

医用化学

承德医学专科学校 主编



全国医学专科学校试用教材

(供医学专业用)

医 用 化 学

主 编 单 位

承 德 医 学 专 科 学 校

编 写 单 位

承 德 医 学 专 科 学 校

济 宁 医 学 专 科 学 校

桂 林 医 学 专 科 学 校

审 阅 单 位

白 求 恩 医 科 大 学

人 民 卫 生 出 版 社

医 用 化 学

承德医学专科学校 主 编

人 民 卫 生 出 版 社 出 版
(北京市崇文区天坛西里10号)

天 水 新 华 印 刷 厂 印 刷

新 华 书 店 北 京 发 行 所 发 行

787×1092毫米16开本 21³/₄印张 4 插页 505千字

1980年11月第1版第1次印刷

1981年11月第1版第3次印刷

印数：20,651—50,150

统一书号：14048·3895 定价：1.75元

编写说明

《医用化学》是由卫生部组织承德医专、济宁医专和桂林医专等校集体编写的统一教材，供全国医学专科学校医学专业试用。全书包括理论和实验两个部分。

理论部分着重介绍了原子和分子结构、溶液的浓度和渗透压、缓冲溶液、络合物、氧化还原、高分子化合物溶液、有机化合物的官能团特点、主要化学性质和结构与性质的关系等基础理论和基本知识，并对与医学关系密切的糖类、脂类和蛋白质等化合物作了较详细的叙述。各章后面都附有复习题，供学生练习参考。

实验部分共编十六个实验，根据各校具体情况可酌情选用。

在编写过程中，白求恩医科大学在提供资料、绘图和审阅各方面都给予大力支援，同时各兄弟学校也提出许多宝贵意见，最后由白求恩医科大学徐景达同志主审定稿。编者在此一并表示衷心感谢。

由于编写时间较短，我们的水平较低，因此本书一定会有不少错误和不当之处，殷切希望各校在试用时提出宝贵意见，以便进一步修订改进。

《医用化学》编写组

一九八〇年一月

目 录

绪言	1
第一章 原子结构和分子结构	3
第一节 原子结构	3
一、核外电子的运动	3
二、核外电子的排布规律	6
三、原子结构与元素性质的关系	10
第二节 分子结构	12
一、化学键	12
二、从化学键看化合价, 氧化数的概念	15
三、分子间作用力和氢键	17
第二章 溶液的浓度和渗透压	22
第一节 溶液的浓度	22
一、溶液浓度的表示法	22
二、溶液的配制及浓度的有关计算	26
三、当量定律及其应用	29
第二节 溶液的渗透压	33
一、渗透现象和渗透压	33
二、渗透压与浓度、温度的关系	34
三、医学中的渗透压单位——毫渗量/升	35
四、渗透压在医学中的意义	36
第三章 pH值与缓冲溶液	39
第一节 电解质在溶液中的电离及溶液的酸碱性	39
一、弱电解质在溶液中的电离	39
二、强电解质在溶液中的电离	41
三、溶液的 pH 值	42
四、酸碱的质子理论	43
第二节 缓冲溶液的组成及其作用	45
一、缓冲作用及缓冲溶液的概念	45
二、缓冲溶液的组成	45
三、缓冲作用原理	46
第三节 缓冲溶液pH值的计算	47
第四节 缓冲容量和缓冲溶液的配制	48

一、缓冲容量	48
二、缓冲溶液的配制	50
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	53
第六节 缓冲比色法测定溶液的pH 值	55
一、酸碱指示剂理论	55
二、缓冲比色法测定溶液pH值的原理	56
第四章 络合物	59
第一节 络合物的基本概念	59
一、络合物的定义	59
二、络合物的组成	60
三、络合物的命名	61
第二节 络合物的结构及稳定性	61
一、络合物的结构	61
二、络合物在水溶液中的稳定性	62
第三节 内络合物——螯合物	63
一、内络合物(螯合物)的概念	63
二、氨羧络合剂及氨羧络合滴定	64
第四节 络合物在医学上的应用	67
第五章 氧化还原与电极电位	69
第一节 氧化与还原	69
一、氧化还原的概念	69
二、氧化剂和还原剂的概念	70
三、氧化剂和还原剂当量的计算	71
第二节 电极电位	72
一、原电池	72
二、电极电位的产生	74
三、电极电位的测定	75
四、影响电极电位的因素	78
五、电极电位的应用	79
第三节 电位法测定溶液的pH值	81
一、电位法测定 pH 值的基本原理	81
二、甘汞电极和玻璃电极	82
三、电位法测定溶液 pH 值的方法	84
第六章 胶体溶液	87

