

第二版

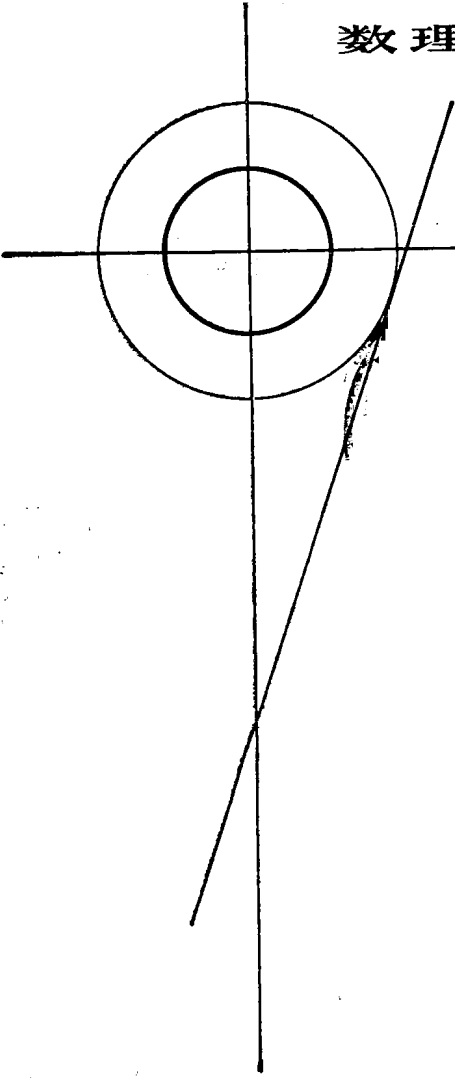
数理化自学丛书

化学

第二册

张冠涛 解守宗 编

上海科学技术出版社



数理化自学丛书

第二版

化 学

第二册

张冠涛 解守宗 编

上海科学技术出版社

数理化自学丛书

第二版

化 学

第二册

张冠涛 解守宗 编

数理化自学丛书编委会审定

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 上海中华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9 插页 1 字数 231,000

1965年4月第1版

1983年4月第2版 1983年4月第7次印刷

印数: 537,001—729,200

统一书号: 13119·648 定价: (科二) 0.64 元

第二版出版说明

《数理化自学丛书》第二版是在第一版的基础上编写而成的。考虑到我社已出版大学数、理、化自学丛书，中学数学中的微积分内容没有另编分册。第二版仍包括《代数》四册、《平面几何》两册、《平面三角》、《立体几何》、《平面解析几何》、《物理》四册和《化学》四册，共十七册。

由黄丹蘊、杨荣祥、余元希、杨逢挺、桂君协等同志主编的第一版，自1963年陆续出版后，受到广大读者的欢迎。特别是1977年重排、重印以来，受到社会各方面极为广泛的关注，在广大读者中有了相当的影响。许多在职职工、农村青年和在校学生，自学了这套书以后，数理化知识水平有了一定的提高。

第二版由杨荣祥、余元希、束世杰、季文德等同志主编，数理化自学丛书编委会审定。它保留了第一版在编写上“详尽在先、概括在后、通俗到底”和“便于自学、无师自通”的特色，仍是一套与现行中学课本并行的自学读物。第二版仍从读者的实际情况出发，按传统的教学体系编写。但这次参照新的试行教学大纲的要求，与第一版相比，数学各分册的编写内容作了适当的增删和调整，基础知识和运算技能的训练有了进一步加强；物理各分册在内容的取舍、习题的更新、插图的选配、实验的描述等方面均有较大的改进；化学各分册还增加了反映现代科学技术水平的基础理论知识，在理论和实践相结合的原则下，内容和体系均有新的特色。此外，各册的例题和习题选配得力求恰当、合理，知识

论述力求通俗、严密;并按章增加了测验题。在各册编者的话中,还有供读者自学时参考的指导性意见。

自学要有成就,必须刻苦勤奋、踏实认真、持之以恒、知难而进。刻苦自学、学有成就者不乏其人,愿广大读者努力学好。

《数理化自学丛书》出版以来,全国各地的读者给以热情的鼓励和有力的支持,特在此表示衷心感谢。

上海科学技术出版社

编者的话

本书是数理化自学丛书第二版《化学》第二册。对第一版第二册的内容进行了全面的修订。现对本书内容作如下几点说明:

一、在编写过程中,我们注意了内容的深广度,既参照部颁十年制学校教学大纲的规定,又不受大纲的限制。例如,在讲述原子核外电子的运动状态时,我们引入了四个量子数的概念,在讲述化学反应速度时,介绍了质量作用定律等等。问题的讲述比较深入详细,这样更有利于青年自学。同时本书又可作为高中学生学习化学的参考书,还可供青年教师在教学上参考。

