三个相应的问题,即为什么写?为谁写?怎么写?

可以回答说,这一套系列教改教材是为我国医疗卫生事业的发展,为培养创新性实用型专业人才而写;为同学们——新世纪推动卫生事业发展的创新性专业人才,自主学习,增长探索、发展、创新的专业能力而写;为同学们容易学、有兴趣学,从而提高学习的效率而写;为同学们尽快适应岗位要求,进入工作角色,完成工作任务而写。培养同学们成为有脑子,能沟通,会做事的综合职业能力的专业人才。

为此,教材坚持“贴近学生、贴近社会、贴近岗位”的基本原则,保证教材的科学性、思想性,同时体现实用性、可读性和创新性,即体现社会对卫生职业教育的需求和专业人才能力的要求、体现与学生的心理取向和知识、方法、情感前提的有效连接、体现开放发展的观念及其专业思维、行为的方式。

纷飞的雪花把我们的遐想带回千禧年的初春。国务院、教育部深化教育改革推进素质教育,面向 21 世纪教育振兴行动计划和“职业教育课程改革和教材建设规划”的春风,孕育成熟了我们“以社会、专业岗位需求为导向,以学生为中心,培养其综合职业能力”的课程研究构思,形成了从学分制、弹性学制的教学管理改革,建立医学相关多专业的高职、中职互通的模块化课程体系,延伸到课程教学内容与教学模式开发的系统性课题研究。

新课程模式的构架,由“平台”和“台阶”性模块系统构成。其中,“平台”模块是卫生技术人员在不同专业的实践、研究中具有的公共的、互通的专业、方法与社会能力内容;而“台阶”模块则是各专业的各自能力成分的组合。其设计源于“互动整合医学模式”。现代医疗卫生服务是一个以服务对象——人的健

康为中心的、服务者与被服务者、服务者(医学与医学相关专业工作者)之间协调互动的完整过程。医疗卫生服务是一个团队行为,需要不同专业人员从各自专业的角度提供整合性的专业服务,才能达到最佳效果。她是“生物-心理-社会医学模式”的完善、提升与发展。

系统化的课程开发与教材编写的依据是教育部职成教司“中等职业学校重点建设专业教学指导方案”(教育部办公厅[2001]5号文)和教育部、卫生部护理专业“技能型紧缺人才培养培训工程”指导方案(教育部教职成[2003]5号文),积极吸收国外护理教育与国外职教的先进教学理论、模式与方法。课程体系在国际平台上得到了同行的认可,她保证了课程、教材开发的先进性与可操作性的结合。教材的主编选自全国百余所卫生类职业院校与承担教学任务的高水平的医院,他们富有理论与实践经验。教材编写中,编写人员认真领会教育部、卫生部护理专业“技能型紧缺人才培养培训工程”的指导原则,严格按照“工程”方案的课程体系、核心课程目标、教学方法而完成编写任务。

使用本套系列教改教材,应把握其总体特点:

1. 相关医学专业课程体系的整体化

高职、中职不同教育层次、不同专业的课程结构形成开放性的科学系统。各“平台”、“台阶”课程教材之间、教材与学生的心理取向以及认知情感前提、社会、工作岗位之间,通过课程正文系统和“链接”、“接口”的“手拉手”互连,为学生搭建了“通畅、高速、立交、开放”的课程学习系统。学生可利用这一系统自主选择专业与课程,或转换专业、修双专业等,以适合自己的兴趣和经济状况、社会和专业岗位的需求,更好地发展自己。

每门课程的教材内部结构分为正文与非正文系统。正文部分保证了模块在课程系统中的定位,非正文部分的“链接”等对课程内容做了必要的回顾与扩展,保证学生的学习和教师的指导能在专业目标系统与各学科知识系统之间准确地互动整合,提高教学的有效性。

2. 学习的能动化

在学生的学习成长过程中,模块化教材体系为教师指导下的学生自主学习提供了基础。学生可以把岗位特征、社会需要与个人兴趣、家庭的期望和经济承受能力相结合,自主选择专业,调动学习的能动性,促进有效学习过程。这种作用已经在国际化职教课程研究中得到证实。

