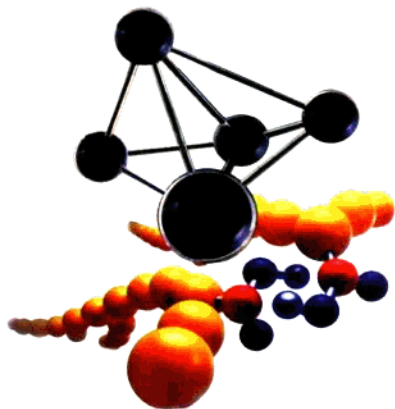


名师解惑丛书



物质结构与元素周期律

卢 巍 编著

山东教育出版社

4.83

93

再 版 说 明

“名师解惑丛书”出版发行以来,以其新颖的编写体例和缜密的知识阐述,深受广大读者青睐,曾连续多次重印。

近几年来,基础教育正发生深刻的改革:“科教兴国”战略深入人心,素质教育全面推进,与此同时,以“普通高等学校招生全国统一考试试卷”为主要载体,所反映出的高考招生改革信息和发展趋势,迫切需要广大教师和莘莘学子以新的视角和思维,关注并投身到这场改革之中。

有鉴于此,我们对“名师解惑丛书”进行了全面修订。此次修订将依然保持被广大读者认同的,每一册书为一个专题讲座的模式,围绕“如何学”,“如何建立知识间的联系”,“如何学以致用”等,帮助广大学生读者解决在学习知识和考试答卷过程中可能遇到的疑难问题。更重要的是,最新修订的“名师解惑丛书”在如何培养学生的创新精神和创造能力,联系现代科学技术及其在日常生产生活中的应用方面,做了较大的充实和修订……

丛书的编写者和出版者相信,您正在翻阅的这本书,将有助于您目前的学习。



作者的话

物质结构与元素周期律是化学学科重要基础理论。学好并掌握这一理论,可以更好地认识物质世界,把握物质间的内在规律,从而更深入地研究和改造物质世界。

本书共分四部分:一、原子结构;二、元素周期律、元素周期表;三、基本微粒间的相互作用;四、晶体。每一部分都对中学所学知识进行了归纳、梳理,并适当有所加深,以开拓视野。同时,对各部分知识在学习时遇到的疑难问题进行了剖析,并通过典型例题的解析,帮助读者寻找分析问题、解决问题的思路。所选习题综合性强,有助于培养读者的解题能力。

由于水平所限,疏漏之处在所难免,诚恳广大读者批评指正。

2000年12月

作者简介 卢巍,教育硕士,山东省教学能手,国家级骨干教师。1985年毕业于山东师范大学化学系,获理学学士学位,1994年破格晋升为中学高级教师,1997年考入山东师范大学教育系,攻读教育硕士。现任教于山东师范大学附属中学,并兼任山东师范大学化学系教育硕士指导教师,山东省教育学会化学教学研究专业委员会常务理事、副秘书长。曾在《中国教育学刊》、《化学教育》、《化学教学》等国家级杂志上发表论文十余篇,主编和参编《化学学习能力培养指导》、《学习能力学》等书籍二十余部。

目 录

一	原子结构	1
	(一)原子及其结构	1
	(二)原子核外电子的排布	8
二	元素周期律 元素周期表	28
	(一)元素周期律	28
	(二)元素周期表	33
三	基本微粒间的相互作用	50
	(一)化学键	51
	(二)分子间的作用力	60
四	晶体	77
	(一)晶体的结构特点和基本性质	78
	(二)四种晶体	81
五	综合自测题	100

一 原子结构

自然界里形形色色的物质,都是由肉眼看不见的微粒构成的。构成物质的微粒有多种,如分子、原子、离子、质子、中子、电子、光子、介子等。化学研究的对象是分子、原子和离子,主要研究它们的结构、性能、变化规律、结构与性能的相互联系和相互影响等。本章我们重点认识原子。

(一)原子及其结构

1. 什么样的微粒是原子?