第一节 胶体的基本概念和分类	87	二、三键的电子概念	125
第二节 溶胶的性质	88	三、炔烃的化学性质	125
一、胶粒对滤器的透过性	88	第四节 脂环烃	127
二、光学性质——丁铎尔现象	89	第五节 芳香烃	129
三、动力学性质——布朗运动	89	一、苯的结构	129
四、界面性质——吸附作用	90	二、苯同系物的异构和命名	130
五、电学性质	94	三、苯及其同系物的化学性质	131
六、溶胶的稳定性和聚沉	96	四、稠苯	133
第三节 高分子化合物溶液	97	第六节 烃的卤代物(卤烃)	133
一、高分子化合物的概念	97	第九章 醇、酚和醚	138
二、高分子化合物溶液的形成和特征	97	第一节 醇	138
三、高分子溶液对溶胶的保护作用	99	一、醇的分类	138
第四节 凝胶	99	二、醇的命名法	139
一、凝胶的形成	99	三、饱和一元醇的理化性质	139
二、凝胶的几种性质	100	四、重要的醇	143
第五节 膜平衡	101	第二节 酚	145
一、膜平衡的概念	101	一、酚的结构、分类和命名	145
二、膜平衡的原理	101	二、酚的电子结构	146
第七章 有机化合物概述	104	三、酚的化学性质	146
第一节 有机化学的研究对象	104	四、重要的酚	148
第二节 有机化合物的特点	104	第三节 醚	149
第三节 有机化合物的结构理论	105	一、醚的结构和命名	149
一、有机化合物的结构	105	二、乙醚	150
二、有机结构的电子理论	107	第十章 醛、酮和醌	152
第四节 有机化合物的分类	110	第一节 醛和酮	152
第八章 烃和烃的卤代物	112	一、醛、酮的命名	152
第一节 烷烃	112	二、醛、酮的化学性质	153
一、烷烃的通式和同系列	112	三、重要的醛和酮	159
二、烷烃的异构现象	112	第二节 醌	160
三、烷烃的命名	113	一、醌类的结构	160
四、单键的电子概念	115	二、醌的命名	161
五、烷烃的物理性质	115	三、重要的醌	161
六、烷烃的化学性质	116	第十一章 有机酸	165
七、重要的烷烃	117	第一节 羧酸	165
第二节 烯烃	117	一、分类和命名	165
一、烯烃的异构和命名	117	二、羧酸的化学性质	167
二、双键的电子概念	118	三、重要的羧酸	170
三、烯烃的化学性质	119	第二节 羟基酸	172
四、二烯烃	123	一、羟基酸的结构、分类和命名	172
第三节 炔烃	124	二、化学性质	173
一、炔烃的异构和命名	124	三、重要的羟基酸	175

第三节 旋光异构现象	177	四、胍	229
一、偏振光和旋光性	177	五、磺胺药物	230
二、旋光度与比旋光度	178	第十五章 杂环化合物和生物碱	234
三、旋光性和化学结构的关系	178	第一节 杂环化合物	234
四、旋光异构体的数目	181	一、杂环化合物的分类和命名	234
五、旋光异构体的构型及其表示法	182	二、五元杂环	236
第四节 酮酸	183	三、六元杂环	240
一、结构和命名	183	四、苯稠杂环	243
二、重要的酮酸	184	五、稠杂环	245
三、互变异构现象	185	第二节 生物碱	246
第十二章 酯和脂类	189	一、概述	246
第一节 酯	189	二、生物碱的一般性质	246
一、酯的结构和命名	189	三、生物碱的一般提取法	247
二、酯的生成(酯化反应)	189	四、重要的生物碱	248
三、酯的水解作用	190	第十六章 氨基酸、蛋白质和核酸	252
第二节 脂类	191	第一节 氨基酸	252
一、油脂	191	一、氨基酸的概念	252
二、类脂	194	二、氨基酸的结构和构型	252
第十三章 糖类	201	三、氨基酸的分类和命名	253
第一节 单糖	201	四、氨基酸的理化性质	255
一、单糖的结构	202	第二节 蛋白质	259
二、单糖的化学性质	206	一、蛋白质的元素组成	259
三、重要的单糖	208	二、蛋白质的结构	259
第二节 二糖	210	三、蛋白质的理化性质	261
一、二糖的结构和分类	210	四、蛋白质的分类	265
二、重要的二糖	211	第三节 核酸	267
第三节 多糖	214	一、核酸的概念、分类和生理功能	267
一、淀粉	214	二、核酸的水解	267
二、糖元	215	三、组成核酸的成分	268
三、纤维素	216	四、组成核酸的基本单位——核苷酸	269
四、粘多糖	217	五、核酸中核苷酸的连接方式	270
五、右旋糖酐	218	六、核酸分子的空间构型	271
第十四章 胺和酰胺	220	七、重要的单核苷酸及其衍生物	273
第一节 胺	220	附录	275
一、分类和命名	220	I、实验部分	275
二、化学性质	221	化学实验须知	275
三、重要的胺	225	实验一 溶液的配制与稀释	276
第二节 酰胺	227	实验二 容量仪器的使用及滴定操作	280
一、酰胺的结构和命名法	227	实验三 分析天平的使用	287
二、尿素	227	实验四 酸碱滴定	291
三、丙二酰脲	228	实验五 缓冲溶液及溶液 pH 值的比色	

