



高等学校教材

● 陈启元 梁逸曾 主编

医科大学化学

上册



化学工业出版社
教材出版中心



高等学校教材

医科大学化学

上册

陈启元 梁逸曾 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

医科大学化学. 上册/陈启元, 梁逸曾主编. —北京:
化学工业出版社, 2003. 7
高等学校教材
ISBN 7-5025-4552-2

I. 医… II. ①陈…②梁… III. 化学-医学院校
-教材 IV. 06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 059375 号

高等学校教材
医科大学化学
上册

陈启元 梁逸曾 主编
责任编辑: 陈有华
责任校对: 凌亚男
封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 25½ 插页 1 字数 609 千字

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4552-2/G·1221

定 价: 36.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

化学一直是医学、药学和生物学的重要基础。特别是近年来分子生物学 (molecular biology)、分子医学 (molecular medicine)、遗传组学 (genomics)、蛋白组学 (proteomics)、代谢组学 (metabonomics) 等学科领域的相继出现, 标志着生命科学的发展已进入了分子水平, 化学在生命科学中的重要性更加突出。如何不适时机地将化学学科作为一个基础学科整体介绍给医学、药学和生物学的学生, 又在教学中将化学与医学、药学和生物学的紧密联系介绍给学生, 从而构建出一套对医学、药学和生物学学生适用的生物医药类专业化学基础课程体系, 并在此基础上, 搭建为生物医药类专业学生服务的现代化学教育平台, 以适应我国目前各综合性大学新兴交叉学科发展的需要, 似应为我国高校从事化学教学的教师们的一项重要任务。同时, 这也是一个我国每个综合性大学具有共性的教学研究新课题。

化学学科作为一门基础学科, 近年来得到了很快的发展。围绕着如何有效地将化学学科的基础知识和最新发展, 系统而又不失重点的传授给大学本科学生, 我国很多大学进行了一系列的卓有成效的教学体系改革, 其中最引人注目的成果之一是“四大化学融合”的教学成果。采用“四大化学融合”的教学模式, 既突破了原来按化学学科的二级学科设课、各门课程自成体系的束缚, 又充分加强了各二级学科知识模块的有机结合, 达到保留各自精彩的部分, 又避免彼此重复的内容, 既节省了课时, 又保持了化学学科的基础内容。也正是这一点, 构成了此书编写的原动力。我们将此书定名为“医科大学化学”的初衷亦源出于此。

此外, 我们也注意到, 医学、药学和生物学学生的化学教育与一般大学本科学生的化学教育是有区别的。结合近年来我国在大学本科学生的化学教学改革的成果, 对医科大学化学基础课教学进行系统改革, 做到既能系统地将化学学科的基础理论框架和知识结构介绍给学生, 又能有机地而不是机械地与医学、药学和生物学的特殊需要结合起来, 力争在基础化学课程中, 使学生对化学在生命科学中的地位有一个清晰的印象和认识, 同时在教学过程中, 也使学生充分认识到分子水平对医学、药学和生物学的重要性。以上述两点作为基点, 构建出一套对医学、药学和生物学学生适用的生物医药类专业化学基础课的教材, 确是一件十分有意义的研究工作。本教材的出版就正是对此的一种尝试。

值得指出的是, 本教材在编写过程中, 我们对目前国内流行的生物医药类专业化学基础课教材进行了充分的调研, 力争在编写过程中, 把握好基础知识与应用知识之间的结合度。同时, 为了与目前国内提倡的双语教学相结合, 本书给出了一些化学中常用的重要化学英文名称, 为学生以后直接阅读相应的专业文献提供方便, 也为后续课程的双语教学奠定基础。

中南大学教务处对此项研究十分重视, 为此专门成立了中南大学“生物医药类专业化学基础课的教材建设”小组, 组织各方面的力量, 进行了系统讨论和研究。可以说, 本教材实质是一个集体研究的成果, 也是集体智慧的结晶。另外, 本书从讨论到成书的整个过程, 始终都得到了化学工业出版社的热情鼓励和大力支持, 在此, 我们代表《医科大学化学》编写组的全体同志向他们表示诚挚谢忱。