自从人类产生以来,人们对物质世界的认识就开始了。人们反复思考:世界的起源是什么(世界是哪里来的)?世界上的万物是由什么构成的?世界上万物千变万化的原因是什么?这种变化有规律吗?远在公元前五世纪,古希腊的哲学家就指出:万物是由大量的不可分割的微粒构成的,这些微粒叫做原子(希腊文 $\alpha\tau\omicron\mu$, 原意

是“不可分割的”)。当然今天我们知道,原子不是不可分割,只是古人在当时的条件下还没有发现其可分割性。

我们的中学课本中关于原子的定义是这样叙述的:原子是化学变化中的最小微粒。“最小”就是不能再小,也就是“不可分”的意思。但是,这种“不可分”是有条件的,是在化学变化中不可分!而在核反应过程中(核裂变),一个大的原子又可以分裂为几个更小的微粒。

2. 原子有什么特征?

(1)原子的体积很小 原子的半径的大小一般用 10^{-10}m (埃)为单位来衡量,将 1 亿个氧原子排成一行,其长度也只有约 1cm 多。可见,原子的体积有多么小!

(2)原子的质量很小 原子的质量是用 10^{-27}kg 为单位来衡量的, 6.02×10^{23} 个氧原子的质量才只有大约 16g。

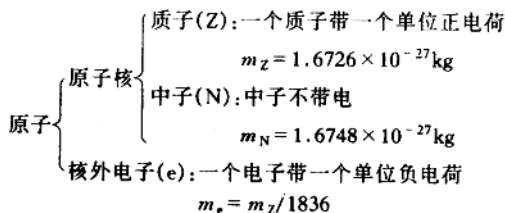
(3)原子是不停的运动的。

原子虽然很小,但是它又是由更小的微粒构成的。

3. 原子的结构

新西兰物理学家 E·卢瑟福(Ernest Rutherford 1871 ~ 1937)等人,在实验中使一束 α 粒子穿过金属铂时,发现大多数 α 粒子仍在继续前进,并不改变它们的运动方向,但是也有一小部分 α 粒子发生了散射,即 α 粒子的运动方向发生了改变,并发现这些 α 粒子的运动方向一般不发生大的偏转,只有极少数的 α 粒子(1/8000 ~ 1/10000)偏转的特别厉害,甚至好像在运动途中遇到了坚硬的、不可穿透的质点而被弹了回来。由此,E·卢瑟福提出了“行星系式”原子模型。指出原子是由居于原子中心的体积很小的带正电的原子核和核外带负电的

电子构成的。原子核体积虽然很小,但却集中了几乎整个原子的质量。当原子在化学反应中得到或失去电子时,其质量几乎没有变化。经过进一步的研究,卢瑟福发现,原子核内存在质子,并提出了原子核内存在着不带电的微粒(中子)的假说(这一假说后来被另外一些科学家证实是正确的)。关于原子的组成和结构分析如下:



质子数 = 核电荷数 = 原子序数。

原子核内质子与核外电子数目相同,所带电量相等,而电性相反,所以整个原子呈电中性。

思考:请你分析 E·卢瑟福的 α 粒子散射实验,解释卢瑟福是怎样得出“原子核体积很小,但却集中了几乎整个原子的质量”这一结论的?

4. 元素、核素、同位素的概念

(1) 元素

具有相同核电荷数(质子数)的同类原子的总称。元素的种类只由原子核内的质子数决定,而与核内中子数及核外电子数无关。元素以游离态(单质)和化合态(化合物)两种形态存在于自然界中。

(2) 核素

具有一定数目的质子和一定数目的中子的一种原子称为核素。例如原子核里有 6 个质子和 6 个中子的碳原子,称为碳—12 核素。原子核里有 6 个质子和 7 个中子的碳原子,则称为碳—13 核素。

(3)同位素

质子数相同而中子数不同的同一种元素的不同种原子互称同位素。即多核素的元素中的不同核素互称同位素。同种元素的不同核素,其质子数相同而在元素周期表中占居同一位置,这便是同位素的原意。同一种元素的各种同位素虽然质量数不同,但它们的化学性质几乎完全相同,而且,对于天然存在的某种元素的各种同位素,不论是在游离态的单质中还是在化合态的化合物中,其所占的原子百分比一般是不变的。

在元素周期表里,许多元素都有同位素,如氧元素就有中子数分别为 8、9、10 的三种同位素。碳—12、碳—13、碳—14 则是碳元素的三种同位素。氢元素有符号分别为 H、D、T 的三种同位素。

思考:有人说 H_2 和 D_2 在光照的条件下都能迅速与氯气化合,甚至能产生爆炸。你认为这种说法正确吗?为什么?

【选学】 考古学家怎样推断化石的年代?