3. 课程学习向实践的趋近化

促进了医学相关专业的专业发展,缩小了教学与临床实践的距离。

“平台”与“台阶”的模块化课程结构,使护理等医学相关专业在医疗卫生大专业概念的基础平台上,能够相对独立地建构自己专业的学习与发展空间。于此,“台阶”的专业模块课程,可按照本专业的理念、体系、工作过程的逻辑序列与学生认知心理发展的发展序列,建构二者相互“匹配”的专业课程教学体系,特别是得以形成以“行动导向教学”为主的整合性专业课程,提高了课程的专业与应用属性,使专业教学更贴近岗位要求。

同时,“台阶”性专业课程系列的模块集群为校本课程开发留有空间。

4. 课堂教学活动与学习资源的一体化

学校在现代教学观念与理论引导下,可以按照不同的心理特点与学习方法、学习习惯,引导学生,可以组成不同班次,选择相适合的老师指导。

现代职业教育要求教师根据教学内容与学生学习背景,活用不同的教学模

式、方法与手段,特别是专业课程通过“行动导向教学”的团组互动、师生互动,指导学生自学和小组学习,这样在情境性案例教学中,培养学生的综合职业能力。本套教材配合这样的教学活动,通过正文与非正文内容,恰当地处理重点、难点和拓展性知识、能力的联系,引导学生通过适当形式学习,使学生有兴趣学,容易学,学会解决实际问题,不再是“满堂灌”、“背符号”。

5. 科学性、工作过程与可读性的统一化

教材的正文系统是学习资源的主体信息部分,应当认真研读。正文外延与内涵以专业的科学性及其工作过程为基础,深入浅出,化繁为简,图文并茂。非正文系统,特别是“链接”、“片段”和“接口”的创新性设计,起到系统连接与辅助学习作用。“链接”的内涵较浅而小,而“片段”的内涵较“链接”为多。它们既是课程系统内部不同课程、专业、教育层次之间的连接组件,而且是课程系统向外部伸延,向学生、社会、岗位“贴近”的小模块,它帮助学生开阔视野,激活思维,提高兴趣,热爱专业,完善知识系统,拓展能力,培养科学与人文精神结合的专业素质。对此,初步设计了“历史瞬间”、“岗位召唤”、“案例分析”、“前沿聚焦”、“工具巧用”、“社会视角”、“生活实践”等7个延伸方向的专栏。各教材都将根据课程的目标、特点与学生情况,选择编写适宜内容。“接口”表述的内涵较深,存在于另一门课程之中,用“链接”不足以完成,则以“接口”明确指引学生去学(复)习相关课程内容,它是课程连接的“指路牌”。

我们的研究与改革是一个积极开放、兼容并蓄、与时俱进的系统化发展过程,故无论是课程体系的设计还是教材的编写,一定存在诸多不妥,甚至错误之处。我们在感谢专家、同行和同学们认可的同时,恳请大家的批评指正,以求不断进步。

值此之际,我们要感谢教育部职成教司、教育部职业教育中心研究所有关部门和卫生部科教司、医政司等有关部门以及中华护理学会的领导、专家的指导;感谢北京市教科院、朝阳职教中心的有关领导、专家的指导与大力支持。作为课题组负责人和本套教材建设委员会的主任委员,我还要感谢各成员学校领导的积极参与、全面支持与真诚合作;感谢各位主编以高度负责的态度,组织、带领、指导、帮助编者;感谢每一位主编和编者,充分认同教改目标,团结一致,克服了诸多困难,创造性地、出色地完成了编写任务;感谢科学出版社领导、编辑以及有关单位的全力支持与帮助。

“河出伏流,一泻汪洋”。行重于言,我们相信,卫生职业教学的研究、改革与创新,将似涓涓溪流汇江河入东海,推动着我们的事业持续发展,步入世界前列。

纷纷扬扬的雪花,银装素裹的京城,在明媚的阳光下粼粼耀眼,美不胜收。眺望皑皑连绵的燕山,远映着黄山、五岳的祥和俊美。瑞雪丰年,润物泽民。腾飞的祖国,改革创新的事业,永远焕发着活力。

全国卫生职业教学新模式研究课题组
《面向21世纪全国卫生职业教育系列教改教材》
课程建设委员会

刘晨

2002年12月于北京,2004年1月2日修

前 言

近一段时间以来,很多卫生职业学校实行了模块化教学模式和学分制,取得了可喜的进展。本教材以 2001 年教育部颁布的《中等职业学校重点建设专业教学指导方案》(教职成厅[2001]5 号)为依据,结合参与课程模式改革的部分教师的亲身体会编写的。