测定.....	294	实验十五 葡萄糖比旋度的测定.....	325
实验六 水质总硬度的测定.....	298	实验十六 氨基酸的纸上层析和纸上	
实验七 双氧水中 H_2O_2 的含量测定...	301	电泳.....	327
实验八 用pH计测定溶液的pH值.....	303	II、附表.....	332
实验九 胶体和吸附.....	307	一、在20°C时强酸溶液的比重.....	332
实验十 常压蒸馏和沸点的测定.....	309	二、在20°C时常用碱溶液的比重.....	333
实验十一 熔点的测定.....	314	三、在20°C时酒精溶液的比重.....	333
实验十二 乙酰苯胺的合成、纯化及		四、弱电解质的电离常数(25°C).....	334
重结晶.....	315	五、对数表与逆对数表.....	335
实验十三 醇、酚、醛和酮的性质.....	317	六、元素周期表.....	341
实验十四 糖、胺、酰胺及蛋白质的			
性质.....	322		

绪 言

自然界中的一切物体都是由物质构成的，即世界是物质的。物质有两种基本存在形式。具有静质量(物质静止时衡量的质量)和体积的物质叫实物。原子和分子、水、铁、空气、木材、蛋白质、细胞等都是实物。不具有静质量和体积的物质叫场。引力场、电磁场、原子核内力场等都是场。实物和场之间可以相互转化。

自然界中的一切物质都不是静止的，而是永远处于不停地运动、发展、变化的过程中。物质的运动形式也是多种多样的。例如物理的运动形式(热运动、电运动、电磁运动、核子运动等)、化学的运动形式(化合、分解、中和、水解等)、生物的运动形式(生命现象、生物的进化等)以及人类的社会生活(人类的生产劳动等)。各种运动形式有着密切的联系，并在一定条件下可以相互转化。

科学的研究对象是物质及其运动。物质运动的各种形式是由不同的学科来分工研究的，化学是以物质的化学运动形式(化学变化)为研究对象的，它研究物质的性质与组成、结构的关系，研究物质进行化学变化的规律。概括来说，化学是研究物质的化学变化及其规律性的一门科学。必须注意，化学研究的物质主要是实物而不是场，因此，在化学中提到的物质，往往也是指实物而言。

化学根据研究对象的不同，又分以下几门化学：

无机化学：研究各种元素及其化合物；

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：应用物理学的理论和实验方法研究物质化学变化的一般规律。

人类的日常生活，特别是在生产活动中都与化学有密切的关系，几乎没有一个生产部门能脱离化学。因为自然界只能供给原料，要把这些原料加工变成为产品，很多必须用化学方法加以处理。在发展国民经济以及国防建设中化学也占着非常重要的地位，化学的发展促进了生产水平的不断提高，使人们的物质生活和文化生活水平能得以逐步提高。

医学通过研究人体的各种正常的生理现象和异常的病理现象，去预防和治疗疾病。而人体是由许多物质，如蛋白质、糖、脂肪、无机盐和水等组成；人体的一切生理现象和病理现象，例如：消化、吸收以及这些生理过程发生障碍等等，都与化学变化有关；在防治疾病时，需要用药物来处理，而药物的药理作用又多与这些药物的化学结构和化学性质有密切关系；为了帮助诊断疾病，常常需要进行血、尿或胃液等化学检验。另外，在卫生防治、中草药有效成分的提取、抗菌素、放射性同位素(如 ^{60}Co 、 ^{32}P 、 ^{131}I 等)的广泛应用等方面都与化学有密切的关系。

