



高等职业教育“十二五”规划教材



化学基础与分析技术

黄秀锦 谭佩毅 主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

高等职业教育“十二五”规划教材

化学基础与分析技术

主编 黄秀锦 谭佩毅



 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化学基础与分析技术/黄秀锦, 谭佩毅主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2014. 9

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5019-9886-9

I. ①化… II. ①黄… ②谭… III. ①化学分析—高等职业教育—教材 IV. ①O65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 191239 号

责任编辑: 李亦兵 贾磊 责任终审: 滕炎福 封面设计: 锋尚设计
版式设计: 王超男 责任校对: 燕杰 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市万龙印装有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 19.5

字数: 395 千字

书号: ISBN 978-7-5019-9886-9 定价: 39.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

131377J2X101ZBW

前 言

《化学基础与分析技术》教材是以高等职业教育“技术技能型”人才培养为目标,以相关行业的社会调研为基础,以职业工作过程系统化为主线,以工作过程所需的知识、能力和素质为依据,本着“实用为主,够用为度,应用为本”的原则,对原有“基础化学”课程的教学内容进行优化重组,按照“化学基础与基本操作+基本分析技术”的模式整合而成。化学基础与基本操作以化学反应基本原理、基础知识和化学基本操作为主,并适当选取物理化学的简单知识;基本分析技术以化学定量分析为主线,并适当安排基本仪器分析分光光度法的相关知识与技能,旨在使学生学会使用简单的仪器和设备,能进行常用化工产品中常规组分的定量分析与检测。本教材以真实的分析检测工作任务为主要内容,由简单到复杂进行项目训练,让学生在完成具体项目的过程中能够完成相应的分析检验工作任务,掌握分析检测的基本技能并构建分析检验所需要的理论知识,发展职业能力。本教材内容突出对学生职业能力的训练,理论知识的选取紧紧围绕工作任务完成的需要来进行,同时又充分考虑了高等教育对理论知识学习的需要,并融合了相关职业资格证书对知识、技能和态度的要求;既具有独立的职业能力培养目标,又可为后续专业性、综合性分析检测课程的学习奠定基本分析知识和技能的基础。

本教材“理实一体、课证融合、典面结合”,可供高职高专院校食品生产技术、食品生物技术、农产品加工、食品营养与检测及相关轻化工类专业(群)的学生使用,也可作为相关企业技术人员、相关职业技能培训人员的参考用书。

本教材由江苏食品药品职业技术学院“化学基础与分析技术”课程团队共同完成,由黄秀锦、谭佩毅担任主编并统稿,淮阴师范学院仲慧教授主审。编写分工为:黄秀锦编写模块二中项目四、五、六,谭佩毅编写模块一中项目四、五、六,孙林超编写模块二中项目一、二、三,严群芳编写模块一中项目一、三,吴君艳编写绪论和模块一中项目二。

本教材的编写参考了很多化学及相关实验教材、专著、论文及相关课程网站的资料,在此向有关专家、作者表示由衷的谢意。同时也感谢中国轻工业出版社的有关领导、编辑的大力支持和热情帮助。

限于编者的水平,书中的不足和疏漏之处,敬请同行和专家批评指正,以便进一步研究、修改和完善。

编 者

目 录

绪论	1
一、化学基础与分析技术课程的内容和学习任务	1
二、化学基础与分析技术课程的学习要求	4
模块一 化学基础知识与基本操作	6
项目一 物质的组成与性质	6
项目描述	6
学习目标	6
必备知识	7
一、原子结构和元素周期性	7
二、分子结构与晶体性质	17
三、有机化合物的组成与结构	28
练习题	34
项目二 元素及其化合物	36
项目描述	36
学习目标	36
必备知识	36
一、金属元素及其重要化合物	36
二、非金属元素及其重要化合物	44
三、有机化合物	54
练习题	69
项目三 化学反应基本原理	72
项目描述	72
学习目标	72
必备知识	72
一、化学反应速率	72
二、化学平衡	76
练习题	82
项目四 溶液	85
项目描述	85
学习目标	85