二、在写法上尽可能符合自学要求,力争保持第一版的特色,做到内容详尽,说理透彻,练习充分,循序渐进,无师自通;注意培养自学者分析问题和活用知识的能力。

三、第一章原子结构、元素周期律,第二章分子的形成、化学键,第五章化学反应速度和化学平衡,是新编写的。其他各章从内容上也作了许多修订。我们主观上注意了加强基础理论(诸如物质结构知识,化学平衡和氧化还原原理等)对元素化学知识学习的指导,同时注意了在讲述元素化学知识时贯彻从实验现象出发发现问题,然后再经过分析逐步解决问题的思路,以引导自学者注意化学反应的实质,尽可能做到对化学知识既知其然,又知其所以然。

四、我们在各章各节后都编入了一定量的习题,每章有复习题,整本书后还编入了总复习题和自我检查题。

对个别较难的习题还加了提示。自我检查题附有参考答案和评分标准,以便自学者自行检查学习效果。

由于经验和水平所限,本书肯定还有不少错误和不足之处,相信依靠自学者的勤奋和钻研精神,一定能纠正错误,弥补不足,使本书在辅导自学者学好中学化学,进而攀登新的文化科学高峰方面起到一点应有的作用。

编 者

一九八二年四月

目 录

第二版出版说明

编者的话

1. 原子结构 元素周期律	1
§ 1.1 原子的组成 同位素	1
§ 1.2 原子核外电子的运动状态	6
§ 1.3 原子核外电子的排布	17
§ 1.4 元素周期律	26
§ 1.5 元素周期表	36
本章提要	44
复习题一	46
2. 分子的形成 化学键	49
§ 2.1 反应热	49
§ 2.2 离子键和离子晶体	53
§ 2.3 共价键	58
§ 2.4 非极性分子和极性分子	69
§ 2.5 分子间的作用力 氢键	76
本章提要	83
复习题二	85
3. 硫 氧族元素	87
§ 3.1 氧族元素	87
§ 3.2 硫	89
§ 3.3 硫化氢 氢硫酸	94
§ 3.4 硫的氧化物	100
§ 3.5 硫酸和硫酸盐	107

§ 3.6	离子反应和离子方程式	116
§ 3.7	硫酸的工业制法	119
§ 3.8	臭氧 过氧化氢	123
	本章提要	125
	复习题三	127
4.	氮族元素	130
§ 4.1	氮族元素	130
§ 4.2	氮气	132
§ 4.3	氨	134
§ 4.4	铵盐	140
§ 4.5	硝酸和硝酸盐	142
§ 4.6	硝酸的工业制法	149
§ 4.7	氧化-还原反应方程式的配平	152
§ 4.8	磷 磷酸 磷酸盐	155
	本章提要	159
	复习题四	161
5.	化学反应速度与化学平衡	164
§ 5.1	化学反应速度	164
§ 5.2	有效碰撞和活化能	171
§ 5.3	化学平衡	178
§ 5.4	化学平衡的移动	190
§ 5.5	合成氨工业	197
	本章提要	200
	复习题五	201
6.	碳族元素	205
§ 6.1	碳族元素	205
§ 6.2	碳 碳的同素异形体	207
§ 6.3	碳的氧化物	215
§ 6.4	碳化物 碳酸和碳酸盐	226

§ 6.5 硅及其重要化合物	230
§ 6.6 硅酸盐工业	237
§ 6.7 胶体	241
§ 6.8 土壤	246
本章提要	250
复习题六	254
总复习题	255
自我检查题(附评分标准和参考答案)	257
附录 《化学》第二册计算题答案	270

原子结构 元素周期律

在这一章里，我们将要进一步学习物质结构的基本知识，对现代物质结构理论的最基础的知识作一个比较全面的介绍。本章和下一章的内容都是物质结构理论的基础知识，也是中学化学最重要的基础知识之一，学好这些基础知识对于今后各章的学习具有重要的指导作用。由于核外电子这种微观粒子^①的运动与宏观物体的运动具有本质的不同，有些概念比较抽象，描述微观粒子运动规律所使用的术语也比较陌生，但只要多想多钻研，是可以熟悉和掌握的。

§ 1.1 原子的组成 同位素

在第一册第二章里，我们已经学过物质是由分子、原子或离子等微粒组成。原子是由原子核和核外电子组成。原子核又由质子和中子组成。质子和中子的质量相近；质子带一个单位正电，中子不显电性。核外电子的质量很小，带一个单位负电。由于核内的质子数和核外的电子数相等，因此它们电量相等，电性相反，这样原子就不显电性。由于电子或原子核的体积相对于原子来说是极其微小的，因此整个原子内部可以看成是“空”的。又因为电子的质量很小，与原子核的质量相比可以忽略不计，所以原子的质量主要集中在原子核上。这样原子的质量数^②就等于核内质子数和中

