

农林类高等职业院校基础课系列教材

无机及分析化学

第2版

刘修堂 司秀云 主编



p 区		原子序数	元素符号	原子序数
1	2	1	H	1
3	4	3	Li	3
5	6	5	B	5
7	8	7	N	7
9	10	9	F	9
11	12	11	Na	11
13	14	13	Al	13
15	16	15	P	15
17	18	17	Cl	17
19	20	19	K	19
21	22	21	Sc	21
23	24	23	V	23
25	26	25	Mn	25
27	28	27	Co	27
29	30	29	Cu	29
31	32	31	Ga	31
33	34	33	As	33
35	36	35	Br	35
37	38	37	Rb	37
39	40	39	Y	39
41	42	41	La	41
43	44	43	Pr	43
45	46	45	Nd	45
47	48	47	Sm	47
49	50	49	Eu	49
51	52	51	Gd	51
53	54	53	Tb	53
55	56	55	Dy	55
57	58	57	Ho	57
59	60	59	Er	59
61	62	61	Tm	61
63	64	63	Yb	63
65	66	65	Lu	65
67	68	67	Hf	67
69	70	69	Ta	69
71	72	71	W	71
73	74	73	Re	73
75	76	75	Os	75
77	78	77	Ir	77
79	80	79	Pt	79
81	82	81	Au	81
83	84	83	Hg	83
85	86	85	Tl	85
87	88	87	Pb	87
89	90	89	Bi	89
91	92	91	Po	91
93	94	93	At	93
95	96	95	Fr	95
97	98	97	Ac	97
99	100	99	Th	99
101	102	101	Pa	101
103	104	103	U	103
105	106	105	Np	105
107	108	107	Pu	107
109	110	109	Am	109
111	112	111	Cm	111
113	114	113	Bk	113
115	116	115	Cf	115
117	118	117	Es	117
119	120	119	Fm	119
121	122	121	Md	121
123	124	123	No	123
125	126	125	Lr	125
127	128	127	La	127
129	130	129	Ce	129
131	132	131	Pr	131
133	134	133	Nd	133
135	136	135	Pm	135
137	138	137	Sm	137
139	140	139	Eu	139
141	142	141	Gd	141
143	144	143	Tb	143
145	146	145	Dy	145
147	148	147	Ho	147
149	150	149	Er	149
151	152	151	Tm	151
153	154	153	Yb	153
155	156	155	Lu	155
157	158	157	Hf	157
159	160	159	Ta	159
161	162	161	W	161
163	164	163	Re	163
165	166	165	Os	165
167	168	167	Ir	167
169	170	169	Pt	169
171	172	171	Au	171
173	174	173	Hg	173
175	176	175	Tl	175
177	178	177	Pb	177
179	180	179	Bi	179
181	182	181	Po	181
183	184	183	At	183
185	186	185	Fr	185
187	188	187	Ac	187
189	190	189	Th	189
191	192	191	Pa	191
193	194	193	U	193
195	196	195	Np	195
197	198	197	Pu	197
199	200	199	Am	199
201	202	201	Cm	201
203	204	203	Bk	203
205	206	205	Cf	205
207	208	207	Es	207
209	210	209	Fm	209
211	212	211	Md	211
213	214	213	No	213
215	216	215	Lr	215
217	218	217	La	217
219	220	219	Ce	219
221	222	221	Pr	221
223	224	223	Nd	223
225	226	225	Pm	225
227	228	227	Sm	227
229	230	229	Eu	229
231	232	231	Gd	231
233	234	233	Tb	233
235	236	235	Dy	235
237	238	237	Ho	237
239	240	239	Er	239
241	242	241	Tm	241
243	244	243	Yb	243
245	246	245	Lu	245
247	248	247	Hf	247
249	250	249	Ta	249
251	252	251	W	251
253	254	253	Re	253
255	256	255	Os	255
257	258	257	Ir	257
259	260	259	Pt	259
261	262	261	Au	261
263	264	263	Hg	263
265	266	265	Tl	265
267	268	267	Pb	267
269	270	269	Bi	269
271	272	271	Po	271
273	274	273	At	273
275	276	275	Fr	275
277	278	277	Ac	277
279	280	279	Th	279
281	282	281	Pa	281
283	284	283	U	283
285	286	285	Np	285
287	288	287	Pu	287
