



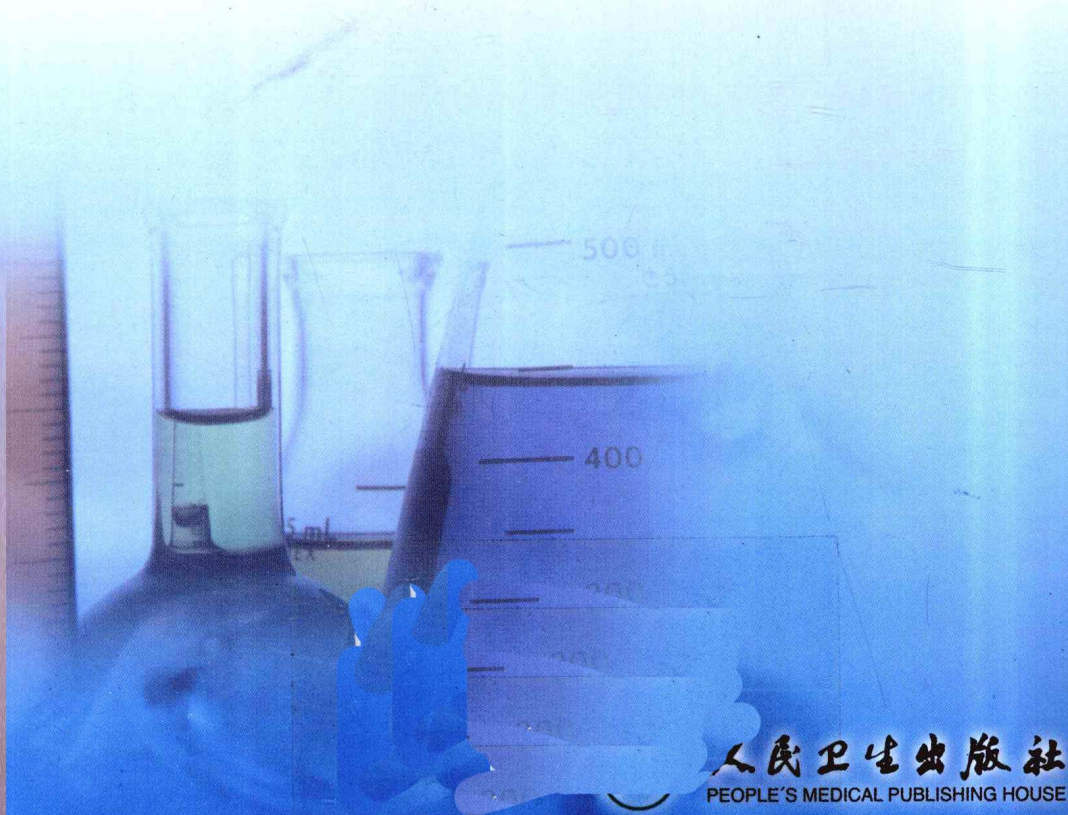
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等学校教材·供医学检验、药学类专业用

无机化学

第2版

主 编 谢吉民 副主编 于 丽 张万明



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等学校教材
供医学检验、药学类专业用

无机化学

第 2 版

主 编 谢吉民

副主编 于 丽 张万明

编 者 (以姓氏笔画为序)

于 丽(天津医科大学)	杨金香(山西长治医学院)
刘文娟(南华大学)	张万明(河北北方学院)
刘江琴(广东医学院)	张利民(蚌埠医学院)
祁嘉义(南京医科大学)	陈 敏(江苏大学)
严忠红(上海交通大学)	姚建华(贵阳医学院)
李 永(温州医学院)	彭夷安(湖南师范大学)
李 珊(青岛大学)	谢吉民(江苏大学)

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

无机化学/谢吉民主编. —2 版. —北京:人民卫生出版社,2008. 7

ISBN 978 - 7 - 117 - 10307 - 7

I. 无… II. 谢… III. 无机化学 - 高等学校 - 教材 IV. O61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 083848 号

本书本印次封底贴有防伪标。请注意识别。

无机化学 第 2 版

主 编: 谢吉民

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 潮河印业有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22

字 数: 521 千字

版 次: 2003 年 7 月第 1 版 2009 年 8 月第 2 版第 11 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-10307-7/R·10308