必备知识	85
一、溶液浓度的表示及换算	85
二、稀溶液的依数性	89
三、电解质溶液和离解平衡	93
四、溶液的 pH 及计算	96
五、酸碱缓冲溶液	103
练习题	106
项目五 定量分析基础	108
项目描述	108
学习目标	108
必备知识	108
一、定量分析概述	108
二、滴定分析法	110
三、称量分析法	113
四、定量分析中的误差及数据处理	116
练习题	123
项目六 化学实验基础	126
项目描述	126
学习目标	126
必备知识	126
一、化学实验室基本知识	126
二、化学实验基本操作	130
实训练习	155
实训一 称量技术训练	155
实训二 滴定分析操作技术训练	156
实训三 沉淀法称量分析技术训练	159
练习题	161
模块二 基本分析技术	164
项目一 食用白醋中总酸含量的测定	164
项目描述	164
学习目标	164
必备知识	165
一、酸碱指示剂	165
二、酸碱滴定基本原理及应用	168
实训练习	173

实训一 氢氧化钠标准溶液的配制与标定	173
实训二 食用白醋中总酸含量的测定	175
练习题	177
项目二 矿泉水中钙、镁含量的测定	179
项目描述	179
学习目标	179
必备知识	180
一、配位化合物的基本概念	180
二、EDTA 与金属离子的配位平衡	183
三、配位滴定法	187
实训练习	197
实训三 EDTA 标准溶液的配制与标定	197
实训四 矿泉水中钙、镁含量的测定	198
练习题	201
项目三 胆矾中铜含量的测定	204
项目描述	204
学习目标	204
必备知识	205
一、氧化还原反应的基本知识	205
二、氧化还原反应的速率及影响因素	211
三、氧化还原滴定法	213
四、常用氧化还原滴定法	217
实训练习	224
实训五 硫代硫酸钠标准溶液的配制与标定	224
实训六 胆矾中铜含量的测定	226
练习题	227
项目四 生理盐水中氯化物含量的测定	230
项目描述	230
学习目标	230
必备知识	231
一、难溶电解质的溶度积	231
二、沉淀的形成与沉淀的条件	235
三、影响沉淀纯净的因素	237
四、沉淀滴定法	239
实训练习	243
实训七 硝酸银标准溶液的制备	243

实训八 生理盐水中氯化物含量的测定	245
练习题	246
项目五 自来水中全铁含量的测定	249
项目描述	249
学习目标	249
必备知识	250
一、仪器分析法概述	250
二、分光光度法	251
实训练习	260
实训九 自来水中全铁含量的测定	260
练习题	263
项目六 化学分析综合训练	265
项目描述	265
学习目标	265
必备知识	266
一、物质的定量分析过程	266
二、化学中常用的分离方法	272
实训练习	281
实训十 混合碱含量的测定	281
实训十一 明矾中铝含量的测定	283
实训十二 钙制剂中钙含量的测定	285
练习题	287
附录	290
参考文献	304

绪 论

一、化学基础与分析技术课程的内容和学习任务

(一) 化学研究的内容与作用

人类在长期的生活和实践中,积累了许多有关物质的组成及其变化规律的知识,并在应用和科学实验中不断发展和完善,逐步形成了现代自然学科——化学。

与其他自然科学一样,化学也是把物质及其运动属性作为它的研究对象和内容,是在分子、原子或离子等层次上研究物质的组成、结构、性质及其变化规律的一门科学。化学变化是“质变”,同时化学变化中伴随着能量的变化,服从质量守恒和能量守恒定律。化学既涉及存在于自然界的物质,又涉及由化学家创造的新物质;它既研究自然界的变化,又研究那些由化学家发明创造的新变化。简言之,化学是研究物质变化的科学。

化学作为人类认识和改造物质世界的主要方法和重要手段,是当代科学技术和人类物质文明迅猛发展的基础和动力,化学的成就是社会文明的重要标志。从开始用火的原始社会到使用各种人造物质的现代社会,人类都在享用化学成果。今天,化学已发展成为材料科学、生命科学、环境科学和能源科学的重要基础,成为推进现代社会文明和科学技术进步的重要力量,并正在为解决人类面临的资源、能源、环境和粮食、健康等严峻问题做出积极的贡献。