编 者

2003年5月于岳麓山下

编写说明

化学作为一门基础学科,近年来得到了很快的发展,各分支学科内容不断扩充,新的分支学科不断涌现。然而,随着各分支学科不断发展,化学学科的整体性也显得越来越清晰和重要。如何在综合性大学的化学教学中,有效借鉴“四大化学融合”的教学模式,既突破原有化学学科的二级学科各门课程自成体系的束缚,又充分加强各二级学科化学知识模块的有机结合,建立化学课程的整体概念,达到保留各自精彩部分,避免彼此重复内容的目的,做到既节省课时,又保持化学课程系统的基础内容,构成了此书编写的基本思路。此外,医学、药学和生物学学生的化学教育与一般大学理工科学生的化学教育有所区别。如何做到既能系统地将化学的基础理论框架和知识结构介绍给学生,又考虑到医学、药学和生物学的特殊需求,使学生充分认识到分子水平的知识对医学、药学和生物学的重要性,亦是本书编写的重要考虑因素。所以,本书是从化学课程内在知识结构的要求出发,将化学以理论化学(物理化学)、化合物的合成制备与性质(无机与有机化学)及化合物的量测与表征(分析化学)为主要线索来进行编排的,讲述也主要依照先理论后实践的线索,力争让学生在化学的学习中达到举一反三、触类旁通的目的。

全书分为上、下两册,共二十六章,前十一章组成上册,后十五章组成下册。前十一章以理论化学和元素化学为其主线,包括了物理化学、无机化学及无机分析(化学分析)的主要内容。后十五章以有机化合物的合成制备、性质、分离及其量测与表征为主线,包括了有机化学和分析化学(仪器分析)的主要内容。

第一章、第二章介绍了物质的原子结构、分子结构和晶体结构的主要内容。这一部分原来既在无机化学中,又在物理化学中进行介绍,为减少重复,对这部分内容进行了必要的综合,主要以化学基本理论的形式出现,以强调化学理论的重要性。第三章简要介绍了配合物化学的主要内容,这部分内容通常在无机化学中放在比较后面讲述,由于本书在第一章、第二章已介绍了原子结构、分子结构的主要内容,把它放在第三章也就顺理成章了。而且,将配合物化学提前讲述,为以后学习化学体系的平衡打下基础。从第四章到第九章,囊括了物理化学的主要内容。从化学热力学和化学平衡、化学动力学,一直到电化学和胶体化学。结构化学、化学热力学和化学平衡、化学动力学是化学理论的主要基础,这些内容,在原先医科大学的化学课程中一般略讲或不讲,在此,我们把它们放在比较重要的位置,虽没有像对理工科学生那样强调理论推导,但物理化学中的重要结论和主要框架都是包含其中的,力图使学生对此有一个比较明确的认识。电化学和胶体化学对医学、药学和生物学的学生是很重要的,其中电化学不但是后续分析化学中电分析化学的重要基础,同时,它本身亦是医学的重要基础,很多内容,如原电池和电泳,都是医科大学学生必须掌握的主要知识。胶体化学对医学、药学和生物学的学生来说,就显得更为重要了,从胶体化学的观点来看,人体就是由各种粗分散体系、胶体、凝胶以及高分子溶液所组成的复杂分散体系,生物体的很多生理现象和病理变化都与其胶体性质密切相关,所以,对于这两章的知识,不但没有削弱,反而给予了必要的详述,以突出医科大学化学的特点。第十章的元素化学,一直是理工科大学无机化学的主要内容,一般是按元素周期表的顺序对各种元素及其化合物的存在、制备和性质

逐一进行详尽的介绍，篇幅占全书的一半。本书对它进行了大胆的删减，并将其浓缩成一章，强调元素性质的内在规律性以及元素性质在医药学方面的应用。第十一章主要介绍了无机化学分析的主要内容。由于四大化学平衡（酸碱平衡、氧化还原平衡、沉淀溶解平衡和配位平衡）是经典分析化学及四大滴定分析的基础，通常这部分内容讲述得很详尽，而且在无机与分析的课程中又进行了一次重复性的讲解。在这本书中，四大化学平衡在第六章已作了详细介绍，故不再重复，只对与容量分析的有关部分给予了必要的介绍，大大精简了化学分析的内容。