定 价: 43.00 元

版权所有,侵权必究,打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

第2版前言

《无机化学》(第2版)是教育部普通高等教育“十一五”规划教材,是《无机化学》(第1版)的修订本。

本教材于2006年被列入教育部普通高等教育“十一五”规划教材选题后,即由编写组筹划编写工作。2007年11月受人民卫生出版社的委托,在江苏大学召开了《无机化学》(第2版)教材编写讨论会,与会代表对编写大纲和具体编写细则进行了热烈、认真的讨论。当前,随着生命科学的发展,化学在生命科学中的地位将更为突出。为适应当前教学改革形势,以符合21世纪医学检验和医药科学发展的需要,在修订过程中努力遵循“加强基础,趋向前沿,反映现代,注意交叉”的现代课程建设理念。这次修订,编者主要做了如下工作:①对原书各章节进行充实、调整和修改;②为了帮助读者自学和掌握各章的主要内容,每章开头增加了学习要求;③为便于学生阅读外文参考书,书中主要关键词用黑体字排版并加注英文;④为增强医药专业学生的环保意识,增加了环境中常见的无机物污染一章,对原书化学元素与人类健康一章内容进行了适当调整,改成了生命元素及其在生物体内的作用;⑤为适应那些学有余力的读者需要,在大多数章中附有相关的“拓展知识”以开阔视野、培养创新意识。

生命科学进展步入分子水平以来,其发展一日千里,越来越多地需要运用化学概念和方法,同时,医学检验及药学与化学在许多方面的界限正在变得模糊,作为化学教师,日感形势逼人。由于编者水平有限,恳请读者对本书的错误和不妥之处提出批评指正。

编者
2008年3月

第 1 版前言

该教材自 1990 年出版以来,在十多所高等医药院校连续使用,得到充分肯定,其间曾进行多次重印并再版。本稿是根据现阶段高等医药院校本科无机化学的教学实际,参照 2002 年卫生部规划教材评审委员会会议精神,在《无机化学》教材(谢吉民、李笑英主编,1997 年第 2 版)的基础上重新编写的。为使编写工作更好地进行,2002 年 8 月在黄山市召开了编写讨论会,与会代表对当前高等医药院校无机化学的教学及使用本教材的情况进行了认真的讨论和分析,重新制订了编写大纲,并于 2003 年元月在镇江召开了定稿会。本书编写的指导思想是:

(1)保持原书简明、适用的特点。遵循教材的“三基”、“五性”、“三特定”原则,即“基础理论、基本知识、基本技能”、“思想性、科学性、先进性、启发性、适用性”和“特定的对象、特定的要求、特定的限制”。根据高等医学检验及药学专业本科生的培养目标和要求,重点阐述无机化学基本概念和基本理论,充实专业实例,突出检验及药学专业化学特点,力求使教材内容的广度和深度切合教学实际。

(2)为适应化学与生物学和医药学相互渗透的发展趋势,适当增加与生物学、医药学有关的知识,激发学生学习无机化学的兴趣,联系实际,启发思维,培养综合能力,力求对后续课程的学习和日后工作的开展有所裨益。

(3)为了扩大学生的知识面,增加了与正文有关的必须进一步阐明的内容,供教师选用和学生自学时选读。

(4)为了帮助学生提高专业外语水平和更好地阅读外文参考书,促进双语教学,各章均有英文小结,归纳各章的主要内容和重点,列于该章之后,也可作为该章的基本要求,供学生学习时参考。

(5)本书采用以国际单位制(SI)为基础的《中华人民共和国法定计量单位》和国家标准(GB3100~3102-93)中所规定的符号和单位。

本书可供高等检验及药学类专业使用,也可供其他相关专业参考使用。

全书分为化学原理(溶液与胶体、电解质溶液与离子平衡、沉淀溶解平衡、缓冲溶液、化学反应中的能量变化、化学反应速率、氧化还原与电极电势、原子结构、共价键与分子间作用力及配位化合物诸章)和元素化学(s 区元素、p 区元素、d 区元素、f 区元素及稀有气体、化学元素与人类健康诸章)两大部分,共 15 章。