289	290	289	Am	289
291	292	291	Cm	291
293	294	293	Bk	293
295	296	295	Cf	295
297	298	297	Es	297
299	300	299	Fm	299
301	302	301	Md	301
303	304	303	No	303
305	306	305	Lr	305
307	308	307	La	307
309	310	309	Ce	309
311	312	311	Pr	311
313	314	313	Nd	313
315	316	315	Pm	315
317	318	317	Sm	317
319	320	319	Eu	319
321	322	321	Gd	321
323	324	323	Tb	323
325	326	325	Dy	325
327	328	327	Ho	327
329	330	329	Er	329
331	332	331	Tm	331
333	334	333	Yb	333
335	336	335	Lu	335
337	338	337	Hf	337
339	340	339	Ta	339
341	342	341	W	341
343	344	343	Re	343
345	346	345	Os	345
347	348	347	Ir	347
349	350	349	Pt	349
351	352	351	Au	351
353	354	353	Hg	353
355	356	355	Tl	355
357	358	357	Pb	357
359	360	359	Bi	359
361	362	361	Po	361
363	364	363	At	363
365	366	365	Fr	365
367	368	367	Ac	367
369	370	369	Th	369
371	372	371	Pa	371
373	374	373	U	373
375	376	375	Np	375
377	378	377	Pu	377
379	380	379	Am	379
381	382	381	Cm	381
383	384	383	Bk	383
385	386	385	Cf	385
387	388	387	Es	387
389	390	389	Fm	389
391	392	391	Md	391
393	394	393	No	393
395	396	395	Lr	395
397	398	397	La	397
399	400	399	Ce	399
401	402	401	Pr	401
403	404	403	Nd	403
405	406	405	Pm	405
407	408	407	Sm	407
409	410	409	Eu	409
411	412	411	Gd	411
413	414	413	Tb	413
415	416	415	Dy	415
417	418	417	Ho	417
419	420	419	Er	419
421	422	421	Tm	421
423	424	423	Yb	423
425	426	425	Lu	425
427	428	427	Hf	427
429	430	429	Ta	429
431	432	431	W	431
433	434	433	Re	433
435	436	435	Os	435
437	438	437	Ir	437
439	440	439	Pt	439
441	442	441	Au	441
443	444	443	Hg	443
445	446	445	Tl	445
447	448	447	Pb	447
449	450	449	Bi	449
451	452	451	Po	451
453	454	453	At	453
455	456	455	Fr	455
457	458	457	Ac	457
459	460	459	Th	459
461	462	461	Pa	461
463	464	463	U	463
465	466	465	Np	465
467	468	467	Pu	467
469	470	469	Am	469
471	472	471	Cm	471
473	474	473	Bk	473
475	476	475	Cf	475
477	478	477	Es	477
479	480	479	Fm	479
481	482	481	Md	481
483	484	483	No	483
485	486	485	Lr	485
487	488	487	La	487
489	490	489	Ce	489
491	492	491	Pr	491
493	494	493	Nd	493
495	496	495	Pm	495
497	498	497	Sm	497
499	500	499	Eu	499
501	502	501	Gd	501
503	504	503	Tb	503
505	506	505	Dy	505
507	508	507	Ho	507
509	510	509	Er	509
511	512	511	Tm	511
513	514	513	Yb	513
515	516	515	Lu	515
517	518	517	Hf	517
519	520	519	Ta	519
521	522	521	W	521
523	524	523	Re	523
525	526	525	Os	525
527	528	527	Ir	527
529	530	529	Pt	529
531	532	531	Au	531
533	534	533	Hg	533
535	536	535	Tl	535
537	538	537	Pb	537
539	540	539	Bi	539
541	542	541	Po	541
543	544	543	At	543
545	546	545	Fr	545
547	548	547	Ac	547
549	550	549	Th	549
551	552	551	Pa	551
553	554	553	U	553
555	556	555	Np	555
557	558	557	Pu	557
55				