有机化学是与生命现象紧密相连的，是医学、药学和生物学学生的化学教育之重点。本书的下册主要以有机化合物的合成制备、性质、分离及量测与表征为主线。为突出生物医学的特点，没像在一般化学专业的课程中以合成制备为主，而是以有机化合物的性质与功能为主线来阐述的。本书的第十二章至第二十三章主要为有机化学部分。前几章主要讨论了有机化学基础知识、基本理论和基本概念，后几章重点介绍生命现象的基础物质，如脂类、糖类、蛋白质、核酸及萜类和甾族等化合物。在保持国内目前医药有机化学教材的基本内容和基本框架的基础上，注意精选内容，删去与相关课程的重复内容和分子轨道理论及纯化学的内容，适当提高了起点，加强了立体化学的基本概念和反应机理的讨论，并对各类有机化合物的英文命名作了简要介绍。此外，在编写中，注意到适当拓宽学生的知识面，注重联系医学实际，介绍了一些医学上重要的化合物。在章节的编排上，将结构和性质相近的化合物编写成一章，如：烷烃、烯烃和炔烃编为链烃；脂环烃和芳香烃编为环烃；羧酸及羧酸衍生物编排为一章；含氮、含硫和含磷化合物合为一章；脂类一章则包括油脂、磷脂和糖脂、萜类和甾族化合物。这样，既节省了篇幅，又融合了这些化合物的相关性，对以后的学习带来方便。在下册，还简要介绍了分析化学的仪器分析。我们认为，分析化学学科近年来的主要变化反映在分析手段的日益更新，新的分析仪器的不断涌现。而且，随着分析仪器的飞速发展，分析对象也在不断变化，正在由无机离子向有机化合物，其中特别是与生命过程有关的有机化学物质的量测表征与结构分析过渡。所以，在这本书中，特意将分离技术、仪器分析和四大波谱（包括质谱、红外光谱、紫外可见光谱和核磁共振谱）分析分别列入第二十四到第二十六章，并着重于有机化合物的定性、定量、定结构的分析，将传统教材中未能包括的但对生物医学的学生又很重要的内容，如有机化合物的现代分离和分析方法，在该教材中都给予了适当的重视，目的是想尽量将目前化学的新进展引入医科大学化学教育，以适应医药学和生物学学科发展的要求。

总之，相对于目前医科院校学生广泛使用的《医用基础化学》和《医用有机化学》两本教材，本教材的突出特点是减少了重复、提高了起点，既加强了“三基”，又注意到了学科发展的要求。为有利于学生自学，在编排的内容上还进行了一定的拓展，所以，在实际的教学中，教师根据培养目标和学时的多少，可对教学内容进行必要的选择，无需机械地全部照讲全书的所有内容。

特别值得提出的是，为与目前国内提倡的双语教学相结合，本书除在文中给出一些化学中常用的重要英文名词外，还在每章后给出了一段相应的“英文阅读材料”，主要介绍一些与化学或医学相关的问题，以提高学生的学习兴趣，也为学生以后进一步直接阅读相应的专业文献提供方便，为后续课程的双语教学奠定基础。

本书编写过程中，力求做到突出重点，分散难点，并适当介绍一些学科前沿知识。在讨论某些重点和难点问题，力争注重突出分析问题的逻辑过程，并给出一定量的启发性的思

考题,启发学生思维,培养和提高分析问题和解决问题的能力。但此点是否真正做到,还需时日检验。另外,书中的疏漏之处和错误必定不少,希望得到化学界同行的批评指正。

本教材从选材到编写,都是集体研究和讨论的结果,凝结了集体的智慧。具体分工如下:本书的第一章、第二章、第三章和第十章由关鲁雄教授编写;第四章由王一凡副教授编写,第五章由刘常青副教授执笔,第六章由何跃武副教授、刘常青副教授、王一凡副教授共同编写,第七章、第八章、第九章分别由王一凡副教授、黄坚副教授、向阳副教授编写。第十一章由张全茹教授编写。罗一鸣教授编写第十二章、第十三章、第十五章并负责有机化学部分的全面审阅和统稿;李晓如副教授编写第十八章、第十九章、第二十一章、第二十三章并负责下册英文阅读材料内容的编写及部分章节的审阅工作;王微宏副教授编写第十四章、第十七章;钟世安讲师(博士)编写第二十章、第二十二章;蒋新宇讲师(博士)编写第十六章;第二十四章、第二十五章和第二十六章分别由黄兰芳副教授、张泰铭副教授和梁逸曾教授编写。梁逸曾教授、陈启元教授负责全书统稿和编排。