因核不稳定而自行发生嬗变的同位素称为不稳定同位素。不稳定同位素通过核的嬗变使其含量分率减少至计量开始时的 $1/2$ 时所需的时间,称为半衰期。半衰期是不稳定同位素的一个基本特征。例如 $^{14}_6C$ 是一种不稳定同位素,它会

自动地发生核的变化： ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + \beta^-$

β^- 为 β 粒子，带负电，亦即电子。 ${}^{14}_6\text{C}$ 的半衰期为 5730 ± 40 年（ $\pm$ 后的数字表示数据的误差范围）。当动植物体存活时，衰变后减少的 ${}^{14}_6\text{C}$ 可通过与大气中的 CO_2 中的 ${}^{14}_6\text{C}$ 的不断交换而得到补充，一直保持恒定。一旦动植物死亡， ${}^{14}_6\text{C}$ 的交换便因呼吸停止而停止。所以通过分析，测定出动植物化石中 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量后，根据 ${}^{14}_6\text{C}$ 的半衰期，便可推算出此化石的年代。

计算公式为： $t = \tau \cdot \ln \frac{N_0}{N_A}$

式中 t 为化石的年代， τ 是 ${}^{14}_6\text{C}$ 的平均寿命，为 8267 年， N_0 为原始物中的 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量， N_A 为测量时化石中的 ${}^{14}_6\text{C}$ 的含量。这种方法称为放射性碳素断代法，广泛应用于地质学及考古学中。

5. 原子质量大小的表示方法

(1) 相对原子质量

原子的质量很小，若用我们通常表示宏观物体质量大小的单位——千克(kg)为单位来表示原子的大小，其数值非常小，运算起来很不方便。为了方便起见，科学家们将原子的质量单位缩小，国际上规定以一个碳—12 原子质量的 $1/12$ 作为标准，其它原子的质量跟它相比，所得的比值，称为该元素原子的相对原子质量，简称原子量。原子量的单位是 1，它表示的不是一个原子的绝对质量，而是一个原子质量的相对大小。用这种方法我们可以得到不同种原子的相对原子质量。例如：一个原子核内有 18 个中子的氯原子的相对原子质量是 34.969，而原子核内有 19 个中子的氯原子的相对原子质量是

36.966。

思考:已知一个碳—12 原子的质量是 $1.9927 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 一个氧—18 原子的相对原子质量是 17.991, 求氧—18 原子的实际原子质量是多少千克?

(2) 质量数

利用与计算原子的相对质量同样的方法, 可以求得质子的相对质量为 1.007, 中子的相对质量为 1.008。既然原子的质量几乎全部集中在原子核上, 那么, 原子核内全部质子和全部中子的总质量在一定程度上能够反映原子质量的大小。我们把原子核内所有的质子和所有的中子的相对质量取近似整数值加起来, 所得的数值称为质量数(用 A 表示)。质量数能近似反映原子相对质量的大小。

质量数(A) = 质子数(Z) + 中子数(N)

通常我们可以用这样的符号来表示某种原子核的组成: ${}_Z^AX$

例如: ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ 代表核内有 17 个质子、质量数是 37, 即中子数为 20。 ${}_{17}^{37}\text{Cl}^-$ 则表示该原子得到一个电子以后形成的 -1 价阴离子。 ${}_{13}^{27}\text{Al}^{3+}$ 则表示中子数为 14、带 3 个正电荷的铝离子。

思考:你能说出符号 ${}_{8}^{16}\text{O}_2^-$ 的含义吗? 指出该符号中四个角上的数字所代表的意义。

(3) 平均原子量

一种元素可能存在多种同位素(即有多种原子), 氯元素只有两种同位素, 这两种同位素的原子的相对质量分别为 34.969 和 36.966, 在周期表里, 氯元素对应原子量数值是 35.45, 这个数值是怎么得来的? 它是根据氯元素的两种同位

素在自然界里所占的原子个数百分比计算出来的原子量的平均值。计算过程如下：

符号 同位素的原子量 同位素在自然界所占的原子百分比

^{35}Cl 34.969 75.77%

^{37}Cl 36.966 24.23%

氯元素的平均原子量为 $34.969 \times 75.77\% + 36.966 \times 24.23\% \approx 35.45$

思考：已经发现碳有从 ^{12}C 到 ^{16}C 的七种同位素。其中只有 ^{12}C 和 ^{13}C 为稳定同位素。现在公认的碳的平均相对原子质量为 12.01115，是由上述两种稳定同位素求得的，又已知 ^{13}C 的相对原子质量为 13.00335。求这两种同位素在自然界里的原子百分含量。(98.889%，1.111%)