本教材主要供卫生职业学校初中起点五年一贯制护理及相关医学专业使用。它是在中专化学中“无机化学”内容的基础上,参照高职、高专的培养目标,对其加以整合而成的。教材内容保留了最为基本的化学理论和基础知识及实践技能,对分族元素进行了大胆删减,全书 11 章内容中,仅有 1 章分族元素,内容编写上也较以往有很大改动。为增加本教材的灵活性,全书教学内容分为三个模块:基础模块、实践模块和选学模块。其中基础模块和实践模块是必学内容,对于选学模块,各个学校可根据学时、学分和学生认知水平等情况进行选择。为保证每一章内容的整体性和知识的连续性,选学模块的内容分布在各章中并以“*”标注。

在编写过程中,力求教材具有思想性、科学性、适用性、实用性和创新性,体现“贴近社会、贴近岗位、贴近学生”的职业教育特色,本着实用、够用的原则,打破了化学学科的固有体系,保证以最为基本的必知、必会内容为基础,与专业培养目标和课程教学基本要求相符合。编写形式上的突出特点是:以章为单位列出了详尽的学习目标,在每一章后设有小结和目标检测题,增加了学习内容的透明度,方便教师和学生的使用;教材中穿插的“链接”内容,丰富多彩,趣味性强,有助于学生对相关知识的了解,拓展学生思维,也可激发学生的学习兴趣;此外,为方便教师、学生的使用,还在教材后详细列出了三大模块的内容划分和教学要求以及学时分配参照表。

本教材的编写是在全国卫生职业教育教学新模式研究课题组的指导下进行的,得到了河北省廊坊市卫生学校、河南省信阳卫生学校、河北医科大学沧州分校、四川省卫生学校、陕西省西安市卫生学校、四川省乐山职业技术学院、三峡大学护理学院、柳州市卫生学校、深圳卫生学校的大力支持,并得到了北京护士学校刘晨老师和科学出版社编辑的详细指导,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,本教材难免会有不足和不妥之处,真诚地希望读者不吝赐教。

编 者

2003 年 7 月

目 录

第 1 章 物质的量	(1)
第 1 节 物质的量及其单位	(1)
第 2 节 摩尔质量	(4)
第 3 节 气体摩尔体积	(6)
第 2 章 溶液	(12)
第 1 节 溶液	(12)
第 2 节 溶液的渗透压	(18)
第 3 章 原子结构和元素周期律	(24)
第 1 节 原子的组成	(24)
第 2 节 核外电子的运动状态	(27)
第 3 节 原子核外电子的排布	(31)
第 4 节 元素周期律和元素周期表	(36)
第 4 章 元素及其化合物	(47)
第 1 节 碱金属	(47)
第 2 节 卤族元素	(52)
* 第 3 节 硫的化合物——硫酸	(59)
* 第 4 节 氮的化合物	(61)
第 5 章 分子结构	(68)
第 1 节 离子键	(68)
第 2 节 共价键	(71)
第 3 节 分子的极性和分子间作用力	(77)
第 4 节 氢键	(79)
第 6 章 氧化还原反应	(84)
第 1 节 氧化还原反应的概念	(85)
第 2 节 氧化剂和还原剂	(89)
第 3 节 氧化还原反应方程式的配平	(94)
* 第 4 节 原电池	(95)
第 7 章 化学反应速率和化学平衡	(104)
第 1 节 化学反应速率	(104)
第 2 节 化学平衡	(109)
第 8 章 电解质溶液	(124)
第 1 节 弱电解质的电离平衡	(125)
第 2 节 离子反应	(132)

第3节 水的电离和溶液的 pH 值	(134)
第4节 盐的水解	(140)
*第5节 难溶电解质的沉淀溶解平衡	(145)
第9章 缓冲溶液	(156)
第1节 同离子效应	(156)
第2节 缓冲溶液	(157)
第10章 胶体溶液	(170)
第1节 分散系	(170)
第2节 胶体溶液的性质	(172)
*第3节 高分子化合物溶液	(177)
第11章 配位化合物	(183)
第1节 配位化合物基本概念	(184)
第2节 配位化合物的性质	(187)
第3节 螯合物	(192)
*第4节 配位化合物与医学	(193)
无机化学实验	(196)
实验一 化学实验基本操作	(197)
实验二 溶液的配制及稀释	(201)
实验三 元素及其化合物	(204)
实验四 氧化还原反应	(207)
实验五 化学反应速率和化学平衡	(209)
实验六 电解质溶液	(211)
实验七 缓冲溶液	(213)
实验八 配位化合物的生成和性质	(215)
无机化学(5年制)教学基本要求	(218)
附表1 基态原子的电子分布	(225)
附表2 元素周期表	(227)