主 编 刘修堂 司秀云

副主编 褚有明 田爱琴 赵殿英 马俊吉

编 者 (以姓氏笔画为序)

马俊吉(陕西林业职业技术学院)

司秀云(山东农业大学)

田爱琴(河南科技大学)

刘修堂(山东农业大学)

刘荣森(河南科技大学)

张中一(丽水职业技术学院)

陈建松(山东农业大学)

苗延虹(山东农业大学)

赵殿英(山东潍坊职业学院)

韩桂芹(山东农业大学)

褚有明(山东农业大学)

主 审 张立芳 包 宏

“农林类高职高专基础课系列教材”《无机及分析化学》自2002年6月出版以来,由于突出了高职高专特色和适用、实用,深受广大读者的好评,大多数农林类高职院校都已使用。为了便于教学和完善成立体化教材,我们还研制了配合该教材的电子教案和多媒体课件等助学、助教系统,为教师的教学带来了很大的方便,使用院校普遍反映较好。5年来,许多农林类高职院校的老师根据入校生的实际情况,从不同的角度提出了一些建设性的修改意见,促成了这次的修订,编者在此深表谢意。

由于近几年高职教育的快速发展,农林类高职学生的人数迅速增加,其生源的构成也日趋复杂,入学时的化学基础参差不齐,给教与学都带来了很多的不便。本次修订本着“必须、够用、适用、实用、易用”的原则,除订正个别印刷错误外,在整体降低难度的基础上,对整个体系做了调整。把原“第二章主族元素及其化合物”、“第三章过渡元素及其化合物”调至最后,并根据与农林和生物科学的关联程度予以精简,改写为“第十一章主族元素及其化合物选述”和“第十二章过渡元素及其化合物选述”;将原“第四章稀溶液的依数性和胶体溶液”增补了“分散系、物质的量及其浓度”等内容后改写为“第二章分散系”;新增写了“第三章化学反应速率与化学平衡”;其余内容除降低难度外基本不变,使整个的知识结构更趋合理,更能适合农林高职学生的实际需求。本次修订,本着突出农林类高职的特点,对广大读者负责、打造精品教材的态度进行修编。

本次修订由刘修堂、司秀云负责定稿。南京林业大学的张立芳教授和包宏教授审阅了全书;许多农林类普通高等院校和高职院校的老师给予了大力支持,在此一并致谢!

修订再版后的教材,虽然在适用性、实用性和易用性上有了较大改进,但鉴于编者的水平有限,不足之处在所难免,敬请赐教。

编者

2007年7月

自1998年我国高等教育体制改革以来,农、林高等职业教育有了迅猛的发展,改变了我国农、林高等教育中高职教育严重失衡的状况。但在教材建设方面却与农、林高职教育的发展很不适应。现在大多数农林高职直接使用的本科、老专科教材或在其基础上进行删减,给师生的教与学带来不少困难,也不能充分体现高职教育的特色。鉴于此,我们根据全国第一次高职高专教育工作会议精神和我国主要农林院校和农林类职业技术学院新制订的高职高专各专业《化学教学大纲》,在大家充分、认真讨论的基础上编写了《无机及分析化学》这本教材,供农、林院校和高等职业技术学院的农林类高职、高专各专业使用。

国家对高等教育的体制进行调整和改革时,将高职高专教育均定位于高等职业教育范畴,所以高职、高专的教材要充分体现高等职业教育的特点。根据高职教育的培养目标和其就业岗位及岗位群对化学知识的需求,该教材在编写时不过分强调学科知识的系统性和完整性,本着“必需、够用、服务于专业”的原则,以适当降低理论难度、强化实践技能培养、加强素质教育、加强创新思维和创新能力的培养为重点,精选教材内容,使之充分体现农林高职的教育特色。同时注重了与新高中化学教材的衔接,并且融入了本学科及部分院校高职教学改革的最新研究成果。

本教材共分十一章,主要包括无机化学、分析化学及部分胶体化学的内容。在安排上,以其专业必须的主要化学原理为基础(如原子结构和分子结构理论、主族元素和过渡元素及其性质、稀溶液和胶体溶液的性质等);以定量分析为主线,在酸碱、配合、沉淀和氧化-还原等方面,将无机化学与分析化学的内容有机地融为一体,重点加强了与专业密切相关的分析化学的内容,特别是现代仪器分析的内容。在每种分析方法的后面,都结合所做试验编入应用实例,以加强理论与实际的联系。每章后都附有针对性较强且有一定难度的思考题和习题,以帮助学生巩固、思考和加深对课堂所学知识的理解和培养其分析、解决实际问题的能力。书末还有配合本教材的一些常用附录。本