(二) 化学的学科分类

在化学的发展过程中,按照所研究的分子类别和研究手段、目的、任务的不同,派生出了不同层次的分类学科。20 世纪 20 年代以前,化学传统地分为无机化学、有机化学、物理化学和分析化学 4 个分类。20 世纪 20 年代之后,由于各学科的深入发展和学科间的相互渗透,形成许多跨学科的新的研究领域。根据当今化学学科的发展以及与其他学科相互渗透的情况,化学可分为 9 大类,共计 77 个分支学科。下面简要介绍其中几种最重要的分类。

1. 无机化学

无机化学是研究无机物质的组成、性质、结构和反应的科学,是化学中最古老的分支学科,也是化学的基础。无机化学的研究对象是无机物,包括所有元素的单质和非碳氢结构的化合物。研究内容主要包括元素化学、无机合成化学、无机固体化学、配位化学、生物无机化学、无机材料化学等。无机化学与其他学科结合而形成了很多新兴研究领域。无机化学的发展趋向主要是新型化合物的合成和应用以及新研究领域的开辟和建立。

2. 有机化学

有机化学是研究有机物的来源、制备、结构、性质、应用以及有关理论的科学。有机物主要是指碳氢化合物及其衍生物,研究内容主要包括天然有机化学、有机合成化学、金属和非金属有机化学、物理有机化学、生物有机化学、有机分析化学。有机化学在生命科学、材料科学和环境科学的发展中起着越来越重要的作用。有机化学中的分子识别、分子设计概念、自组装等正在渗透到各个领域;新型功能物质的发现、创造和利用,使有机化学在满足人类的需求方面做出了重要的贡献;选择性反应尤其是不对称合成,已成为有机合成研究的热点和前沿领域;绿色有机合成化学正成为未来化学的一个重要的内容,将为 21 世纪人类幸福生活做出独特的贡献。

3. 分析化学

分析化学是研究物质的化学组成和结构信息的测定方法及相关理论的一门科学。分析化学以化学基本理论和实验技术为基础,并吸收物理、生物、统计、电子计算机、自动化等方面的知识以充实本身的内容,从而解决科学、技术所提出的各种分析问题。现代分析化学的发展正处于新的变革时期,生命科学、环境科学、新材料等科学发展的要求,生物学、信息科学、计算机技术的引入,使分析化学进入了一个新的境界。分析化学有极高的实用价值,对人类的物质文明做出了重要贡献,广泛地应用于地质普查、矿产勘探、冶金、化学工业、能源、农业、医药、临床化验、环境保护、商品检验等领域。

4. 物理化学

物理化学是从化学变化与物理变化的联系入手,研究物质及其反应,以寻求化学性质与物理性质间本质联系的普遍规律的科学。研究内容大致包括化学热力学(化学反应的方向和限度)、化学动力学(化学反应的速率和机理)和结构化学(物质的微观结构与宏观性质间的关系)3 个方面。随着科学的迅速发展和各门学科之间的相互渗透,物理化学与物理学、无机化学、有机化学在内容上存在着难以准确划分的界限,从而不断地产生新的分支学科,例如物理有机化学、生物物理化学、化学物理等。

5. 高分子化学

高分子化学是研究高分子化合物的结构、性能、合成方法、反应机理、应用等方面的一门新兴的综合性学科。主要包括天然高分子化学、高分子合成化学、高分子物理化学、高聚物应用、高分子物理等。目前,许多高分子材料以其优越的性能广泛用于工农业生产、社会生活和科学研究中。

另外,化学学科在其发展过程中还与其他学科交叉结合形成多种新型和边缘学科,如化学工程学、应用化学、生物化学、食品化学、环境化学、农业化学、医学化学、材料化学等。

(三) 化学基础与分析技术课程的基本内容

化学基础与分析技术是食品加工技术专业(群)及相关专业必修的专业基础课程,是培养与专业相关的技术技能人才知识及能力结构的重要组成部分,也是学习后续专业课程的基础。它是根据高职高专人才培养的目标,本着“实用为主,够用为度,应用为本”的原则,对原有基础化学课程内容进行优化组合而形成的一门综合性课程。化学基础与分析技术课程的基本内容可用“结构”、“平衡”、“性质”、“应用”8个字来概括,按照“化学基础与基本操作+基本分析”模式构建而成。化学基础知识以化学基本原理、基础知识和基本操作为主,适当选取物理化学简单知识;基本分析定位在化学定量分析技术和基础仪器分析技术,旨在使学生会使用基本的分析仪器和设备,进行常用食品及化工产品中常、微量组分的分析与检测,培养学生运用化学反应的基本理论和技术去解决、分析实际问题的能力和职业综合素养。