物质的量



学习目标

1. 说出物质的量、摩尔质量和气体摩尔体积的定义、单位、符号
2. 学会物质的量与物质的质量、摩尔质量、气体体积的相关计算

在实验室和生活中,我们能感知到水、钢铁、氧气、二氧化硫等物质的存在,这种能感知的物质我们把它称为宏观物质,常用质量单位 g、kg 或体积单位 m^3 、 cm^3 、 dm^3 、L、mL 等进行计量。而水、铁等这些宏观物质又是由许许多多不能直接进行称量的、肉眼看不见的分子、原子等微粒(微观物质)聚集成的,化学反应也是按照一定数量的这些微粒的集体之间进行的。如何将两者建立起一种关系联系起来呢?

我们常用物理量来描述客观物质的性质,为了把宏观物质的质量与所含有的微观物质的微粒个数联系起来,我们引用了一个新的物理量——物质的量。

◆ 第1节 物质的量及其单位

一、物质的量

“物质的量”是量的名称,它和长度、时间、质量等量一样,是国际单位制(SI)中的7个基本物理量之一,是衡量物质所含微粒多少的物理量。如果我们把组成物质的分子、原子、离子、质子、电子及其他微粒,或这些粒子的特定组合称为基本单元,那么,物质的量就是表示以一特定数目的基本单元为集体的、与

基本单元数成正比的物理量。物质的量的符号用“ n ”来表示。通常要在 n 的右下角(或用括号形式)写明基本单元。

如:氢原子的物质的量 n_{H} 或 $n(\text{H})$, 氢分子的物质的量 n_{H_2} 或 $n(\text{H}_2)$

水的物质的量 $n_{\text{H}_2\text{O}}$ 或 $n(\text{H}_2\text{O})$, 某粒子 B 的物质的量 n_{B} 或 $n(\text{B})$

本书中在不会产生混淆的情况下,我们也可直接简写为 n (后面内容中的 N 、 M 类似)。需注意的是:物质的量仅仅用于说明基本单元,若用物质的量来说明非基本单元是毫无意义的,例如:可以说“水分子的物质的量是多少”而不能说“水的物质的量是多少”。



想一想,写一写 硫酸、氢离子的物质的量怎样表示?

二、物质的量单位——摩尔

正如长度(l)的单位是米(m),质量(m)的单位是千克(kg)一样,物质的量(n)的单位是摩尔(mol)。

1971年举行的第14届国际计量大会(CGPM)决议通过:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元数与0.012kg 碳-12的原子数目相等,符号是“ mol ”。

这里有三层意思:一是指明摩尔是物质的量的单位;二是定义了摩尔这个单位的大小。按定义,只要系统中基本单元 B 的数目与0.012kg ^{12}C 的原子数一样多,B 的物质的量就是1mol。三是规定了摩尔的国际符号是“ mol ”。使用摩尔时基本单元应予指明,可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子,或是这些粒子的特定组合。

究竟基本单元数为多少时,物质的量是1mol呢?

意大利科学家阿伏伽德罗经科学实验测得,0.012kg 碳-12 所含的原子数目约为 6.02×10^{23} 个碳原子,此量值就称为阿伏伽德罗常数,用符号 N_{A} 表示,单位是 mol^{-1} ,即

$$N_{\text{A}} = 6.02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$$

因此,物质的量就是以阿伏伽德罗常数这一特定数目作为标准来计量微观

链接

国际单位制(SI)中7个基本物理量

物理量		单位	
名称	符号	名称	符号
长度	l	米	m
质量	m	千克	kg
时间	t	秒	s
电流	I	安[培]	A
热力学温度	T	开[尔文]	K
发光强度	$I[\text{I}_v]$	坎[德拉]	cd
物质的量	n	摩[尔]	mol

物质。

从摩尔的定义可以推知:1mol的任何微观物质都含有 6.02×10^{23} 个基本单元,例如:

1mol的O约含有 6.02×10^{23} 个氧原子;

1mol的 H_2O 约含有 6.02×10^{23} 个水分子;

1mol的 Fe^{2+} 约含有 6.02×10^{23} 个正二价铁离子;