编 者
2003年6月

目 录

第一章 原子结构	1
第一节 原子与元素	1
一、原子的内部组成.....	1
二、原子内部微粒的物理量.....	2
三、元素与核素.....	3
四、元素的相对原子质量.....	4
第二节 微观粒子的特征	4
一、微观粒子的量子化特征.....	5
二、微观粒子的波粒二象性.....	8
三、不确定关系.....	10
第三节 单电子原子核外电子的运动规律	11
一、薛定谔方程.....	11
二、四个量子数.....	13
三、原子轨道与电子云的图像.....	14
第四节 多电子原子的结构	18
一、屏蔽效应.....	18
二、钻穿效应.....	19
三、近似能级图.....	19
四、多电子原子中核外电子的排布规律.....	20
五、基态原子的电子结构.....	22
六、原子的电子结构与元素周期表.....	23
第五节 元素基本性质的周期性变化规律	25
一、原子半径及其变化规律.....	25
二、电离能及其变化规律.....	27
三、电子亲和能.....	28
四、元素电负性.....	30
五、元素的化合价.....	32
英文阅读材料	33
习题	34
第二章 分子结构与晶体结构	36
第一节 共价键与分子结构	36
一、共价键理论.....	36
二、分子的几何构型.....	40
三、分子轨道理论.....	46
四、分子间作用力与氢键.....	51

第二节 晶体结构概述	55
一、物质结构的基本层次	55
二、晶体与非晶体	56
三、晶体内部结构的表示方法	56
第三节 原子晶体和分子晶体	59
一、原子晶体	59
二、分子晶体	59
第四节 金属键与金属晶体	60
一、金属键理论	60
二、金属晶体	62
第五节 离子键与离子晶体	64
一、离子键理论	64
二、离子晶体	68
三、晶体的其他类型	70
英文阅读材料	72
习题	74
第三章 配合物化学	76
第一节 配合物的基本概念	76
一、配合物的组成	76
二、配合物的类型	78
三、配合物的命名	80
四、配合物的异构现象	81
第二节 配合物的价键理论	84
一、配位键的形成	84
二、配离子的空间构型与杂化方式的关系	84
三、中心离子杂化类型与电子结构的关系	85
四、配合物的磁性	86
第三节 配合物的晶体场理论	87
一、中心离子 d 轨道的能级分裂	87
二、中心离子 d 轨道上电子的分布	89
三、晶体场理论的应用	91
第四节 配合物的应用	94
一、医药方面的应用	94
二、生物方面的应用	95
三、化学方面的应用	95
四、冶金方面的应用	95
五、其他方面的应用	95
英文阅读材料	96
习题	97
第四章 化学热力学基本定律与函数	99

第一节 热力学的常用术语	99
一、体系与环境	99
二、状态与状态函数	100
三、过程与途径	100
四、热力学能	101
五、热和功	101
第二节 能量守恒和化学反应热效应	104
一、热力学第一定律	104
二、热化学——化学反应过程的 ΔU 和 ΔH	106
第三节 热力学第二定律和熵	113
一、自发过程和热力学第二定律	114
二、熵和熵变	115
第四节 吉布斯自由能判据与标准自由能变 $\Delta_r G_m^\ominus$	120
一、吉布斯自由能与吉布斯自由能判据	120
二、吉布斯-亥姆霍兹公式与标准自由能变 $\Delta_r G_m^\ominus$	122
第五节 生物体系热力学简介	125
英文阅读材料	128
习题	129
第五章 溶液体系热力学——化学势	132
第一节 溶液的概念	132
一、物质的状态	132
二、溶液的概念	133
第二节 偏摩尔量与化学势	133
一、偏摩尔量的概念	133
二、化学势 (μ)	135
第三节 不同混合物体系中各组元的化学势	136
一、混合理想气体中各组元的化学势	136
二、凝聚态非溶液化多组元混合体系中组元的化学势	137
三、凝聚态溶液体系中各组元的化学势	137
第四节 化学势的应用及稀溶液的依数性	141
一、分配平衡	141
二、理想溶液混合热力学性质	142
三、稀溶液混合热力学及依数性	143
四、非稀溶液热力学	148
英文阅读材料	149
习题	150
第六章 化学平衡及相平衡的热力学原理	153
第一节 化学反应等温方程式	153
一、均相反应的等温方程式	153
二、多相反应的等温方程式	154