1. 化学基础与分析技术课程的学习内容

(1)近代物质结构理论 原子结构、分子结构和晶体结构、有机物的结构等知识;物质的性质、化学变化与物质结构之间的关系。

(2)元素及其化合物的基本知识 重要的元素及其化合物的结构、组成、性质的变化规律及有关应用;常用的有机化合物的结构、性质及应用。

(3)化学反应的基本原理 化学反应速率、化学平衡及其变化的一般规律。

(4)溶液的基本知识 溶液的性质、溶液浓度的表示及配制、溶液依数性及电解质溶液的离解平衡及应用。

(5)化学实验基本知识与基本操作 化学实验室基本知识、化学实验室守则、安全常识及一般事故的预防与处理;化学实验的基本操作技能。

(6)基本分析技术及应用 应用化学平衡原理和物质的理化性质,确定物质的化学成分和含量,掌握滴定分析法、称量分析法、仪器分析的基本方法及实用技术。

(7)化学分析综合实训 以混合碱分析、明矾中铝含量及钙制剂中钙含量的测定等典型的分析检验项目为载体进行实践训练,巩固学习样品采集与制备知识和基本分析技能,培养学生从实际出发分析问题和解决问题的能力。

2. 化学基础与分析技术课程的学习任务

本课程的学习任务是为学生提供与其未来职业相关的现代化学基本概念、基本原理及其应用的知识和技能。通过完成《化学基础与分析技术》不同模块的学习内容和工作任务,学生具备物质分析技术的基本知识和基本技能,建立准确的量的概念,会运用基本分析知识和技能对生产原料、中间产品及成品进行预处理及分析检测,具备分析检验质量保证能力及从事分析检验工作的职业能力,培养严谨的科学态度,为学习后续课程和将来从事食品生产、食品检测与质量管理以及其他轻工产品的质量检测分析打好基础。

二、化学基础与分析技术课程的学习要求

化学是一门自然科学,化学基础与分析技术课程是一门理论和实践并重的课程。学习时应遵循科学研究的规律,采用科学的方法和科学思维,用辩证唯物主义的观点去指导学习,同时必须掌握正确的学习方法。具体要求如下。

(一) 抓好各个学习环节,注意掌握重点

由于本教材内容多,课时紧。因此,一定要刻苦钻研,弄清概念,力求融会贯通,具体要抓好各个学习环节。在预习的基础上,听好每节课,根据各章的教学要求,抓住重点和主线进行学习,并做到及时复习。学会运用理论去分析解决实际问题。注意知识的积累,掌握记忆的规律,让“点的记忆”汇成“线的记忆”,切忌死记硬背。

(二) 充分重视技能训练,准确树立和落实“量”的理念

随着科学技术的快速发展,分析技术在食品生产与质量控制、食品营养与检测及农产品检验等方面的作用越来越凸显,应用也越来越广泛。化学基础与分析技术作为一门重要的专业基础课程,不仅要使学生学会物质分析的基本知识和测试技术,还要培养学生实事求是、一丝不苟、严肃认真的科学态度,提高自我分析问题、解决问题的能力。学习过程中,必须注意理论与实践的结合,在注重理论知识学习的同时,尤其要加强基本操作技术的培养和锻炼。通过实训课的实际动手实践,提高操作技能,并加深对理论知识的理解和掌握,准确地树立“量”的理念,培养重事实、贵精确、求真相、尚创新的科学精神及实事求是的科学态度以及分析问题、解决问题的能力,将理论指导下的技术变得更加有形,更加扎实。