教材在编排上吸收了国外教材的成功经验,融入了以人为本的设计理念,使本教材的易用性大大提高。

本教材把其内容分为三种:必讲、选讲(有*者)和阅读(有**者),以适应不同专业对化学知识的要求。本教材需42~60学时(不包括有关实验)。

本教材的编写大纲经全国农林专科课程建设委员会副主任、山东农业大学王汉忠教授审阅;山西农业大学张金桐教授主审了本教材,并提出了许多宝贵的修改意见,在此一并致谢。

限于编者水平,教材中欠妥乃至错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2002年5月

第一章 原子结构和分子结构	(1)
第一节 核外电子的运动状态和排布	(1)
一、电子云	(1)
二、核外电子的运动状态	(2)
三、原子核外电子的排布	(3)
四、原子结构和元素周期表的关系	(6)
第二节 化学键和分子结构	(8)
一、电负性	(8)
二、离子键	(9)
三、共价键	(10)
四、氢 键	(15)
思考题	(16)
习题一	(16)
第二章 化学反应速率与化学平衡	(19)
第一节 化学反应速率	(19)
一、化学反应速率的表示方法	(19)
二、影响化学反应速率的因素	(20)
第二节 化学平衡	(20)
一、化学平衡及其特征	(21)
二、化学平衡的移动	(23)
思考题	(25)
习题二	(26)
第三章 分散系	(28)
第一节 溶 液	(28)
一、物质的量及其单位	(29)
二、物质的量浓度	(29)
三、质量摩尔浓度	(30)
第二节 稀溶液的依数性	(30)

一、溶液的蒸气压下降	(31)
二、溶液的沸点升高	(33)
三、溶液的凝固点下降	(34)
四、溶液的渗透压	(36)
第三节 胶体溶液	(38)
一、胶体溶液	(38)
二、胶体溶液的重要性质	(38)
三、胶体的结构	(40)
四、胶体的稳定性和凝聚	(41)
五、胶体的应用	(42)
思考题	(43)
习题三	(44)
第四章 酸碱平衡与酸碱滴定	(45)
第一节 强电解质溶液	(45)
一、电解质稀溶液依数性的偏差	(45)
二、强电解质溶液理论	(46)
第二节 弱电解质的电离平衡	(47)
一、电离平衡常数和电离度	(47)
二、水的电离和溶液的酸碱性	(49)
三、酸碱指示剂	(53)
四、一元弱酸和一元弱碱的电离平衡	(53)
五、多元弱酸的电离平衡	(54)
六、同离子效应和盐效应	(55)
第三节 盐类的水解	(56)
一、弱酸强碱盐的水解	(56)
二、强酸弱碱盐的水解	(58)
三、弱酸弱碱盐的水解	(58)
四、盐类水解的抑制与促进	(59)
第四节 缓冲溶液	(59)
一、缓冲溶液的组成	(60)
二、缓冲溶液的缓冲机理	(60)
三、缓冲溶液的 pH 值	(61)
四、缓冲溶液的选择与配制	(62)
第五节 滴定分析简介	(63)
一、概 述	(64)
二、滴定分析的分类	(64)

三、滴定分析法对化学反应的要求和滴定方法	(65)
四、标准溶液和基准物质	(66)
五、滴定分析的误差	(67)
* 六、有效数字及其运算规则	(68)
七、滴定分析的计算	(69)
第六节 酸碱滴定法	(72)
一、强酸强碱的滴定	(73)
二、强碱弱酸的滴定	(76)
三、强酸弱碱的滴定	(76)
四、酸碱滴定法的应用	(77)
思考题	(79)
习题四	(80)
第五章 配位离解平衡和配位滴定	(84)
第一节 概 述	(84)
一、配合物的定义	(84)
二、配合物的组成	(84)
三、配合物的命名	(86)
第二节 配合物的价键理论	(86)
第三节 配位离子的配位离解平衡	(89)
一、配位离解平衡	(89)
二、配位离子的逐级稳定常数	(91)
三、配位离解平衡的移动	(91)
第四节 螯合物	(93)
第五节 配位滴定法	(94)
一、配位滴定法概述	(94)
二、金属离子指示剂	(98)
三、配位滴定方式及应用	(100)
思考题	(103)
习题五	(103)
第六章 氧化-还原平衡与氧化-还原滴定	(105)
第一节 原电池与电极电势	(105)
一、原电池	(105)
二、电极电势	(107)
三、影响电极电势的因素	(109)
四、电极电势的应用	(111)
第二节 氧化-还原滴定法	(114)