1mol的 CO_3^{2-} 约含有 6.02×10^{23} 个碳酸根离子;

1mol的 CO_2 约含有 6.02×10^{23} 个二氧化碳分子。

物质的量 n 、阿伏伽德罗常数 N_A 和物质的基本单元数 N_B 有如下关系:

$$n_B = \frac{N_B}{N_A} \text{ 或 } N_B = n_B \cdot N_A \quad (1-1)$$

由此可知,物质的量 n 相等的任何物质,它们包含有的基本单元数 N_B 也一定相等。反之也成立。例如,0.1mol CO_2 和 0.1mol O_2 所包含的基本单元数相等,都含有 6.02×10^{22} 个分子。

利用(1-1)可以进行 n_B 与 N_A 之间的计算。

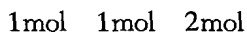
【例1】 0.2mol $CaCl_2$ 含有的基本单元数和各种离子数各是多少?

解: $\because n(CaCl_2) = 0.2 \text{ mol}, N_A = 6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

代入公式(1-1)

$$N(CaCl_2) = n(CaCl_2) \times N_A = 0.2 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.204 \times 10^{23}$$

又:由 $CaCl_2$ 的组成可知 $CaCl_2 \longrightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$



即

$$n(Ca^{2+}) = n(CaCl_2) = 0.2 \text{ mol}$$

$$n(Cl^-) = 2 \times n(CaCl_2) = 2 \times 0.2 = 0.4 \text{ (mol)}$$

$$\therefore N(Ca^{2+}) = n(Ca^{2+}) \times N_A = 0.2 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.204 \times 10^{23}$$

$$N(Cl^-) = n(Cl^-) \times N_A = 0.4 \times 6.02 \times 10^{23} = 2.408 \times 10^{23}$$

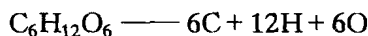
答:0.2mol $CaCl_2$ 中含有 $CaCl_2$ 1.204×10^{23} 个,含 Ca^{2+} 1.204×10^{23} 个,含 Cl^- 2.408×10^{23} 个。

【例2】 3mol $C_6H_{12}O_6$ 中含有的基本单元数及其组成中的各原子数是多少?

解:基本单元 $C_6H_{12}O_6$ 的物质的量 $n = 3 \text{ mol}$

$$\therefore N(C_6H_{12}O_6) = n(C_6H_{12}O_6) \times N_A = 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.806 \times 10^{24}$$

又:



$$n(C) = n(O) = 6 \times n(C_6H_{12}O_6), n(H) = 12 \times n(C_6H_{12}O_6)$$

$$\therefore N(C) = n(C) \times N_A = 6 \times 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.084 \times 10^{25}$$

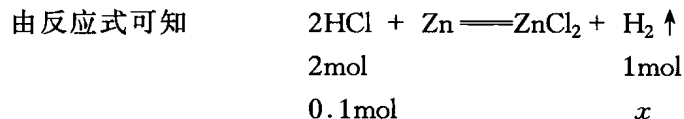
$$N(H) = n(H) \times N_A = 12 \times 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 2.163 \times 10^{25}$$

$$N(O) = n(O) \times N_A = 6 \times 3 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.084 \times 10^{25}$$

答:3mol $C_6H_{12}O_6$ 含有基本单元数为 1.806×10^{24} 个,含O和C的原子个数分别为 1.084×10^{25} 个,含H的原子个数为 2.163×10^{25} 个。

【例 3】 用 0.1mol 盐酸和足量的金属锌反应,产生的氢气的物质的量是多少?

解:设产生氢气的物质的量为 x ,



$$2:1=0.1:x$$

$$\text{解得 } x = (0.1 \times 1) \div 2 = 0.05(\text{mol})$$

答:产生的氢气的物质的量为 0.05mol。

在实际应用中,有时摩尔这个计量单位显得过大,常用毫摩尔(mmol)或其他倍数单位来计量。如医学上 1L 血浆中含 Na^+ 为 142mmol,含 HPO_4^{2-} 为 1mmol。它们之间的关系为:

$$1\text{mol} = 10^3\text{mmol}(\text{毫摩}) = 10^6\mu\text{mol}(\text{微摩}) = 10^9\text{nmol}(\text{纳摩})$$