医学的进展也与化学有着紧密的关系。由于数学、物理学、化学和电子学等学科的发展，以及许多新技术的广泛应用，生物学已不是停止于细胞、亚细胞水平，而达到了分子和量子水平。药理学吸取了分子生物学的新进展，并应用红外光谱、X射线衍射法、同位素技术等物理化学的新技术，在分析药物在体内的作用方面，也深入到分子水

平。为使现代医学从分子水平发展为原子水平及量子水平，在一定意义上讲，化学起着开路先锋的作用。例如，酶与底物的作用关系，药物作用的受体学说等无不与有机物分子立体结构发生关系，也就是说，用化学原理能够说明人体生理及病理现象的许多问题，这样才能透过现象分析本质，以促进医学这门科学的不断向前发展。

不难看出，医学与化学有着密切的关系。在高等医学院校设置《医用化学》这门课程，其内容主要包括与医学有关的无机化学和有机化学，为学习基础、临床医学课程打下必要的化学基础。

(承德医学专科学校 杜广才编写 白求恩医科大学 赵清池审阅)

第一章 原子结构和分子结构

第一节 原子结构

不同物质的性质各不相同，这是由它们的内部结构决定的。大多数物质是由分子构成的，分子又是由原子构成的。要研究物质内部的矛盾性，就必须先来研究原子内部的矛盾性。

一、核外电子的运动

运动是物质存在的形式，原子核和电子都在不停地运动。由于在一般化学反应中，原子核不变，起变化的只是核外电子，因而元素的化学性质与核外电子的运动状态及分布有直接的关系。

(一) 电子云的概念

行星(如地球)、人造地球卫星是以固定轨道运转的。这种大物体的运动有着共同的规律，我们可以在任何时间内同时准确地测出它们的位置和速度。而电子是一种极微小的粒子，质量只有 9.1×10^{-28} 克，在核外运动的速度却非常快(接近光速，即每秒 30 万公里)，即电子的运动具有两重性——微粒性和波动性。所以，不能用看待地球、人造卫星等大物体的眼光来看待它。它不像人造卫星那样有固定轨道。我们不能确定电子在某一时间的空间位置，而只能知道电子在某一区域内出现机会的大小。这就是电子运动的特殊性。

目前还没有一种仪器能测出电子的运动轨迹，只能统计出核外某一区域内电子出现机会(称作几率)的多少。如果我们用小黑点的疏密度来表示电子出现机会的多少，则氢原子中电子在核外运动的状态可描述为图 1-1。

小黑点密集的地方，表示电子在这区域出现的机会多，出现的可能性大。而小黑点稀疏的地方，表示电子在此区域出现的机会少。这样，电子在核外某一区域内的高速运转，就如在原子核外面蒙上一层阴电的云雾，称做“电子云”。电子云是一种形象化的比喻，决不是说电子可以分散成云。

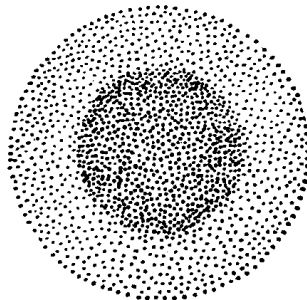


图 1-1 氢原子的电子云

氢原子的电子云呈球形对称分布，电子在以半径为 $0.53 \text{ \AA}$ (读“埃”，1 埃 = 10^{-8} 厘米)的地方出现的机会最大，即在这个地方电子云密度最大。但是，电子也可能出现在离核较近或较远的地方，只是出现的机会要小一些。

(二) 核外电子的运动状态

根据现代物理学的概念，电子在原子中的运动状态，是用四个量子数来描述的，即 n 、 l 、 m 、 m_s ，四个量子数。它们的物理意义如下：

1. 主量子数 (n) 用来描述电子层(电子云密度最大的区域)离核的远近， n 值可用 1、2、3、4……等整数表示。在一定状态下，原子的能量主要取决于 n 。一般说来，

n 值越大, 能量越高, 电子层离核越远。 n 值相同的电子同属于一个电子层。 $n=1$ 的状态叫做第一电子层, $n=2$ 的叫做第二电子层, $n=3$ 的叫做第三电子层……等等。这些电子层又可分别叫做 K、L、M、N……电子层。一个电子层代表一个能级, 能级的意思, 就是代表电子能量的等级。