三、反应等温方程式的应用	155
第二节 化学平衡与标准平衡常数	155
一、标准平衡常数	155
二、标准平衡常数 K^\ominus 与标准反应商 J^\ominus 的比较	156
三、实验平衡常数	157
四、多重平衡	158
五、化学平衡的移动	158
六、勒夏特列原理	160
第三节 酸碱理论与酸碱平衡	160
一、酸碱理论简介	160
二、水溶液中的酸碱平衡	164
三、酸碱溶液 pH 的计算	170
四、缓冲溶液	174
第四节 难溶电解质的沉淀溶解平衡	182
一、溶度积常数	182
二、溶度积与溶解度的关系	183
三、溶度积规则	184
四、沉淀平衡的移动	185
第五节 配位平衡	189
一、配位平衡常数	189
二、配位平衡的移动	191
第六节 相律与相图	194
一、相律	194
二、单元系相平衡热力学	196
三、单元系相图	197
英文阅读材料	202
习题	204
第七章 化学反应速率	207
第一节 化学动力学发展概况和基本术语	207
一、化学动力学发展概况	207
二、化学动力学基本术语	208
第二节 浓度对反应速率的影响——速率方程式	211
一、元反应的速率方程式——质量作用定律	211
二、复杂反应的速率方程式	212
三、反应速率常数、反应级数和反应分子数	213
四、由实验确定反应速率方程式的简单方法——初始速率法	214
第三节 具有简单级数的反应及其特征	215
一、一级反应	215
二、二级反应	217
三、零级反应	218

四、反应级数的确定	219
第四节 温度对化学反应速率的影响	219
一、温度对反应速率影响的类型	219
二、阿伦尼乌斯方程式	220
三、阿伦尼乌斯方程的应用	220
第五节 化学反应速率理论简介	221
一、碰撞理论	221
二、过渡态理论简介	223
第六节 催化剂对化学反应速率的影响	225
一、催化概念及其特征	225
二、均相催化和多相催化	226
三、酶催化	227
四、细胞色素 P450 药物代谢酶简介	228
英文阅读材料	229
习题	230
第八章 氧化还原反应与电化学	233
第一节 电解质的导电机理	233
一、电解质溶液的导电机理	233
二、离子互吸学说	233
三、离子活度和活度系数	234
四、离子强度	235
第二节 氧化还原反应的基本概念	236
一、氧化值(又称氧化数)	236
二、氧化还原反应	237
三、氧化还原反应的配平	237
第三节 原电池与电极电势	238
一、原电池	238
二、电极电势	240
第四节 电池电动势与反应 Gibbs 自由能的关系	242
第五节 氧化还原反应的影响因素与 Nernst 方程式	242
一、Nernst 方程式	242
二、氧化还原反应的影响因素	243
第六节 电极电势的应用	246
一、计算原电池的电动势	246
二、比较氧化剂和还原剂的相对强弱	246
三、判断氧化还原反应进行的方向	247
四、判断氧化还原反应的程度	247
五、求平衡常数和溶度积常数	248
六、元素的标准电势图及其应用	249
七、水的电势-pH 图	251

第七节 医学上的电化学	252
英文阅读材料	253
习题	255
第九章 胶体化学	258
第一节 分散系的分类	258
一、按照分散系的相数分类	258
二、按分散度分类	258
第二节 表面自由能与吸附作用	260
一、比表面和表面自由能	260
二、固体表面上的吸附	262
三、液体表面的吸附	264
第三节 溶胶及其基本性质	267
一、溶胶的动力学性质	267
二、溶胶的光学性质	268
三、溶胶的电学性质	270
四、胶团结构	272
五、溶胶的相对稳定性与聚沉	273
第四节 高分子化合物溶液	276
一、高分子化合物溶液的形成与性质	276
二、高分子电解质溶液	278
三、膜平衡	280
第五节 表面活性剂与乳状液	282
一、表面活性剂	282
二、乳状液	284
第六节 凝胶	285
一、凝胶与胶凝	285
二、凝胶的分类	285
三、凝胶的性质	286
第七节 生命与胶体化学	287
一、增加药物分散度可以直接改善治疗效果	287
二、利用电泳分离和研究蛋白质	287
三、胶粒的扩散与“人工肾”的原理	288
四、唐南平衡在医学和生物学中起着重要的作用	288
五、凝胶和凝胶膜对生命活动具有重要意义	288
六、乳状液和乳化剂在生命科学中的实际应用	288
七、制药工业中常利用表面活性剂作为增溶剂	289
八、表面活性剂的胶束溶液及其界面吸附层已成为生命科学中的极佳膜模拟体系	289
英文阅读材料	289
习题	290