南京医科大学丁绪亮教授对教材的编写提供了许多宝贵意见;原书的编委和使用原书的各院校化学同仁给予了热情鼓励,提出了很好的建议;在此表示衷心感谢。

由于我们水平所限,书中不妥和错误之处,恳请批评指正。

编者
2003 年 2 月

目 录

绪论	1
一、化学的研究对象	1
二、化学与检验及医药学的关系	1
三、无机化学课程的教学内容及其学习方法	2
第一章 溶液和胶体	4
第一节 溶液组成标度的表示方法	4
一、物质的量浓度和质量浓度	4
二、质量摩尔浓度和摩尔分数	7
三、质量分数和体积分数	8
第二节 稀溶液的依数性	9
一、溶液的蒸气压下降	9
二、溶液的沸点升高与凝固点降低	12
三、溶液的渗透压力	15
四、稀溶液的依数性	17
第三节 渗透压力在医学上的意义	18
一、渗透浓度	18
二、等渗、低渗和高渗溶液	19
三、晶体渗透压力和胶体渗透压力	20
第四节 胶体溶液	21
一、溶胶	22
二、大分子溶液	26
三、凝胶	26
拓展知识：纳米材料在医学上的应用	27
习题	28
第二章 电解质溶液	30
第一节 强电解质溶液理论	30
一、离子相互作用理论	30
二、离子的活度和活度系数	31
三、离子强度与离子活度系数的关系	31

第二节 酸碱理论	33
一、酸碱理论的发展	33
二、酸碱质子理论	34
三、酸碱电子理论	37
拓展知识：人体体液的 pH	38
第三节 水溶液中的质子转移平衡及有关计算	39
一、水的质子自递作用和溶液的 pH	39
二、酸碱在水溶液中的质子转移平衡及有关计算	40
习题	50
第三章 沉淀溶解平衡	52
第一节 溶度积常数	52
一、溶度积常数的概念	52
二、溶度积和溶解度的相互换算	53
三、溶度积规则	54
四、同离子效应和盐效应	55
第二节 沉淀的生成	56
一、加入沉淀剂	56
二、控制溶液的 pH	57
第三节 分步沉淀和沉淀的转化	58
一、分步沉淀	58
二、沉淀的转化	60
第四节 沉淀的溶解	62
一、生成弱电解质	62
二、氧化还原反应	62
三、生成配合物	63
拓展知识：尿结石的形成	63
习题	64
第四章 缓冲溶液	65
第一节 缓冲溶液的基本概念	65
一、缓冲作用	65
二、缓冲作用原理	66
第二节 缓冲溶液 pH 的计算	67
一、缓冲公式	67
二、缓冲溶液 pH 的计算	68
三、缓冲公式的校正	69
第三节 缓冲容量	69
一、缓冲容量的概念	69

二、影响缓冲容量的因素	70
第四节 缓冲溶液的配制	73
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	77
习题	78
第五章 化学热力学基础	79
第一节 基本概念和术语	79
一、体系和环境	79
二、体系的性质	80
三、状态和状态函数	80
四、过程和途径	81
五、热和功	81
第二节 化学反应的热效应	82
一、内能和热力学第一定律	82
二、化学反应的热效应和焓变	82
三、热化学方程式	84
四、盖斯定律	84
五、化学反应热的计算	85
六、食物热值的计算	87
第三节 化学反应的方向和限度	88
一、自发过程与热力学第二定律	88
二、熵与熵变	89
三、吉布斯自由能与化学反应的方向和限度	91
第四节 吉布斯自由能变与化学平衡常数	94
一、实验平衡常数和标准平衡常数	94
二、吉布斯自由能变与标准平衡常数	95
三、温度对标准平衡常数的影响	97
拓展知识：化学热力学方法在药物研究中的应用	98
习题	99
第六章 化学动力学基础	101
第一节 化学反应速率及其表示方法	101
一、平均速率	101
二、瞬时速率	102
第二节 化学反应速率理论简介	103
一、有效碰撞理论	103
二、过渡状态理论简介	104
第三节 浓度对化学反应速率的影响	105
一、基元反应和复杂反应	105

二、质量作用定律	106
三、反应级数	108
四、具有简单级数反应的特征	109
第四节 温度对化学反应速率的影响	111
一、范特霍夫规则	111
二、阿累尼乌斯方程式	112
第五节 催化剂对化学反应速率的影响	114
一、催化剂与催化作用	114
二、催化作用理论	115
三、生物催化剂——酶	116
拓展知识：药物的化学稳定性预测	118
习题	118
第七章 氧化还原与电极电势	120
第一节 氧化还原反应的基本概念	120
一、氧化数	120
二、氧化还原反应的再认识	121
第二节 原电池与电极电势	122
一、原电池	122
二、原电池的组成及其表示	123
三、电极的类型	124
四、电极电势的产生	125
五、标准电极电势	126
六、标准电极电势表	127
七、电极电势与吉布斯自由能变的关系	128
第三节 影响电极电势的因素	129
一、能斯特方程式	130
二、影响电极电势的因素及有关计算	131
第四节 电极电势和电池电动势的应用	133
一、判断氧化剂、还原剂的相对强弱	133
二、判断氧化还原反应进行的方向	133
三、判断氧化还原反应进行的程度	136
四、电动势法测定溶液的 pH	138
第五节 元素电势图	139
一、元素的电势图	139
二、元素电势图的应用	140
拓展知识：	142
一、离子选择性电极及其应用	142
二、化学传感器和生物传感器	142