一、概述	(114)
二、氧化-还原滴定曲线	(115)
三、氧化-还原滴定指示剂	(116)
四、高锰酸钾法	(117)
五、重铬酸钾法	(121)
六、碘量法	(123)
* 七、氧化-还原滴定中待测组分的预处理	(127)
思考题	(130)
习题六	(131)
第七章 沉淀-溶解平衡与沉淀滴定	(133)
第一节 溶度积原理	(133)
一、沉淀-溶解平衡	(133)
二、难溶电解质的溶度积	(133)
第二节 沉淀的生成和溶解	(135)
一、溶度积规则	(135)
二、分步沉淀	(135)
三、沉淀的溶解	(136)
四、沉淀的转化	(137)
第三节 沉淀滴定法	(138)
一、概述	(138)
二、沉淀滴定曲线	(139)
三、莫尔法	(140)
四、佛尔哈德法	(141)
五、标准溶液的配制及标定	(143)
六、银量法应用示例	(144)
思考题	(144)
习题七	(145)
第八章 吸光光度法	(147)
第一节 概 述	(147)
第二节 吸光光度法的基本原理	(148)
一、互补色光	(148)
二、溶液对光的选择吸收和溶液的颜色	(149)
三、吸收光谱曲线	(150)
四、朗伯-比耳定律	(150)
第三节 分光光度法的测定原理、方法和仪器	(152)
一、测定原理	(152)

二、测定方法	(152)
三、分光光度计	(153)
第四节 吸光光度法应用示例	(157)
思考题	(157)
习题八	(158)
第九章 电势分析法	(159)
第一节 电势分析法的基本原理	(159)
一、概述	(159)
二、电势分析法的基本原理	(159)
第二节 离子选择性电极	(163)
一、离子选择性电极的测量原理	(163)
二、离子选择性电极的分类	(164)
第三节 直接电势法及其应用	(167)
一、pH 值的测定	(167)
二、离子活度(或浓度)的测定	(168)
三、离子选择性电极的应用	(172)
四、直接电势法应用示例	(173)
第四节 电势滴定法及其应用	(175)
一、电势滴定法的基本原理和仪器装置	(175)
二、电势滴定法的应用和指示电极的选择	(178)
思考题	(182)
习题九	(182)
第十章 现代仪器分析简介	(184)
第一节 概述	(184)
一、仪器分析的特点与发展历程	(184)
二、现代仪器分析的分类方法	(185)
第二节 原子吸收光谱分析法	(186)
一、概述	(186)
二、基本原理	(187)
三、原子吸收分光光度计	(189)
四、定量分析的方法	(190)
第三节 原子发射光谱分析法	(191)
一、概述	(191)
二、基本原理	(192)
三、仪器的基本结构	(192)
四、光谱分析方法	(194)

第四节 红外吸光光谱法	(196)
一、概 述	(196)
二、基础知识	(196)
三、基本原理和结构	(197)
四、红外光谱的定性与定量分析	(199)
第五节 核磁共振光谱法	(202)
一、概 述	(202)
二、基本结构和原理	(202)
三、核磁共振基本原理	(203)
四、图谱的说明	(205)
第六节 电化学分析法	(206)
一、概 述	(206)
二、极谱分析法	(206)
三、库仑滴定法	(208)
四、微库仑法	(210)
第七节 气相色谱法	(210)
一、概 述	(210)
二、气相色谱分析法流程和基本原理	(212)
三、仪器的基本结构	(213)
四、气相色谱分析法	(214)
五、高效液相色谱分析法	(215)
第八节 质谱分析	(216)
一、概 述	(216)
二、基本原理	(216)
三、基本结构	(218)
四、分析的方法	(219)
第十一章 主族元素及其化合物选述	(221)
第一节 碱金属和碱土金属的化合物	(221)
一、碱金属和碱土金属元素结构特点及通性	(221)
二、碱金属和碱土金属元素的氧化物	(221)
三、氢氧化物	(222)
四、盐 类	(223)
第二节 硼族元素和碳族元素的化合物	(224)
一、硼族元素和碳族元素的通性	(224)
二、碳、硅的氧化物、含氧酸及其盐	(225)
第三节 氮族元素及其化合物	(228)