(4) 元素的近似平均原子量

由于原子的质量数能近似地代表原子的相对原子质量，那么，我们可以根据某种元素的各种同位素在自然界里所占的原子百分比计算这些同位素原子的质量数的平均值，这就是元素的近似平均原子量。

思考：某元素 X 的原子序数为 35，它在自然界里有中子数为 44 和 46 的两种原子存在。查表可知，X 的原子量为 79.904。

(1) 用 ${}^A_Z\text{X}$ 的形式表示两种同位素原子的核组成情况。

(2) 计算中子数为 44 的原子在自然界里所占的原子个数百分比。(54.8%)

●小窍门●

某同学将有关原子结构的知识归纳为“一、二、三、四、五”加以记忆。即：

一种符号 表示原子核组成情况的符号 ${}_Z^AX$

两个概念 核素和同位素

三种微粒 带正电的质子、不带电的中子和带负电的电子

四种量 原子量、质量数、平均原子量、近似平均原子量

五种关系 { 原子核与核外电子的空间关系
原子核与原子的尺寸(质量和体积)关系
电子与质子的质量大小关系
原子中各种微粒的电性关系
同一元素的各种同位素原子之间的性质关系

你是怎样对所学的知识进行归纳记忆的?

(二)原子核外电子的排布

1. 原子核外电子的运动状态

电子在原子核外的一定空间里做高速运动,没有确定的轨迹和运动方向,也测不准它在某一时刻所处的位置。

(1)在多电子的原子中,电子的能量是不连续的

电子这种带负电荷的质量极小的微粒,尽管围绕在带正电荷的原子核周围,尽管受到了原子核的静电吸引,却不曾落入原子核的内部,显然,电子是“很有能量”的。人们通过实验方法测得了原子的电离能,分析多电子原子的电离能数据,可以得出这样的结论:核外电子是分层排布的。

[选学] 什么是电离能?

从气态原子(或气态阳离子)中去掉电子,把它变成气态阳离子(或更高价态的气态阳离子),需要克服核电荷的引力而消耗能量,这个能量叫做电离能,符号为 I ,单位常用电子伏特(电子伏特是 1 个电子在真空中通过 1V 电位差所获得的动能,它是一种描述微观粒子运动的能量单位,符号为 eV)。

从元素的气态原子去掉 1 个电子,成为 +1 价气态阳离子所消耗的能量称为第一电离能(I_1);从 +1 价的气态阳离子再去掉 1 个电子成为 +2 价气态阳离子所需消耗的能量称为第二电离能(I_2);依次类推。下表列出了几种元素的电离能数据。

核电荷数	元素符号	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9
3	Li	5.4	75.6	122.4						
4	Be	9.3	18.2	153.9	217.7					
5	B	8.3	25.1	37.9	259.3	340.1				
6	C	11.3	24.4	47.9	64.5	392.0	489.8			
7	N	14.5	29.6	47.4	77.5	97.9	551.9	666.8		
8	O	13.6	35.1	54.9	77.4	113.9	138.1	739.1	871.1	
9	F	17.4	35.0	62.6	87.1	114.2	157.1	185.1	953.6	1102

由表可知, $I_1 < I_2 < I_3 < \dots$, 这很容易理解, 因为随着电子失去, 原子核所带的正电荷相对于核外电子越来越过剩, 核对外电子的引力越来越大, 因而, 电离能越来越大。但是如果我们再仔细考察, 会发现, 电离能增大的幅度并不完全相同

或相近,在有的地方出现了“突跃”的现象。如Li元素的第二电离能比第一电离能增大了十几倍,而第三电离能仅比第二电离能增大了不足一倍。Be元素电离能的“突跃”发生在 I_2 与 I_3 之间,这说明什么问题呢?我们可简单地分析核与核外电子之间的引力受哪些因素的影响。正如前面所述,随着电子的不断失去,核对核外电子的引力增强,但这一因素不会引起“突跃”,这就使我们不得不想到影响引力的另一因素——核与核外电子之间的距离。电离能发生“突跃”说明:被去掉的电子离核的距离突然缩短,即它运动的区域离核较近。例如,Li核外共有3个电子,最易失去的1个电子,离核最远,另外的两个较难失去的电子离核较近;同样,碳原子核外的6个电子,较易失去的4个电子离核较远,另外的两个较难失去的电子离核较近。