2. 副量子数 (l , 也叫角量子数) 用来描述电子云的形状, l 值可用 $0, 1, 2, 3, \dots, n-1$ 表示, 并受到主量子数 n 的限制。例如, $n=1$ 时, l 值只有一个, 为 0 ; $n=2$ 时, l 可为 $0, 1$; $n=3$ 时, l 可为 $0, 1, 2$ 。 $l=0, 1, 2, 3$ 的状态又可分别用 s, p, d, f 表示。如:

$n=1$, 则 $l=0 (s)$

$n=2$, 则 $l=0 (s), 1 (p)$

$n=3$, 则 $l=0 (s), 1 (p), 2 (d) \dots$

在 n 值相同的情况下, l 值越大则能量越高。能量高低的次序为 $s < p < d < f$ 。

s 电子云是球形对称的, p 电子云呈哑铃状, d, f 电子云的形状更为复杂。

n 和 l 都相同的电子属于一个电子亚层, 以 n, l 值命名, 例如 $n=2, l=0$ 的称 $2s$ 电子亚层; $n=2, l=1$ 的称为 $2p$ 电子亚层等等。

3. 磁量子数 (m) 用来描述电子云在空间的伸展方向。电子云在空间伸展的每一个方向称做一个轨道, 如 s 电子云呈球形对称没有方向性, p 电子云有互相垂直的三个不同伸展方向, d 电子云则有五个不同伸展方向, 如图 1-2、3 所示:

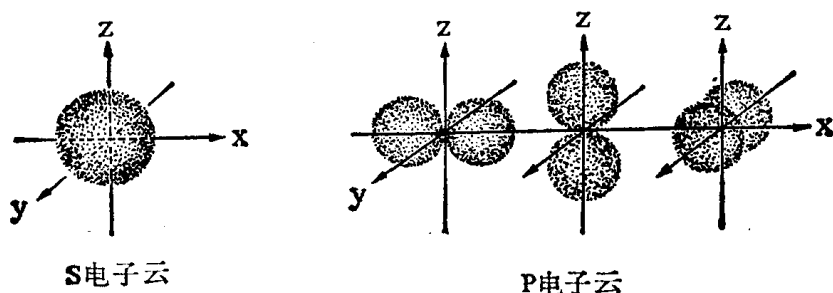


图 1-2 S 电子云及 P 电子云在空间的分布

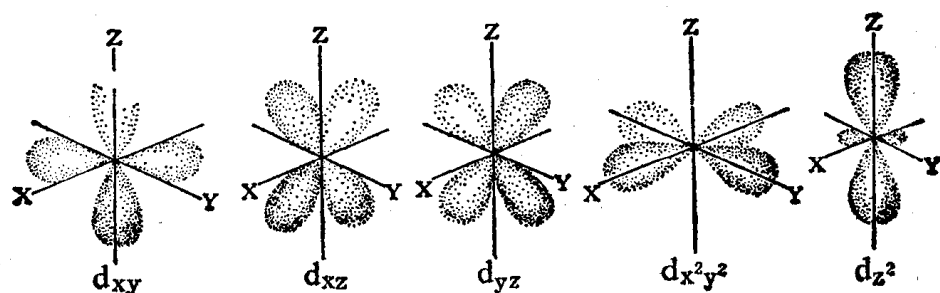


图 1-3 d 电子云在空间的分布

m 值最多为 $2l+1$ 个, 并受到 l 的限制。例如:

$l=0$ 则 $m=0$

(一个值)

$l=1$ $m=-1, 0, +1$

(三个值)

$l=2$ $m=-2, -1, 0, +1, +2$

(五个值)

依次类推，即 l 给定时， m 有 $0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ 个值。一般说来， m 与能量无关。

n, l 和 m 均相同的电子，同属于一个轨道，此轨道称为等价轨道。 s 亚层只有一个轨道， p 亚层有三个轨道， d 亚层有五个轨道。在同一亚层中，轨道的形状基本相同，但伸展方向不同。

4. 自旋量子数 (m_s) 电子在绕核旋转的同时，还在作自旋运动。自旋量子数 (m_s) 就是用来描述电子自旋方向的。 m_s 的数值只有 $+\frac{1}{2}$ 和 $-\frac{1}{2}$ 两种，表示电子自旋的两种状态，即按顺时针方向旋转还是按反（逆）时针方向旋转，通常分别以 $\uparrow$ 和 $\downarrow$ 表示。

综上所述，原子中电子的运动状态要用四个量子化条件来表示，这就是四个量子数。原子中电子的运动状态不是任意的，而是受到四个量子数相互限制的规则制约的。主量子数给定后， l 则：