① 一般把牛顿力学所研究的物体称为宏观物体，包括大至地球、天体；小至弹丸、蚂蚁。而原子、离子、分子、光子、电子等基本粒子则称为微观粒子。

② 作为原子量标准的那种碳原子的质量是 1.9927×10^{-23} 克，它的 $1/12$ 为 1.6606×10^{-24} 克。质子和中子对它的相对质量分别为 1.007 和 1.008，取整数值为 1。显然，如果忽略电子的质量，将原子核内所有的质子和中子的相对质量加起来，就可以得到这种原子的近似原子量，而且它是一个整数。这个数值叫做原子的质量数，用符号 A 表示。

子数之和,即质量数(A)=质子数(Z)+中子数(N)。

人类对以上物质结构的认识是经历了漫长的道路的。公元前四世纪,古希腊哲学家德莫克里特就产生了朴素的物质由“原子”组成的观点,直到十九世纪中叶,人们才提出了比较完整的“原子分子论”。在此以后的很长的一段时间里,人们一直认为原子是不可再分的。这种观点阻碍了物质结构理论的进一步发展。直到十九世纪末,科学上的一系列重大发现才从根本上动摇了这种观点。那么,是哪些实验事实改变了人类的这种认识的呢?根据什么事实提出了原子的核式模型的呢?这就必须提到著名的放射性现象和 α -粒子散射实验。

放射性现象 1896年,法国物理学家贝克勒耳(Beoquerel),将用黑纸包着的照相底片和铀(U)的化合物放置在一起,发现照相底片感光了。这个现象,使他感到很大的兴趣,因为普通光线是不能透过黑纸的。他认为铀的化合物可能放射出一种特殊的看不见的射线,这种射线会透过一般光线所不能透过的黑纸而使照相底片感光。

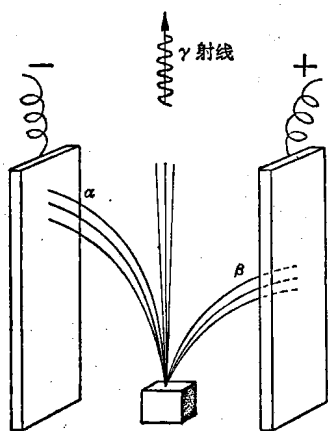


图 1.1 镭射线在电场中的偏转

进一步研究这个现象的是法国物理学家和化学家居里夫人和他的丈夫。他们经过长期艰苦的努力,又发现了比铀具有更强的放射出特殊射线本领的两种新元素——钋(Po)和镭(Ra)。后来就把物质的这种自发地放射出看不见的射线的性质叫做放射性,具有放射性的物质叫做放射性物质。

如果把放射性镭(实际上是用镭的化合物)放在一只上方开有一个细孔的铅制小盒里,由于铅能阻止射线通过,所以只有一束射线通过小孔向外射出。如果在射线通道的两侧放两块极板,并分别

和直流电源的正极和负极连接(图 1.1), 这样, 射线就会受到电场的作用而分裂为三束。其中一束不发生偏转, 仍依原方向前进, 叫做 γ 射线, γ 射线是不带电的一种特殊的光波; 另一束向阴极板偏转, 叫做 α 射线, α 射线即 α 粒子流。 α 粒子的质量数为 4, 带两个单位正电; 还有一束向阳极板偏转, 叫做 β 射线, β 射线就是高速电子流。之后, 居里夫人和其他科学家在研究镭的放射性现象时又发现, 尽管用来研究的镭非常纯净, 但在它的周围常伴随有两种新元素存在, 一种是稀有气体氦(He), 另一种是当时还不知道的新元素氡(Rn)。原来, 氦和氡都是镭放射后的产物。象这种由于放射作用, 由一种元素的原子转变为另一种元素的原子的作用, 叫做原子的蜕(音 tuì)变。

放射性现象证明: 原子是可分的, 而且具有复杂的内部结构。这就动摇了原子不可再分的观念。

α 粒子散射实验 1911 年, 英国物理学家卢瑟福(Rutherford)用一束高速 α 粒子流来射击金属薄片时, 发现绝大多数的 α 粒子能够穿过金属薄片而不改变方向继续前进, 这说明原子内部的绝大部分是“空”的。但也有一些 α 粒子穿过金属薄片时方向稍有改变, 其中还有极少数(平均每一万个中有一个)偏转较大, 甚至有个