习题	143
第八章 原子结构与元素周期表	145
第一节 电子运动状态的量子力学概念	145
一、原子结构的认识史——从远古哲学到旧量子论	145
二、电子的波粒二象性	147
三、不确定原理	149
四、薛定谔方程——电子运动的波动方程	149
第二节 氢原子的波函数	150
一、波函数	150
二、原子轨道和量子数	151
三、波函数的图形	153
第三节 多电子原子的核外电子排布	156
一、多电子原子能级和徐光宪规则	156
二、基态原子核外电子的排布	158
第四节 原子的电子组态与元素周期表	159
一、核外电子排布与周期表	160
二、元素性质的周期变化规律	162
拓展知识：核医学简介	164
一、核素和放射性同位素	164
二、放射性同位素在医学方面的应用	164
习题	166
第九章 共价键和分子间作用力	167
第一节 共价键理论	167
一、现代价键理论	168
二、键参数	170
三、轨道杂化理论	172
四、价层电子对互斥理论	176
五、分子轨道理论简介	178
拓展知识：	180
一、活性氧自由基	180
二、明星分子 NO	181
第二节 分子间的作用力	183
一、分子的极性	183
二、范德华力	184
三、氢键	185
习题	188

第十章 配位化合物	189
第一节 配合物的基本概念	189
一、配合物的定义.....	189
二、配合物的组成.....	190
三、配合物的命名和分类.....	192
四、配合物的几何异构现象.....	193
第二节 配合物的化学键理论	194
一、配合物的价键理论.....	194
二、配合物的晶体场理论.....	198
第三节 配位平衡	204
一、配离子的稳定常数.....	204
二、配位平衡的移动.....	206
第四节 螯合物	211
一、螯合物和螯合效应.....	211
二、影响螯合物稳定性的因素.....	212
第五节 配合物的应用	213
一、配合物在化学方面的应用.....	213
二、配合物与医学的关系.....	214
拓展知识：铂类配合物抗肿瘤药物简介.....	214
习题.....	215
 第十一章 s 区元素	217
第一节 氢	217
一、单质.....	217
二、氢化物.....	217
第二节 碱金属、碱土金属	219
一、碱金属和碱土金属的通性.....	219
二、重要的化合物.....	221
第三节 水的硬度与净化	225
一、硬度及其表示法.....	226
二、水质净化的方法.....	226
第四节 S 区元素在医学检验及药学中的一些应用	228
拓展知识：锂的生物学功能.....	229
习题.....	230
 第十二章 p 区元素	231
第一节 p 区元素概述	231
第二节 卤素	232
一、卤素概述.....	232

二、卤化氢和卤化物	233
三、卤素的含氧酸及其盐	235
第三节 氧族元素	237
一、氧族元素概述	237
二、氢化物	239
三、金属硫化物	240
四、硫的含氧化合物	240
第四节 氮族元素	244
一、氮族元素概述	244
二、氮的氢化物	245
三、氮的含氧化合物	246
四、磷的化合物	249
五、砷、锑、铋的化合物	252
拓展知识：砷的毒性和含砷药物	253
第五节 碳族元素	254
拓展知识： C_{60} 和新材料	254
一、碳的氧化物	255
二、碳酸及其盐	256
三、二氧化硅、硅酸及其盐	257
四、锡、铅的化合物	258
第六节 硼族元素	259
一、硼的化合物	259
二、铝及其化合物	261
第七节 p 区元素在医学检验和药学中的一些应用	262
习题	263
第十三章 d 区元素	265
第一节 d 区元素概述	265
一、d 区元素的物理性质	265
二、原子半径	266
三、过渡元素的氧化态及其稳定性	266
四、过渡元素水合离子的颜色	267
五、过渡元素的还原性	268
六、过渡元素的配合物	268
第二节 铬、钼	268
一、铬的化合物	268
二、钼的化合物	271
三、同多酸、杂多酸及其盐	272
第三节 锰	272