◆ 第 2 节 摩尔质量

一、摩尔质量的定义和表示

摩尔质量就是物质 B 的质量(m_B)除以其物质的量(n_B),摩尔质量的符号为 M_B 。其数学表达式为:

$$M_B = \frac{m_B}{n_B} \quad (1-2)$$

摩尔质量的 SI 单位制是 $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。化学上常用 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 表示,单位的中文符号是克/摩。书写时基本单元以括弧或下角标的形式予以指明,如:

H_2O 的摩尔质量记为: $M(\text{H}_2\text{O})$ 或 $M_{\text{H}_2\text{O}}$

OH^- 的摩尔质量记为: $M(\text{OH}^-)$ 或 M_{OH^-}

H_2SO_4 的摩尔质量记为: $M(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 或 $M_{\text{H}_2\text{SO}_4}$

Fe 的摩尔质量记为: $M(\text{Fe})$ 或 M_{Fe}

由于元素的原子量是一个相对值,是元素的平均原子质量与 ^{12}C 原子质量的 $1/12$ 之比。1mol ^{12}C 的质量为 12g,因此,任何物质的摩尔质量 M 如果以 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 为单位,其数值就等于这种物质的化学式量。由此可以推知:

1mol 的 C 的质量是 12g, C 的摩尔质量记为 $M(\text{C}) = 12\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol 的 O 的质量是 16g, O 的摩尔质量记为 $M(\text{O}) = 16\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol 的 H_2O 的质量是 18g, H_2O 的摩尔质量记为 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol 的 OH^- 的质量是 17g, OH^- 的摩尔质量记为 $M(\text{OH}^-) = 17\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

1mol 的 $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 的质量是 49g, $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 的摩尔质量记为 $M(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = 49\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

由(1-2)式可以得出:

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (1-3)$$

由(1-1)和(1-3)两式可以得出基本单元数 N :

$$N_B = \frac{m_B}{M_B} \times N_A \quad (1-4)$$

从(1-3)和(1-4)两式可以看出,只要已知物质的质量,即可求出所含有的微粒数。物质的量像一座桥梁,把肉眼看不见的微观物质(分子、原子、离子等)与可以称量的宏观物质联系起来。有了物质的量 n 及其单位 mol,使化学的科学描述与表达更简明、更科学,更便于人们深刻地理解物质在化学反应中的变化规律,给科学研究带来极大方便。

二、有关摩尔质量的计算

【例 4】 2.5mol 铁原子的质量是多少?

解: $M(\text{Fe}) = 56\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 2.5mol 铁原子的质量是:

$$m(\text{Fe}) = n(\text{Fe}) \times M(\text{Fe}) = 2.5 \times 56 = 140(\text{g})$$

答: 2.5mol 铁原子的质量是 140g。

【例 5】 36g 水的物质的量是多少? 含水分子和氧原子的个数各为多少?

解: 水的质量: $m(\text{H}_2\text{O}) = 36\text{g}$, 水的摩尔质量 $M(\text{H}_2\text{O}) = 18\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\text{所以水的物质的量: } n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{36}{18} = 2(\text{mol})$$

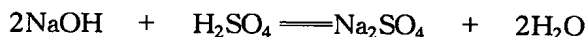
$$\begin{aligned} \text{水分子的个数为: } N(\text{H}_2\text{O}) &= n(\text{H}_2\text{O}) \times N_A = 2 \times 6.02 \times 10^{23} \\ &= 1.204 \times 10^{24}(\text{个}) \end{aligned}$$

$$\text{氧原子的个数为: } N(\text{O}) = n(\text{O}) \times N_A = 2 \times 6.02 \times 10^{23} = 1.204 \times 10^{24}(\text{个})$$

答: 36g 的水的物质的量是 2mol, 含水分子和氧原子的个数各为 1.204×10^{24} (个)。

【例 6】 中和 20g NaOH 需要 H_2SO_4 物质的量是多少?