一、氮族元素的结构特点及其通性	(228)
二、氮的含氧化合物	(230)
三、磷的含氧酸及其盐	(231)
第四节 氧族元素的化合物	(232)
一、氧族元素的结构特点及其通性	(232)
二、氧和臭氧	(233)
三、过氧化氢	(233)
四、硫的化合物	(234)
第五节 卤素	(236)
一、概 述	(236)
二、卤素单质	(237)
三、卤化氢和氢卤酸	(238)
四、卤化物	(238)
五、卤素的含氧酸及其盐	(238)
思考题	(240)
习题十一	(240)
第十二章 过渡元素及其化合物选述	(242)
第一节 概 述	(242)
第二节 钼	(243)
一、钼单质	(243)
二、钼的化合物	(243)
三、钼的生物学意义	(244)
第三节 锰	(245)
一、锰单质	(245)
二、锰的化合物	(245)
三、锰的生物学意义	(246)
第四节 铁、钴、镍	(246)
一、铁、钴、镍的单质	(246)
二、铁的化合物	(247)
三、钴的化合物	(248)
四、铁的生物学意义	(248)
第五节 铜族元素	(249)
一、铜族元素的单质	(249)
二、铜族元素的化合物	(249)
三、铜的生物学意义	(250)
第六节 锌族元素	(250)

一、锌族元素的单质	(250)
二、锌族元素的化合物	(251)
三、锌的生物学意义	(252)
·第七节 稀土元素	(252)
一、镧系元素的单质	(253)
二、镧系元素的化合物	(254)
思考题	(255)
习题十二	(256)
附录一 几种常用酸、碱的浓度	(257)
附录二 常见离子和化合物的颜色	(258)
附录三 常用弱酸及弱碱的离解常数表	(261)
附录四 常用缓冲溶液及洗涤剂	(263)
附录五 常用指示剂	(264)
附录六 配合物的稳定常数	(266)
附录七 氨羧配合剂类配合物的稳定常数	(272)
附录八 常用基准物质的干燥条件和应用范围	(274)
附录九 标准电极电位(298.15K)	(275)
附录十 常见难溶化合物的溶度积常数表	(283)
附录十一 常用化合物的摩尔质量($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)	(285)
参考文献	(288)
元素周期表	

教学要求

1. 了解原子核外电子的运动状态、价键理论、氢键等有关知识；
2. 掌握多电子原子核外电子的排布、杂化轨道理论。

第一节 核外电子的运动状态和排布

在化学反应中,原子核并不发生变化,发生变化的只是部分核外电子,因此在化学上研究原子结构,就是研究核外电子的运动状态和排布规律。

一、电子云

飞机在空中航行,人造卫星按一定轨道围绕地球运转,这些质量较大、速度较慢的运动物体,都可以测定或根据一定的数据计算出它们在某一时刻所在的位置,并描绘出它们的运动轨迹。但是,核外电子的运动规律与上述的普通物体不同,由于电子是带负电荷的质量很小的微粒,它在原子这样大小的空间(直径约 10^{-10} m)内作高速运动,在顷刻之间,同一电子可以出现在原子核外空间的不同位置。因此,核外电子的运动没有确定的轨道,也不能测定或计算出它在某一时刻所在的位置,描绘不出它的运动轨迹。在描述核外电子运动时,只能指出它在原子核外空间某处出现机会的多少。电子在原子核外各处出现的机会是不同的。有些地方出现的机会多,有些地方出现的机会少。通常用小黑点的疏密来表示电子在核外空间单位体积内出现机会的多少。电子在核外空间一定范围内出现,好像带负电荷的云雾笼罩在原子核周围,所以我们形象地称它为“电子云”。图 1-1(a)就是在通常状况下氢原子的电子云示意图。氢原子的电子云呈球形对称,在离核越近处密度越大,离核越远处密度越小。也就是说,在离核越近处单位体积的空间中电子出现的机会越多,离核越远处单位体积的空间中电子出现的机会越少。