1. 训练前充分预习

预习是做好技能训练的前提和保证,整个预习过程可以归纳为“读、查、写”。

(1) 读 认真阅读课程教材,巩固理论课上学到的相关知识。做到:明确训练目的,掌握技能训练基本原理;熟悉训练内容、主要操作步骤及数据的处理方法;了解技能训练中仪器的使用方法,明确实验中的注意事项;组织实验顺序,合理分配时间;回答实验后相关的思考题。

(2) 查 从手册或资料中查出实验中所需的数据或常数。

(3) 写 用自己的语言或示意式写出预习报告,做到简明扼要、清晰,切勿照书抄。预习报告一般包括以下内容(根据具体情况取舍):项目名称、日期、训练目的和要求、测定原理(用自己的话扼要写出)、测定步骤(简明扼要)、训练记录(实验现象、实验数据的原始记录必须及时、客观,结束后完成训练报告)、训练中注意事项、训练中所需数据或常数和思考题的回答等。

2. 技能训练过程中做到细心、认真

按教材或自行设计的步骤独立完成,既要大胆又要细心。仔细观察实验现象,客观真实记录测定数据。原始数据不得涂改,如有记错的情况可在原始数据上划

一道杠,再在旁边写上正确值。实验中要勤于思考,仔细分析,力争自己解决问题。碰到疑难问题而自己难以解决时,可请求老师指导。如发现实验现象与理论不符,应尊重实验事实,并认真分析和检查原因,也可做对照试验、空白试验来核对。必要时应多次重做验证,从中得到有益的科学结论。在实验过程中应保持肃静,严格遵守实验室工作规则和安全守则。

3. 正确、及时撰写技能训练报告

技能训练结束后,应对实验现象进行解释并作出结论,或根据实验数据进行处理和计算,独立完成技能训练报告,及时上交指导教师审阅。书写技能训练报告要做到结论明确、计算正确、字迹端正、绘图规范、简明扼要和整齐清洁。

(三)广泛阅读课外参考书,培养自学能力

应充分利用图书馆、资料室及课程网站资源,通过参阅各种参考资料,补充相关内容,帮助自己深入理解与掌握化学基础知识,强化基本操作技能,培养自主学习的能力和树立终身学习的理念。

模块一 化学基础知识与基本操作

项目一 物质的组成与性质

【项目描述】

世界是由物质组成的。物质是由分子(或直接由原子)构成,分子是由原子构成。在化学反应中原子核并没有变化,只是核外电子的数目或运动状态发生了改变;原子与原子之间通过化学键形成分子。另外,分子之间还存在着各种相互作用力,化学键及分子间作用力的类型决定了分子的结构与性质。本项目以现代原子结构模型为基础,重点学习原子核外电子排布的规律、化学键的类型及分子间力与物质性质的关系。

【学习目标】

知识目标	(1)了解原子核外电子运动的特点和核外电子运动状态的近代描述;掌握原子核外电子结构及与元素周期表的关系。 (2)理解离子键与离子晶体特性的关系;了解共价键的特点及与分子性质的关系。 (3)了解分子的极性;理解分子间作用力的类型及氢键对分子性质的影响;理解非离子型晶体的特点。 (4)了解杂化的概念、有机化合物的结构特征和分类。
能力目标	(1)会书写 1~36 号元素的电子排布式并根据电子排布式可判断出该原子的属性。 (2)根据形成分子的原子性质判断常见化学物质的性质。 (3)根据化学物质的性质,在实验过程中做好防护措施;能利用极性判断如何选取溶剂。 (4)会根据有机化合物结构确定其所属类别。

续表

素	(1) 培养严谨的学风以及实事求是的学习态度。
质	(2) 养成良好的学习习惯。
目	(3) 培养自我学习能力和终身学习的理念。
标	(4) 培养团结协作和创新意识