解: 设中和 20g NaOH 需要 H_2SO_4 物质的量是 x mol, 根据反应方程式可得:



$$80\text{g} \quad \quad \quad 1\text{mol}$$

$$20\text{g} \quad \quad \quad x\text{mol}$$

$$\text{解得 } x = (20 \times 1) / 80 = 0.25(\text{mol})$$

答: 中和 20g NaOH 需要 H_2SO_4 物质的量是 0.25mol。

◆ 第3节 气体摩尔体积

一、气体的体积

在日常生活和科学实验中,我们也常用体积来计量物质。通过实验我们测得 1mol 固体或液体物质的体积是不同的。例如,20℃ 时,1mol 铁原子的体积是 7.1cm^3 ,1mol 铝原子的体积是 10cm^3 ,1mol 铅原子的体积是 18.3cm^3 (图 1-1);1mol 水分子的体积 18.0cm^3 ,1mol 硫酸分子的体积是 54.1cm^3 ,1mol 蔗糖分子的体积是 215.5cm^3 (图 1-2)。

1mol 固体或液体物质的体积为什么不同呢?这是因为构成固体和液体物质微粒间的距离很小,固体或液体物质的体积主要取决于原子、分子或离子的大小。由于构成不同物质的原子、分子或离子的大小是不同的。如:1 个蔗糖分子的体积比 1 个水分子大,因此,1mol 蔗糖比 1mol H_2O 的体积要大得多。由此可见,1mol 不同的固体或液体物质的体积大小是不等的。

1mol 气体物质的体积又怎样呢?

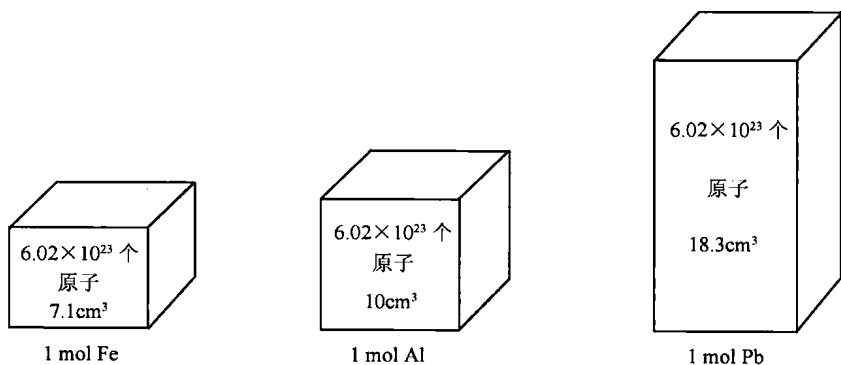


图 1-1 1mol 的几种金属

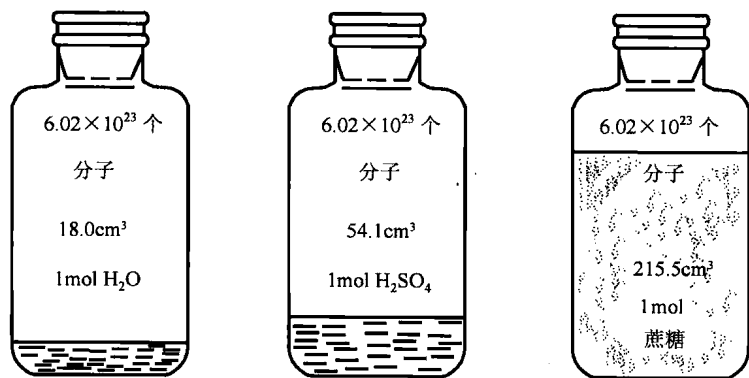


图 1-2 1mol 的几种化合物

我们都具有这样的生活体验:夏天自行车轮胎的气不能打得太足,否则轮胎会爆炸。这说明气体物质分子间有较大的空间,具有扩散性和可压缩性。通常状况下,气体分子间的平均距离较固体和液体大得多。气体分子间的平均距离为4nm,是分子直径的10倍左右,所以,气态物质的体积要比其固态或液态时的体积大1000倍左右。例如,1g水在液态时的体积大约为1mL,但在100℃,101.3kPa下成为水蒸气时体积约为1700mL。对于一定量的气体,其体积大小主要取决于气体分子间的平均距离,不像固体和液体取决于分子或原子本身体积的大小。而气体分子间的平均距离与温度、压强等外界条件密切相关。温度升高,气体分子间的平均距离增大,即体积增大;温度降低,分子间的平均距离减小,即体积缩小。压强增大,气体分子间的平均距离减小,则体积减小;压强减小,气体分子间的平均距离增大,则体积增大。因此,用体积来计量气体时,必须标出所处的温度和压强才有意义。一定量的同种气体,在不同的温度和压强下,由于分子间的平均距离不同,气体的体积不相同;一定量的不同气体,在相同的温度和压强下,由于分子间的平均距离几乎相等,气体的体积也基本相同。