一、锰(Ⅱ)的化合物	273
二、锰(Ⅳ)的化合物	273
三、锰(Ⅵ)和锰(Ⅶ)的化合物	273
第四节 铁、钴、镍	274
一、铁、钴、镍的氧化物和氢氧化物	275
二、铁、钴、镍的盐	276
三、铁、钴、镍的配合物	277
第五节 铂系元素简介	279
一、氯铂酸及其盐	279
二、二氯二氨合铂(Ⅱ)	280
三、二氯化钯	280
第六节 铜、银、金	280
一、铜、银的氧化物和氢氧化物	282
二、铜、银的重要盐类	283
第七节 锌、镉、汞	285
一、单质	286
二、重要的化合物	287
第八节 d区元素在临床检验及医药学中的一些应用	289
习题	290
第十四章 镧系、铜系、稀有气体	292
第一节 镧系元素	292
一、概述	292
二、铜系元素的化合物	293
三、铜系元素在医药中的应用	294
第二节 铜系元素	295
一、概述	295
二、铀的重要化合物	297
第三节 稀有气体	297
一、稀有气体的性质和用途	297
二、稀有气体的化合物	298
第十五章 生命元素及其在生物体内的作用	300
第一节 生命元素	300
第二节 生命元素的生理功能	302
一、生物配体和生物金属配合物	302
二、必需宏量元素的生理功能	303
三、必需微量元素的生理功能	304

第十六章 环境中常见的无机物污染	310
第一节 大气中主要无机污染物.....	310
第二节 地面水主要无机污染物.....	312
第三节 土壤中的无机污染物.....	317
部分习题参考答案	319
主要参考文献	323
附录	324
附录一 常用的物理常数.....	324
附录二 弱电解质在水中的解离常数.....	324
附录三 一些难溶化合物的溶度积 (298 K)	326
附录四 一些物质的基本热力学数据.....	327
附录五 标准电极电势表 (298 K)	330
附录六 金属配合物的稳定常数.....	332
索引	334

绪 论

一、化学的研究对象

化学(chemistry)是一门在分子、原子或离子水平上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律和变化过程中能量关系的自然科学。

化学是一门古老而又年轻的科学,是一门中心性的、实用性的和创造性的科学,是研究和创造物质的科学。若按照学科的研究对象从简单到复杂的程度可分为上、中、下游。数学、物理是上游,生物、医药和社会科学是下游,化学是中游,是自然科学中一门承上启下的中心科学。上游学科研究的对象比较简单,但研究的程度很深。下游学科的研究对象比较复杂,除了用本门学科的方法外,若能移上游科学之花接下游科学之木,往往能取得突破性的成就。

化学研究的内容非常丰富,随着人们对物质化学运动形式认识的逐渐加深,到 19 世纪末,化学形成了以下四大分支:

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)。

有机化学:研究碳氢化合物及其衍生物。

分析化学:研究物质成分的测定方法和原理。

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。

化学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,又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。化学与物理学、生命科学、材料科学、环境科学、信息科学及自然科学的其他学科,乃至人文和社会科学等众多学科的相互交叉、渗透、融合,必将对上述学科的发展起到重要作用。化学已被公认是一门中心科学。

无机化学研究无机物的组成、结构、性质、反应和应用。它是化学科学中发展最早的一个分支,也是研究其他化学分支的基础。近 20 多年来,由于其他学科对无机化学的渗透和影响,大大拓宽了无机化学的研究内容。目前,无机化学研究的趋向主要在现代无机合成、配位化学、原子簇化学、超导材料、无机晶体材料、稀土化学、生物无机化学、无机药物、核化学和放射化学等方面。

二、化学与检验及医药学的关系

早在 16 世纪,欧洲化学家就提出要为医治疾病制造药物。1800 年,英国化学家 Davy

发现了一氧化二氮的麻醉作用,后来乙醚、普鲁卡因等更加有效的麻醉药物被发现,使无痛外科手术成为可能。1932年,德国科学家 Domagk 发现一种偶氮磺胺染料可治愈细菌性败血症。此后,化学家制备了许多新型的磺胺药物,并开创了今天的抗生素领域。因此,医药学的发展与化学密切相关。

现代医学与化学关系更加密切。医学是研究人体的生理功能和病理变化、寻求防病治病的方法、保障人类健康的科学。人体的基本营养物质是糖、脂肪、蛋白质、无机盐等,这些化学物质在体内的代谢非常复杂,但同样遵循化学变化的基本原理和规律。科学家预言 21 世纪是生命科学的世纪,但现代生命科学必须在分子的水平上研究,而在分子水平上的研究方法主要就是化学方法。因此,必须掌握一定的化学知识,才能更好地研究生命活动的规律,从而深入了解生理、病理现象的实质。