【必备知识】

一、原子结构和元素周期性

(一) 现代原子结构的模型

原子是化学变化中的最小微粒。原子的结构和性质决定了由其形成的物质的结构和性质。人们对原子结构的认识经历了一个逐渐深入的过程。经科学证实,原子很小,由居原子中部的带正电荷的原子核和在原子核周围带负电荷的电子所构成。原子核是由带正电荷的质子和不带电荷的中子构成。电子带负电荷,在原子核外很小的空间内作绕核高速运动。原子核内的质子数决定了该原子的核电荷数,也决定了原子核外的电子数和元素的原子序数。对于任何一种元素有如下关系:

$$\text{原子序数} = \text{核电荷数} = \text{核内的质子数} = \text{核外的电子数}$$

这种关系称之为“四数合一”。任何原子的核电荷数等于核外的电子数,整个原子不显电性。在一般的化学反应中,原子核并没有发生变化,只是核外电子数目或运动状态发生了改变。显然电子数目及运动方式决定了原子的性质。

电子的质量很轻、体积很小。通常把质量和体积都极其微小,运动速度等于或接近光速的微粒称为微观粒子,如光子、电子、质子、中子等均称为微观粒子。因为光子的静止质量为 0,故把光子之外的微观粒子叫实物粒子。人们对原子中核外电子运动状态的研究以及现代原子结构理论的建立,是从对电子、中子等微观粒子波粒二象性的认识开始的。

(二) 电子的波粒二象性

光的波动性和粒子性统称为光的波粒二象性。经科学实验证实,实物粒子如质子、中子、电子等在一定情况下,不仅是粒子而且呈现波的性质,并且其质量为 m 、运动速率为 v 的微观粒子相应的波长 λ 之间有如下关系:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad (1-1)$$

式 1-1 表明,描述粒子性的动量 p 和描述波动性的 λ 通过普朗克常数 h 定量联系起来,表征了包括电子在内的一切微观粒子具有波粒二象性。进一步的研究表明,具有波动性的微观粒子不再服从经典力学规律,只有建立在微观粒子的量子

性及其运动规律的统计性这两个基本特征之上的量子力学,才能比较正确地描述微观粒子的运动。学习量子力学需要高深的数学和物理学知识,通常应用其结论来描述核外电子的运动状态和规律。

(三)核外电子运动状态的近代描述

1. 电子云

具有波动性的微观粒子不服从经典力学规律,只能用统计的方法对其运动规律做出几率性的判断。如氢原子核外只有一个电子,设想原子核的位置固定,而电子并不是沿固定的轨道运动,只能用统计的方法来判断电子在核外空间某一区域出现的机会是多少。设想有一个高速照相机能拍摄电子在某一瞬间的位置,然后在不同瞬间拍摄成千上万张照片,若分别观察每一张照片,其位置各不相同,似无规律可言。如果把所有的照片叠合在一起看,明显地发现电子的运动具有统计规律性。为了形象地表示电子的运动规律,人们习惯用小黑点(一个电子的运动痕迹)的疏密程度来表示电子在原子核外某区域出现几率的大小(氢原子的电子经常出现在核外的一个球形空间),离核愈近处,黑点愈密。它如同带负电的云一样,把原子核包围起来,这种想像的图形就叫做电子云,电子云愈密集,电子出现的几率愈大。

2. 四个量子数

量子力学认为,要完整描述原子核外某电子的运动状态,必须要用4个量子数,即主量子数(n)、角量子数(l)、磁量子数(m)和自旋量子数(m_s)。

(1)主量子数 n 主量子数 n 是确定电子能量的主要因素,可以用1,2,3,4,...等正整数来表示。 n 决定着电子离核的平均距离。 n 越大,电子离核平均距离越远,能量越高; n 相同的电子在离核距离相近的一个空间区域内运动,这个区域称为电子层,故 n 值又代表电子层数。所有 n 相同的电子称为同层电子。在光谱学上另用一套拉丁字母来表示 n 不同的电子层。

主量子数(n)	1	2	3	4	5	6	...
电子层	K	L	M	N	O	P	...