副量子数 l 值是从 0 到 $n-1$ 间的任何整数， l 可能采取的个数等于主量子数 n 。

磁量子数 m 值是从 $-l$ 到 $+l$ 间的任何整数(包括 0)， m 的个数应为 $(2l+1)$ 个。

自旋量子数 m_s 只能有两个值 ($\pm\frac{1}{2}$)， m_s 的个数应为 $2(2l+1)$ 个。

(三) 电子的能级

电子的能量主要决定于主量子数 n 和副量子数 l 。磁量子数 m 和自旋量子数 m_s 对电子能量的影响极微小。

从实验结果得知：

$$\text{电子能量 } E = n + 0.7l$$

例如：3d 电子的能量 $E_{3d} = 3 + 0.7 \times 2 = 4.4$

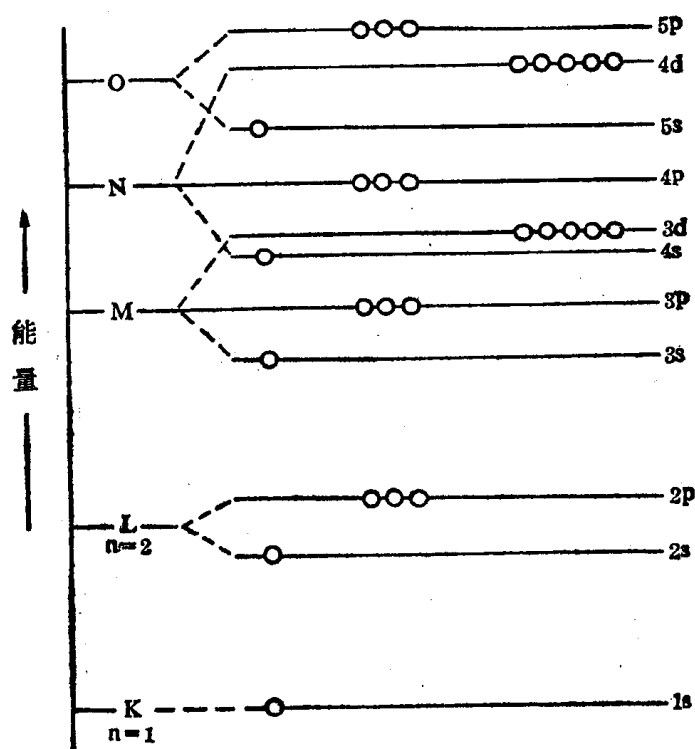


图 1-4 电子轨道的近似能级

4s 电子的能量 $E_{4s} = 4 + 0.7 \times 0 = 4.0$

所以, $E_{3d} > E_{4s}$, 即 3d 电子的能量大于 4s 电子的能量。

表示电子轨道能量的方法一般是按能量的大小依次画出一些横线条来, 每一条横线的位置就代表“一个能级”。电子轨道能级的高低如图 1-4 所示:

根据上面的顺序可以得出以下结论:

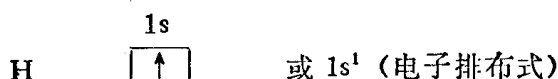
1. 电子的能量不仅取决于主量子数 n , 还与副量子数 l 有关。
2. 当 n 值相同, l 值越大能量越高。即 $s < p < d < f$ 。例如, $E_{3s} < E_{3p} < E_{3d}$ 。
3. l 值相同, n 值越大能量越高。例如, $E_{1s} < E_{2s} < E_{3s} < E_{4s}$ 。
4. 当 n 和 l 值都不相同, 能级的高低有交错排列的情况。当 $n \geq 3$ 时, 则 $E_{nd} > E_{(n+1)s}$, $E_{nf} > E_{(n+1)p}$ 。例如, $E_{3d} > E_{4s}$, $E_{4f} > E_{5p}$ 。

二、核外电子的排布规律

(一) 能量最低原理

自然界里的一切物质都是尽量处于能量最低的状态, 因为能量低比较稳定, 这是自然界普遍存在的客观规律, 称为能量最低原理。

电子在核外的排布也遵循这条总的根本规律, 电子总是尽先排布在能级最低的电子轨道上, 当能量最低的电子轨道被排满后, 电子才依次进入能量较高的电子轨道, 以尽可能使原子处于能量最低最稳定的状态(基态)。例如: 氢原子 (${}_1\text{H}^1$) 只有一个电子, 处在能级最低的 1s 轨道上, 可表示如下:



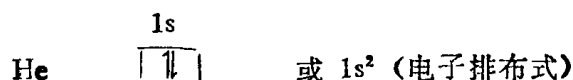
图中方格代表电子轨道, $\uparrow$ 代表电子自旋方向, 1s 右上角的数字表示电子的数目。

电子排入电子轨道的一般次序如图 1-5 所示:

(二) 泡里 (Pauli) 不相容原理

同一原子中不能有四个量子数完全相同的两个电子, 也就是每一电子轨道中最多只能容纳两个电子, 而且自旋方向必须相反。

氦原子 (${}_2\text{He}$) 有二个电子, 同处在能级最低的 1s 轨道中, 自旋方向相反。



(三) 洪特 (Hund) 规则

在同一亚层中, 电子尽先单独地占有一个空轨道, 而且电子自旋方向相同。例如, 碳原子 (${}_6\text{C}$) 共有六个电子, 其中 4 个分别进入 1s 和 2s 亚层, 另二个 2p 电子在 2p 亚层上各占一个 p 轨道, 而且自旋方向相同。

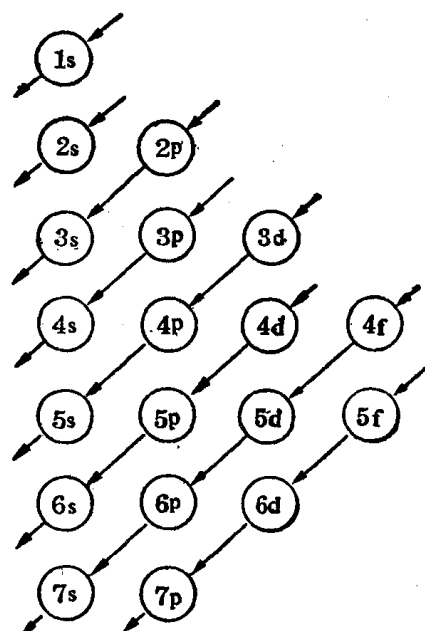
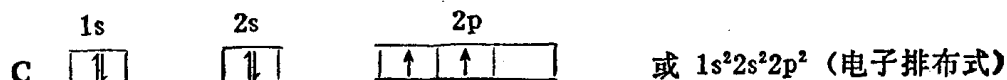


图 1-5 电子排入电子轨道的一般次序

根据以上电子排布规律，现将从 Li 到 Ne 各元素核外电子排布情况表示如下：

元素	1 s	2 s	2 p	电子排布式
Li	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow}$	$\boxed{}\boxed{}\boxed{}$	$1s^2 2s^1$
Be	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{}\boxed{}\boxed{}$	$1s^2 2s^2$
B	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow}\boxed{}\boxed{}$	$1s^2 2s^2 2p^1$
C	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}\boxed{}$	$1s^2 2s^2 2p^2$
N	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^3$
O	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^4$
F	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow}$	$1s^2 2s^2 2p^5$
Ne	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}$	$1s^2 2s^2 2p^6$

(四) 全满和半满规则

下列电子轨道达到全满或半满时，原子能量较低，比较稳定。

全满： s^2 、 p^6 、 d^{10} ，或 f^{14}

半满： p^3 、 d^5 或 f^7

例如上面的 He 和 Ne，最外层的 s 轨道、p 轨道全充满，这种状态能量最低，化学性质很不活泼，在一般条件下不发生化学反应。

又如：铬原子 ($_{24}\text{Cr}$) 的电子层结构是 $\cdots 3d^5, 4s^1$ ，而不是 $\cdots 3d^4 4s^2$ ，这是因为前一种电子层结构 d^5 半满，比较稳定。

铜 ($_{29}\text{Cu}$) 的电子层结构是 $\cdots 3d^{10}, 4s^1$ ，而不是 $\cdots 3d^9, 4s^2$ ，这是因为前一种电子层结构 d^{10} 全满，比较稳定。

但是全满或半满规则不能概括所有事实。例如，钨原子 ($_{74}\text{W}$) 的电子层结构是 $\cdots 5d^4, 6s^2$ ，而不是 $\cdots 5d^5, 6s^1$ 。这说明我们对原子结构的认识还有待深入。