在同温同压下,相同体积的任何气体,都含有相同的分子数目。这就是阿伏伽德罗定律。

二、气体摩尔体积

摩尔体积就是物质的体积除以物质的量。摩尔体积的量符号为 V_m ,数学表达式为:

$$V_m = V/n \quad (1-5)$$

摩尔体积的SI基本单位是 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ 。化学中,固态或液态物质常用 $\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$,气态物质常用 $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ 表示。

将密度的数学表达式 $\rho = m/V$ 中的分子、分母同除以物质的量 n ,则得

$$\rho = M_B/V_m \quad \text{或} \quad V_m = \rho M_B \quad (1-6)$$

利用上式,我们可以计算出一定条件下气体的摩尔体积。

计算1mol H_2 、 O_2 和 CO_2 在标准状况(STP)(压强为101.3kPa,温度为0℃的状态称为标准状况)时的体积。 $M(\text{H}_2)$ 为 $2.016\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}_2)$ 为 $32.00\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{CO}_2)$ 为 $44.00\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$,其密度分别为 $0.0899\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.429\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1.997\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这样便可算出1mol H_2 、 O_2 和 CO_2 在标准状况下所占有的体积:

$$1\text{mol } \text{H}_2 \text{ 的体积} = \frac{2.016\text{g}}{0.0899\text{g} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 22.4\text{L}$$

$$1\text{mol } \text{O}_2 \text{ 的体积} = \frac{32.00\text{g}}{1.429\text{g} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 22.4\text{L}$$

$$1\text{mol } \text{CO}_2 \text{ 的体积} = \frac{44.00\text{g}}{1.997\text{g} \cdot \text{L}^{-1}} \approx 22.4\text{L}$$

通过上面的计算可以看出:在标准状况下,1mol气体的体积都约为22.4L。

大量实验证明,在标准状况下(STP),1mol任何气体所占有的体积都约为22.4L,这个体积称为**气体摩尔体积**。

气体摩尔体积用符号 $V_{m,o}$ 表示,气体摩尔体积的SI单位是 $m^3 \cdot mol^{-1}$,化学上常用 $L \cdot mol^{-1}$ 。即 $V_{m,o} = 22.4 L \cdot mol^{-1}$ 。固体、液体物质1mol体积单位常用 $cm^3 \cdot mol^{-1}$ 表示。

由气体体积和气体摩尔体积求物质的量的计算公式为:

$$n_B = \frac{V_B}{V_{m,o}} \quad (1-7)$$

【例7】 计算标准状况下,0.5mol的氧气的体积是多少?

$$\text{解:} \because n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{m,o}}$$

$$\therefore V_{O_2} = n_{O_2} \cdot V_{m,o} = 0.5 \times 22.4 = 11.2(L)$$

答:标准状况下,0.5mol氧气的体积为11.2L。

【例8】 标准状况下,多少千克氨气与44.8L二氧化碳含有相等的原子个数?

解:由题意知: NH_3 与 CO_2 的原子数相同,则组成它们的原子的物质的量也相等,设为 n 。

由 NH_3 、 CO_2 分子组成知:

$$n_{NH_3} = \frac{1}{4}n, n_{CO_2} = \frac{1}{3}n$$

$$\text{而 } n_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{m,o}} = \frac{44.8}{22.4} = 2(\text{mol})$$

$$\text{则: } n = 2 \times 3 = 6(\text{mol})$$

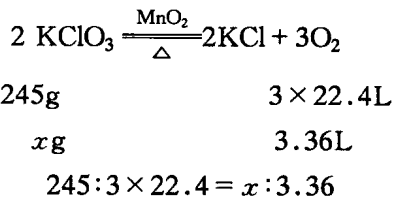
$$\text{又 } n_{NH_3} = \frac{1}{4}n = \frac{1}{4} \times 6 = \frac{3}{2}(\text{mol})$$

$$\text{则:氨气的质量 } m_{NH_3} = n_{NH_3} \cdot M_{NH_3} = \frac{3}{2} \times 17 = 25.5(\text{g}) = 0.0255(\text{kg})$$

答:在标准状况下,0.0255kg氨气与44.8L二氧化碳含有相等的原子个数。

【例9】 某患者急需氧气3.36L(在标准状况下),若用 $KClO_3$ 制取,问需要 $KClO_3$ 多少?

解:设需要 $KClO_3$ 的质量为 x ,根据反应方程式可以得出:



$$\text{解得:} \quad x = 12.25(\text{g})$$

答:需要 $KClO_3$ 12.25g。