第十章 元素化学	292
第一节 元素概论	292
一、地球上的元素.....	292
二、单质.....	294
第二节 非金属化合物	299
一、氢的化合物.....	299
二、稀有气体的化合物.....	300
三、氧和硫的化合物.....	301
四、卤素与卤素的化合物.....	308
五、氮、磷和砷.....	310
六、碳和硅.....	316
七、硼的化合物.....	319
第三节 金属化合物	320
一、主族的金属元素化合物.....	320
二、副族元素化合物.....	324
三、金属废水的处理.....	336
英文阅读材料.....	338
习题.....	339
第十一章 化学分析法	343
第一节 概论	343
一、化学分析中的误差概念.....	343
二、有效数字及其运算规则.....	343
三、误差的表示方法.....	344
四、提高分析结果准确度的方法.....	345
五、滴定分析法.....	345
第二节 酸碱反应与酸碱滴定法	346
一、酸碱反应.....	346
二、酸碱溶液中各型体分布.....	347
三、酸碱溶液 pH 的计算.....	348
四、酸碱缓冲溶液.....	350
五、酸碱滴定指示剂.....	350
六、酸碱滴定曲线.....	351
第三节 配位反应与配位滴定法	354
一、EDTA 及其螯合物.....	354
二、配合物在溶液中的离解平衡.....	355
三、金属离子指示剂.....	357
四、配位滴定.....	358
第四节 氧化还原反应与氧化还原滴定	360
一、氧化还原反应.....	360
二、氧化还原滴定原理.....	361

三、氧化还原的预处理.....	363
四、氧化还原滴定方法.....	363
第五节 沉淀反应, 沉淀滴定和重量分析法.....	365
一、溶度积.....	365
二、沉淀的形成.....	366
三、沉淀滴定法.....	367
四、重量分析法.....	368
第六节 有机化学分析概论.....	369
一、概述.....	369
二、有机化学分析的一般步骤.....	369
三、有机定量分析的特点.....	371
第七节 化学分析在医学、药学中的应用.....	371
一、医学中的应用.....	372
二、药学中的应用.....	372
英文阅读材料.....	373
习题.....	374
附录	377
附录 1 298.15K 的标准摩尔生成热、标准摩尔生成自由能和标准摩尔熵.....	377
附录 2 298.15K 的标准摩尔燃烧热.....	378
附录 3 弱酸及其共轭碱在水中的解离常数.....	378
附录 4 配合物的稳定常数.....	379
附录 5 羧酸配合剂类配合物的稳定常数.....	383
附录 6 EDTA 的 $\lg\alpha_{Y(H)}$ 值.....	384
附录 7 标准电极电势.....	385
附录 8 微溶化合物的溶度积.....	387
附录 9 常用缓冲溶液.....	388
附录 10 离子的活度系数.....	389
附录 11 常用基准物质的干燥条件和应用.....	389
参考文献	391
元素周期表	

第一章 原子结构

物质在性质上的差异主要是由于物质内部的结构不同所引起的。原子 (atom)、分子 (molecule) 和离子 (ion) 是物质参与化学变化的最小单元。因此了解原子的内部组成、结构和性能, 是理解化学变化本质的前提条件, 是化学科学的核心内容。

第一节 原子与元素

一、原子的内部组成

从公元前 5 世纪到 19 世纪, 人们一直认为宇宙万物都是由原子组成的。原子是最微小、最坚硬、不可入、不可分的物质基本粒子 (elementary particle)。电子的发现冲破了千百年来原子不可分的观念。

1879 年, 英国人克鲁克斯 (Crookes) 在进行低气压导电性能实验时, 发现阳极上出现了荧光, 说明这是一种带负电的粒子。克鲁克斯将其称为阴极射线 (cathode radial), 这个真空管就称为阴极射线管 (图 1-1)。1897 年, 英国物理学家汤姆生 (J. J. Thomson), 利用阴极射线管测定了这种带电粒子的电荷 (e) 和质量 (m) 之比, 简称荷质比 (e/m) (ratio of charge and mass)。他发现无论任何气体, 也不论任何材料做成的阴极, 所产生粒子的荷质比均相同, 说明这些粒子是同一种东西。两年后这种粒子的质量和电荷分别测定出来, 于是汤姆生作出结论——存在着比原子更小得的粒子, 人们将这种粒子称为电子 (electron)。