二、核外电子的运动状态

1. 电子层

在含有多个电子的原子里,电子的能量并不相同。能量低的电子,通常在离核近的区域运动;能量高的,通常在离核远的区域运动。根据电子的能量差别和运动区域的不同,可以将核外电子分成不同的电子层。即核外电子是分层运动的。核外电子的分层运动,又叫核外电子的分层排布。习惯上用 n 表示电子层序数, $n=1$ 表示离核最近的第一电子层,用符号 K 表示,在该层上运动的电子能量最低; $n=2$ 表示第二电子层,用符号 L 表示; $n=3$ 表示第三电子层,用符号 M 表示; $n=4$ 表示第四电子层,用符号 N 表示……。

2. 电子亚层和电子云的形状

科学研究发现,在同一电子层中,电子的能量还稍有差别,电子云的形状也不相同,根据这个差别,又可以把一个电子层分成一个或几个亚层,分别用 s 、 p 、 d 、 f 等符号表示。 K 层只包含一个亚层,即 s 亚层; L 层包含两个亚层,即 s 亚层和 p 亚层; M 层包含三个亚层,即 s 、 p 、 d 亚层; N 层包含四个亚层,即 s 、 p 、 d 、 f 亚层……。不同亚层的电子云形状不同。 s 亚层的电子云形状是球形, p 亚层的电子云形状是哑铃形, d 亚层和 f 亚层的电子云形状更加复杂,故不做介绍。

在同一电子层里,亚层电子的能量是按 s 、 p 、 d 、 f 的次序递增的。为了清楚地表示某个电子处于核外哪个电子层和亚层(自然同时也表示它的能量高低和电子云的形状),可将电子层的序数 n 标在亚层符号的前面。如处于 K 层的 s 亚层的电子标为 $1s$;处于 L 层的 s 亚层和 p 亚层的电子标为 $2s$ 和 $2p$;处于 M 层的 d 亚层的电子标为 $3d$ ……。

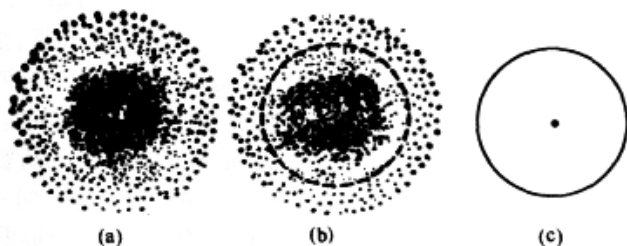


图 1-1 氢原子的 $1s$ 电子云和它的界面图

图 1-1 中,(a)表示氢原子 $1s$ 电子云;(b)中虚线表示的球壳,称为电子云界面,在界面内电子出现的机会最多,界面外电子出现的机会很少,通常也用电子云界面图来表示电子云;(c)是氢原子 $1s$ 电子云界面图,它表示一个球面。

3. 电子云的伸展方向

电子云不仅具有确定的形状,而且有一定的空间伸展方向。 s 电子云是球形的,在空间各个方向上伸展的程度相同; p 电子云在空间可以有三种互相垂直的伸展方向, $2p$ 电子云如图 1-2。 d 电子云可以有五种伸展方向, f 电子云可以有七种伸展方向。

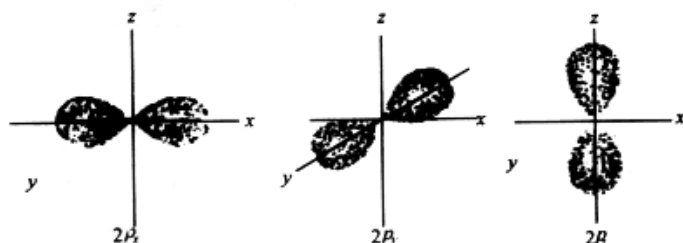


图 1-2 $2p$ 电子云的三种伸展方向

如果把在一定的电子层上、具有一定的形状和伸展方向的电子云所占据的空间称为一个原子轨道(简称轨道),那么 s 、 p 、 d 、 f 四个亚层分别有 1、3、5、7 个轨道。这样,各电子层可能有的最多轨道数如下:

电子层	亚层	轨道数
$n = 1$	s	$1 = 1^2$
$n = 2$	s, p	$1 + 3 = 4 = 2^2$
$n = 3$	s, p, d	$1 + 3 + 5 = 9 = 3^2$
$n = 4$	s, p, d, f	$1 + 3 + 5 + 7 = 16 = 4^2$
.....		
n		n^2

即每个电子层可能有的最多轨道数应为 n^2 。

4. 电子的自旋

电子不仅在核外空间不停地运动,而且还伴有自旋运动,电子的自旋有顺时针和逆时针两个方向,通常用向上的箭头“ $\uparrow$ ”和向下的箭头“ $\downarrow$ ”表示。

通过以上的描述我们可以看出,电子在原子核外的运动状态是相当复杂的,必须由它所处的电子层、电子亚层、电子云的空间伸展方向和自旋方向四个方面来决定。因此,当我们要说明一个电子的运动状态时,必须同时指明它是属于哪一个电子层、哪一个电子亚层、它的电子云是哪一种空间伸展方向、是哪一种自旋方向。

三、原子核外电子的排布

原子核外电子的排布服从以下基本原理和规则:

1. 泡利(Pauli)不相容原理

每个原子轨道最多能容纳 2 个电子,而且这两个电子的自旋方向必须相反。即在同一个原子中,不可能有运动状态完全相同的电子存在。这个规律叫泡利不相容原理。根据这个原理可推算出各电子层最多容纳的电子数。现将 1~4 电子层可容纳电子的最大数目见表 1-1。

表 1-1 1~4 电子层可容纳电子的最大数目

电子层 (n)	K (1)	L (2)	M (3)	N (4)
电子亚层	s	s, p	s, p, d	s, p, d, f
亚层中的轨道数	1	1, 3	1, 3, 5	1, 3, 5, 7
亚层中的电子数	2	2, 6	2, 6, 10	2, 6, 10, 14
每个电子层中可容纳的电子的最大数目($2n^2$)	2	8	18	32

2. 能量最低原理

在核外电子的排布中,通常在不违背泡利不相容原理的情况下,电子总是尽先占据能量最低的轨道,只有当能量最低的轨道占满后,电子才依次排列在能量较高的轨道上。这个规律叫能量最低原理。

那么,哪些轨道的能量高,哪些轨道的能量低呢?

根据实验结果,提出了多电子原子轨道的近似能级图(图 1-3)。

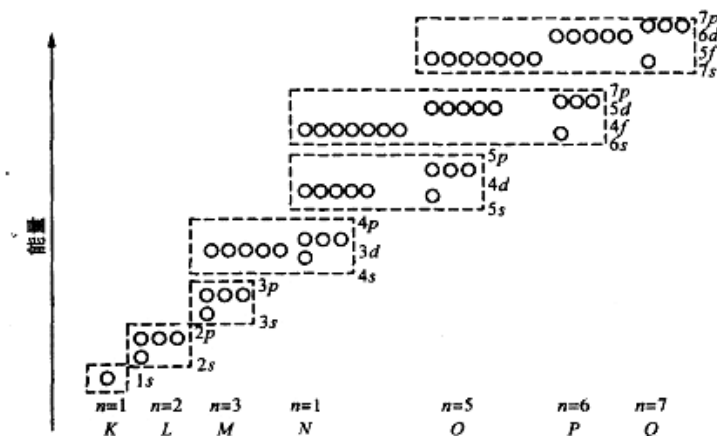


图 1-3 多电子原子轨道的近似能级图

图 1-3 中箭头所指方向表示轨道能量升高的方向,每个圆圈代表 1 个原子轨道。在同一水平线上的轨道能量相同称为简并轨道(如 2p 轨道中的 2p_x, 2p_y, 2p_z)。将能量相近的各能级轨道用虚线框起来,称为一个能级组,将其分为 7 个能级组,这 7 个能级组与元素周期表中的 7 个周期相对应。