进一步的研究表明,在某一电子层内还存在着能量差别很小的若干个亚层。除 n 外,还要用角量子数 l 来描述核外电子的运动状态和能量。

(2)角量子数 l 角量子数 l 代表电子的角动量的大小,它规定电子在空间角度分布情况,与轨道(电子云)形状密切相关。 l 的取值受 n 的制约,可以取从0到 $n-1$ 的 n 个正整数。相应于电子层 n 的概念,所以角量子数 l 又称为电子亚层。 l 数值与光谱学上规定的亚层符号之间的对应关系为:

角量子数(l)	0	1	2	3	...
亚层符号	s	p	d	f	...
原子轨道的形状	球形	哑铃形	花瓣形	花瓣形	

n 相同, l 不同的电子,不仅能量不同(氢原子除外),电子云形状也不同。 s 、

p 、 d 电子云示意图见图 1-1。所以,像 $2s$ 、 $2p$ 、 $3d$ 等符号既表示电子的能级,也表示电子云的形状,即表示电子的运动状态。 n 相同, l 也相同的电子具有相同的能量,它们处在同一能级,归为同一亚层。在同一电子层中,能量依 s 、 p 、 d 、 f 亚层依次升高。

(3) 磁量子数 m 磁量子数 m 是确定电子绕核运动的角动量在外磁场方向上分量的量子数,决定原子轨道或电子云在空间的伸展方向。它的取值受 l 的制约,可取从 0 到 $\pm l$ 的整数,即 0, ± 1 , ± 2 , $\dots$, $\pm l$, 共 $(2l+1)$ 个值。每个取值都表示亚层中的一个有一定空间伸展方向的轨道。一个亚层中 m 可取几个数值,该亚层中就有几个伸展方向不同的轨道。 n 、 l 、 m 3 个量子数规定了一个原子轨道,在没有外加磁场的情况下, n 、 l 相同, m 不同的同一亚层的原子轨道属于同一能级,能量是完全相等的,叫等价轨道或称简并轨道。如 p 、 d 、 f 亚层分别有 3、5、7 个等价轨道。 n 越高,轨道能量升高,轨道的个数也增多,轨道类型(形状和方向)也更多样。

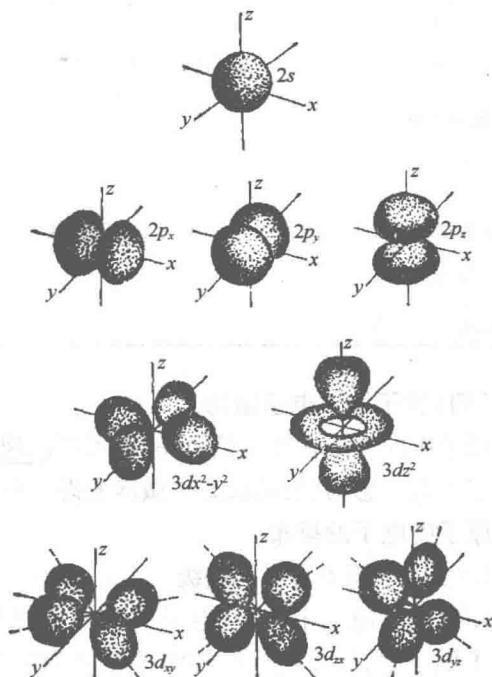


图 1-1 s 、 p 、 d 电子云示意图

(4) 自旋量子数 m_s 。电子在绕核运动同时,本身还作两种相反方向的自旋运动,描述电子自旋运动的量子数称为自旋量子数 m_s ,取值为 $+\frac{1}{2}$ 或 $-\frac{1}{2}$,分别对应电子的顺时针方向自旋运动和逆时针方向自旋运动,一般用符号“ $\uparrow$ ”和“ $\downarrow$ ”表示。

综上所述,要准确完整地描述原子核外某个电子的运动状态,必须要用 n 、 l 、 m 和 m_s 4 个量子数。4 个量子数是互相联系、互相制约的。在同一原子中,没有彼此处于完全相同运动状态的电子同时存在,即在同一原子中,不能有 4 个量子数(n 、 l 、 m 、 m_s)完全相同的两个电子存在。可以推论每一个原子轨道(n 、 l 、 m 相同)只能容纳两个自旋方向相反的电子(m_s 不同),这称作泡利(W. Pauli)不相容原理。根据 4 个量子数之间的关系和泡利不相容原理,可以推算出各电子层可能的轨道数(n^2)和电子的最大容量($2n^2$),如表 1-1 所示。