在疾病的诊断、治疗过程中,常需要进行医学检验和使用药物。临床医学检验常常利用化学方法测定血、尿等生物标本中某些成分的含量变化,以帮助正确诊断疾病。治疗疾病所用的药物,其化学结构、化学性质以及纯度直接影响药效和毒副作用;药物间的配伍禁忌也与其化学性质密切相关,要正确合理用药,必须掌握有关的化学知识。

卫生检验、药物的研制以及环境保护等等领域,都与化学密切相关。例如,空气、水以及食品中痕量有害成分的监测,农药残留量的分析,药物的合成、制备以及天然药物中有效成分的提取,药物及其代谢物的临床监测和体液中蛋白质、酶、核酸、激素、痕量元素等的测定和分析都离不开化学,尤其是新药的研制开发,更需要有扎实的化学知识。

随着科学技术的进步,现代医药科学已进入分子层次,化学的研究成果对此起了重要的推动作用。例如,由于化学家对生物大分子(主要是核酸和蛋白质)的认识取得了突破,由此形成了一门新兴的学科——分子生物学。分子生物学的形成和发展,对医学乃至整个生命科学都产生了重大影响。又如,从有机物分子的立体结构研究酶和底物的作用以及药物和受体的作用,从分子水平上研究某些疾病的致病因子,从微量元素的研究为疾病的早期诊断提供科学依据等等,这些都说明现代医学的发展需要更多、更深的化学知识。

三、无机化学课程的教学内容及其学习方法

无机化学(inorganic chemistry)是检验及药专业学生必修的第一门化学课,本课程的任务和目的是:通过学习,使学生掌握必要的无机化学基本理论、基础知识和基本技能,为学习后续课程打下基础;培养学生分析和解决化学实际问题的能力,并使学生逐步树立辩证唯物主义观点和科学思维方法。

本课程的教学内容分为基础理论和元素化学两大部分。前者讲授无机化学的基础理论,主要讨论溶液、电解质及离子平衡、化学反应速率、化学平衡及化学反应中的能量关系、物质结构理论、配位化合物、电化学和有关计算。后者讲授元素周期表中 s、p、d、f 各区中重要元素的单质及其化合物的基本知识。本书末还介绍了生命元素及其在生物体内的作用和环境中的无机物污染等内容。

医药专业的学生要尽快适应大学的学习。中学里课堂教学容量较低,老师注重精讲多练,大学教学容量加大,使得课堂讲授进度加快,特别是无机化学涉及的内容多、知识面广,要注意掌握其基本理论和基本知识,必须通过课前预习、课堂听讲、课后复习、习题练

习和课外阅读等几个重要环节,养成高效率的学习方法,培养较强的自学能力,提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。听讲时要集中精力,主动跟踪老师的思维脉络,形成共鸣,还要学会记课堂笔记,重点记下授课纲目、基本结论、补充材料以及听课中发生的疑难。课后必须及时复习,不妨先按照笔记梳理一下授课内容,然后边阅读教材、参考书,边整理笔记。要坚持先复习再做习题的正确方法,防止陷入题海之中。还要学会按章节、按单元自行归纳总结课程的内容。掌握正确的阅读方法十分重要,要学会浏览与精读相结合,眼、手、脑并用。这样,从点滴入手,持之以恒,逐步建立起新的学习习惯,形成新的学习方法,培养独立学习的能力。要处理好理解和记忆的关系,学会善于运用分析对比和联系归纳的方法,善于从例题中体会解题的思路和方法、技巧,搞清概念、原理、公式和方法的含义、应用条件和使用范围。在理解的基础上,记忆一些涉及基本概念和基本原理的重点和重要公式,努力做到熟练掌握、融会贯通,并运用所掌握的理论 and 知识去分析、解决实际问题。

化学是一门以实验为基础的学科,实验课是无机化学课程的重要组成部分。通过实验不仅可以加深理解、巩固所学到的基本理论和知识,而且还可以训练有关的实验基本技能,学习科学的实验方法,培养动手能力。学生在实验前要预习实验内容,做到原理清楚、步骤明确;实验过程中要认真观察实验现象、正确记录结果;实验完毕要认真处理实验数据、分析实验现象和问题,得出正确结论,写好实验报告。通过实验,养成严谨的科学态度和科学的思维方法,培养独立工作能力和科学研究能力,引导学生进行创新性探索。

(谢吉民)