表 1-1 各电子层中电子的状态及最大容量

电子层 n =	K 1		L 2		M 3			N 4			
$l=0\sim n-1$	0	0	1	0	1	2	0	1	2	3	
$m = -l \sim +l$						-2			-2	-3	
			-1		-1	-1		-1	-1	-2	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
			+1		+1	+1	+1	+1	+1	0	
						+2		+2	+2	+1	
电子亚层	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	
轨道数 = $2l+1$	1	1	3	1	3	5	1	3	5	7	
各亚层上的电子数 = $2(2l+1)$	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	
各层最大容量 = $2n^2$	2	8	18				32				

表 1-2 原子的电子层结构

周 期	原 子 序 数	元 素 符 号	元 素 名 称	电 子 层																		
				K		L		M			N				O				P			Q
				1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
1	1	H	氢	1																		
	2	He	氦	2																		
2	3	Li	锂	2	1																	
	4	Be	铍	2	2																	
	5	B	硼	2	2	1																
	6	C	碳	2	2	2																
	7	N	氮	2	2	3																
	8	O	氧	2	2	4																
	9	F	氟	2	2	5																
	10	Ne	氖	2	2	6																
3	11	Na	钠	2	2	6	1															
	12	Mg	镁	2	2	6	2															
	13	Al	铝	2	2	6	2	1														
	14	Si	硅	2	2	6	2	2														
	15	P	磷	2	2	6	2	3														
	16	S	硫	2	2	6	2	4														
	17	Cl	氯	2	2	6	2	5														
	18	Ar	氩	2	2	6	2	6														
4	19	K	钾	2	2	6	2	6	1													
	20	Ca	钙	2	2	6	2	6	2													
	21	Sc	钪	2	2	6	2	6	1	2												
	22	Ti	钛	2	2	6	2	6	2	2												
	23	V	钒	2	2	6	2	6	3	2												
	24	Cr	铬	2	2	6	2	6	5	1												
	25	Mn	锰	2	2	6	2	6	5	2												
	26	Fe	铁	2	2	6	2	6	6	2												
	27	Co	钴	2	2	6	2	6	7	2												
	28	Ni	镍	2	2	6	2	6	8	2												
	29	Cu	铜	2	2	6	2	6	10	1												
	30	Zn	锌	2	2	6	2	6	10	2												
	31	Ga	镓	2	2	6	2	6	10	2	1											
	32	Ge	锗	2	2	6	2	6	10	2	2											
	33	As	砷	2	2	6	2	6	10	2	3											
	34	Se	硒	2	2	6	2	6	10	2	4											
	35	Br	溴	2	2	6	2	6	10	2	5											
	36	Kr	氪	2	2	6	2	6	10	2	6											

周 期	原 子 序 数	元 素 符 号	元 素 名 称	电 子 层																		
				K		L		M			N				O				P			Q
				1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
5	37	Rb	鉀	2	2	6	2	6	10	2	6			1								
	38	Sr	銨	2	2	6	2	6	10	2	6			2								
	39	Y	釔	2	2	6	2	6	10	2	6	1		2								
	40	Zr	銻	2	2	6	2	6	10	2	6	2		2								
	41	Nb	鈮	2	2	6	2	6	10	2	6	4		1								
	42	Mo	鉬	2	2	6	2	6	10	2	6	5		1								
	43	Tc	錳	2	2	6	2	6	10	2	6	5		2								
	44	Ru	鈳	2	2	6	2	6	10	2	6	7		1								
	45	Rh	銩	2	2	6	2	6	10	2	6	8		1								
	46	Pd	鈀	2	2	6	2	6	10	2	6	10										
	47	Ag	銀	2	2	6	2	6	10	2	6	10		1								
	48	Cd	鎘	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2								
	49	In	銦	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	1							
	50	Sn	錫	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	2							
	51	Sb	銻	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	3							
	52	Tc	碲	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	4							
	53	I	碘	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5							
	54	Xe	氙	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6							
6	55	Cs	銫	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1				
	56	Ba	鋇	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2				
	57	La	鐳	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2				
	58	Ce	鈰	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1	2	6	1		2				
	59	Pr	鐑	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2				
	60	Nd	釷	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2				
	61	Pm	鉕	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2				
	62	Sm	釷	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2				
	63	Eu	鈾	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2				
	64	Gd	釷	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2				
	65	Tb	鈹	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2				
	66	Dy	鐳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2				
	67	Ho	釷	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2				
	68	Er	鈳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2				
	69	Tm	釷	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2				
	70	Yb	鐳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2				
	71	Lu	鐳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2				
	72	Hf	鈳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2				
	73	Ta	鉭	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2				
	74	W	鎢	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2				
	75	Re	鐳	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2				
	76	Os	銨	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2				