根据元素的电离能数据,可以知道其核外电子的分层情况。

在多电子的原子中,电子是分层排布的,分层的原因是由于电子的能量是不连续的(亦即“量子化”的)。

(2)核外电子排布的形象描述——电子云

当电子在原子核外很小的空间内做高速运动时,其运动规律跟普通物体不同,它们没有确定的轨道。因此,我们不能同时准确地测定电子在某一时刻所处的位置和运动的速度,也不能描画出它的运动轨迹。我们在描述核外电子的运动时,只能指出它在原子核外空间某处出现机会的多少。电子在原子核外空间一定范围内出现,可以想像为一团带负电荷的云雾笼罩在原子核周围,所以,人们形象地把它叫做“电子

云”。电子云密度大的地方,表明电子在核外空间单位体积内出现的机会多;电子云密度小的地方,表明电子在核外空间单位体积内出现的机会少。

借助电子云,可以直观地描述电子在原子核外一定的空间里运动的几率大小,但是它还不能比较全面地描述电子的运动状态。

(3)原子核外电子的运动状态的描述

通常人们从4个方面来描述核外电子的运动状态,即电子层、电子亚层、电子云的伸展方向(轨道)、电子的自旋方式。

电子层(用 n 表示) 电子层是同一能量组的电子在核外空间某处出现机会多的区域。在多电子的原子中,电子的能量是不同的,依据能量由低到高的顺序,电子离核的距离由近及远,依次称为1、2、3、4、5、6、7……电子层,分别用符号K、L、M、N、O、P、Q……表示。

电子亚层 同一电子层内的电子,能量又有差异,其运动的区域又不同,我们说其电子云形状不同。电子亚层就表示同一电子层内电子云的不同形状,分别用 s 、 p 、 d 、 f 表示,其对应的电子云形状有球形、纺锤形等。4个亚层的能量高低顺序是 $E_s < E_p < E_d < E_f$ 。第一电子层只有1个亚层,即 $1s$ 亚层;第二电子层有2个亚层,即 $2s$ 和 $2p$ 亚层;第三电子层有3个亚层,即 $3s$ 、 $3p$ 和 $3d$ 亚层;第四电子层有4个亚层,分别为 $4s$ 、 $4p$ 、 $4d$ 、 $4f$ 。第五~第七电子层也都有4个亚层。

电子云的伸展方向 电子云在空间的分布具有方向性。 s 电子云呈球形对称,无方向性; p 电子云沿 x 、 y 、 z 3个相互垂直的三维空间坐标轴方向伸展,用 p_x 、 p_y 、 p_z 表示; d 电子云

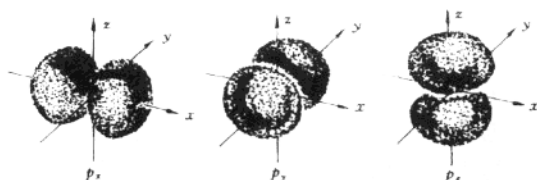


图1 p 电子云在空间的三种不同取向

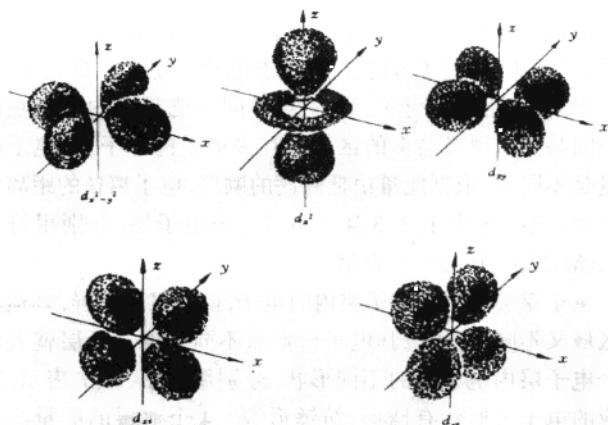


图2 d 电子云在空间的五种不同取向

在空间有 5 个伸展方向； f 电子云则有 7 个伸展方向。图 1 和图 2 分别是 p 电子云和 d 电子云的空间伸展示意图。

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轨道，那么 s 、 p 、 d 、 f 4 个亚层就