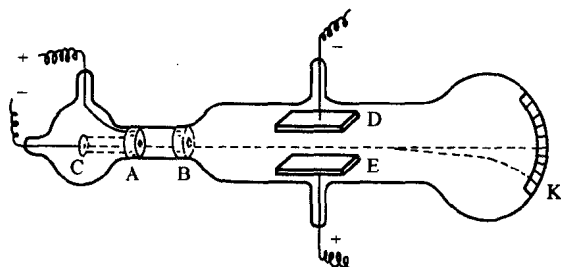


图 1-1 汤姆生实验装置简图

A, B—阳极; C—阴极; D, E—电极; K—荧光屏

原子是电中性的, 原子中既然存在带负电荷的电子, 就必然还有带正电荷的物质, α 粒子散射实验证实了这种推断。1896 年, 卢瑟福 (E. Rutherford) 用 α 射线 (He^{2+}) 轰击金箔时发现一个奇特的现象, 多数的 α 粒子畅通无阻, 只有少数 α 粒子在前进中像遇到了不可穿透的壁垒一样, 被折射和反弹回来 (图 1-2)。通过测定和计算发现, 原子中存在着质量为原子的 99.9% 以上, 而大小仅为原子的 $1/10^{12}$ 的带正电荷的粒子, 他将其称为原子核 (atomic nucleus)。电子像行星绕太阳运转一样绕原子核运动, 这就是原子结构 (atomic structure) 的“行星式模型”, 这是人类认识微观世界的里程碑。

卢瑟福在 α 粒子散射实验中还发现, 被轰击的原子中还可能跑出带正电荷的粒子, 这种粒子所带的电量和质量也与原子种类无关, 而电量正好等于 1 个电子电量的正值。卢瑟福将其命名为质子 (proton)。

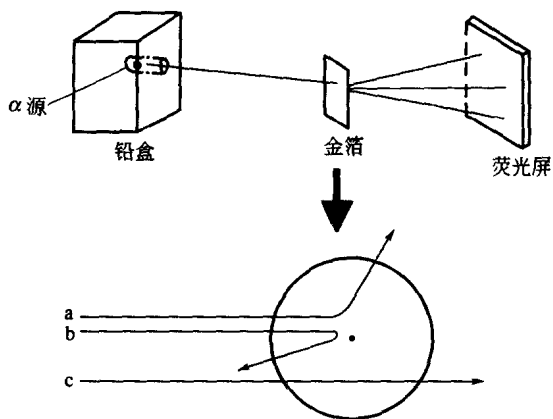


图 1-2 α 粒子散射实验示意图

a-角度偏转；b-反弹回来；c-穿过金箔

既然原子的质量集中于原子核，那么核内质子的总质量应当近似等于原子的质量。但是对于绝大多数原子来说，其质子的总质量小于原子的质量。因此，卢瑟福指出：原子核内还可能有一种质量与质子相似的电中性粒子。这种预见于 1932 年被实验所证实，他将其称为中子 (neutron)。

二、原子内部微粒的物理量

原子的组成与各内部微粒的符号如表 1-1 所示。

表 1-1 原子的组成与各内部微粒的符号

		内部微粒种类	内部微粒符号
原子	原子核	质子	${}^1_1\text{p}$
		中子	${}^1_0\text{n}$
	核外电子		e^-

原子及其内部微粒的半径如表 1-2 所示。由表 1-2 中的数据，可以算出原子核的体积 $V_{核}$ 和原子体积 $V_{原子}$ 之比为：

$$V_{核}/V_{原子} = (10^{-15} \sim 10^{-14})^3 / (10^{-10})^3 = 1/10^{12 \sim 15}$$

由此可得出结论：原子内部是“空”的。

表 1-2 原子及其内部微粒的半径

粒子名称	原子	原子核	核外电子
半径 r/m	约 10^{-10}	$10^{-15} \sim 10^{-14}$	$< 10^{-15}$

原子及其内部微粒的质量如表 1-3 所示。

表 1-3 原子及其内部微粒的质量

粒子名称	质子	中子	核外电子
质量 m/kg	1.7×10^{-27}	1.7×10^{-27}	9.1×10^{-31}
质量 $m/\text{电子质量单位}$	1836	1839	1