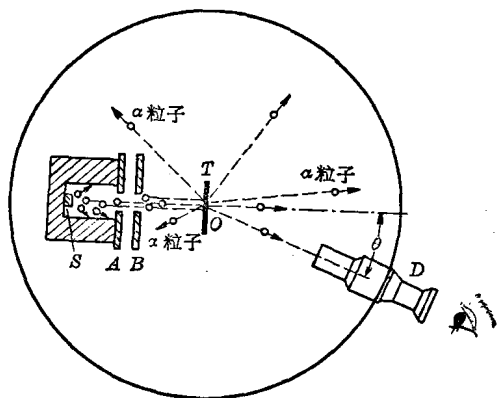


图 1.2 α 粒子散射示意图

S: α 粒子源; A、B: 穿有小孔的屏; T: 金箔; D: 探测器

别的 α 粒子好象碰到了一种极硬的,不可穿透的东西一样被弹了回来(图 1.2). α 粒子的质量数是 4,带两个单位正电. α 粒子能被弹回来,说明它一定碰到了一种体积很小,质量很大,而且也带正电的东西,卢瑟福把它称为原子核. 他认为原子核位于原子的中心,占有很小的体积,在原子核外有一定数目的电子,以极高的速度在运动着. 原子核所带的正电量和核外电子所带的负电总量在数值上相等,所以整个原子不显电性. 由于核外电子是以极高的速度在运动着,所以电子不会被吸引到原子核上去,而与原子核维系在一定的空间范围内,这就是著名的卢瑟福原子结构“核式模型”. 1913 年,莫斯莱(Moseley)通过 X 射线光谱的研究,发现原子的核电荷数和原子序数^①相同. 1917 年,卢瑟福发现了质子. 1932 年查德威克(Chadwick)又发现了中子. 同年,伊凡宁柯提出假设,认为原子核是由质子和中子组成,并得到证实被公认. 这样,人们对原子的结构就有了进一步的认识.

居里夫人(Marie Skłodowska Curie)法国物理学家、化学家. 原籍波兰. 由于她在放射性现象研究方面的辉煌成就,荣获两次诺贝尔奖金. 她毕生研究放射性元素,对原子核科学的发展起了推动作用.

同位素 在研究原子核组成的同时,科学家们还发现,同一种元素是由具有相同的核电荷数、不同的质量数的若干种原子所构成的“混合物”. 例如,氢元素就有三种原子,它们的核电荷数都是 1,而质量数分别为 1、2 和 3. 自然界中的氢元素就是这三种氢原子的“混合物”. 为什么同一种元素的原子的质量数可以不同呢? 原来,原子核所带的正电荷数,决定于核内的质子数,而原子的质量数决定于核内质子数和中子数的和. 根据元素的定义可知,元素是核电荷数(即核内质子数)相同的同一类原子的总称. 因而它们核内的中子数是不一定相同的,这样它们就可能具有不同的质量数. 质子数相同而中子数不同的同一种元素的几种不同的原子,互称为同位素.

^① 原子序数就是元素周期表中元素排列的序号数. 见 § 1.4 元素周期律.

氢的三种同位素,它们核内的质子数都是1,而中子数分别为0、1和2。普通氢学名叫氕(音 piē),符号是 ${}^1_1\text{H}$; 重氢学名叫氘(音 dāo),符号是 ${}^2_1\text{H}$; 超重氢学名叫氚(音 chuān),符号是 ${}^3_1\text{H}$, 它们也可分别用符号 H、D 和 T 来表示。

原子的质量应该是原子核里质子、中子以及核外电子的质量的总和,质子和中子的质量都十分接近于1(统一原子质量单位^①),质子数和中子数又都是整数,至于核外电子的质量是微不足道的,可以忽略不计。这样看来元素的原子量应该都十分接近于整数,但事实上大多数元素的原子量都有小数,例如氯的原子量就是35.453,这又是为什么呢?原来,各种元素一般都有同位素,对每种天然存在的元素来说,各种同位素所占的百分数(又称丰度)是固定不变的。我们通常所说的元素的原子量,实际上是这种元素所含各同位素的原子按它所占的一定百分比计算出来的平均原子量。例如,自然界里的氯元素是 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 和 ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 两种同位素的混合物,其中 ${}^{35}_{17}\text{Cl}$ 约占75.53%, ${}^{37}_{17}\text{Cl}$ 约占24.47%,氯元素的平均原子量即为: $35 \times 75.53\% + 37 \times 24.47\% = 35.453$,这就是一般元素的原子量(平均原子量)所以常会带有小数的主要原因。

学过了同位素的概念,对元素的定义:元素是具有相同核电荷数的同一类原子的总称,就可以有一个更为深刻的理解了。

放射性同位素的应用 由于原子能工业的发展,现在已可用人工方法制造出多种多样的放射性同位素,它们广泛应用于国民经济的各个部门。由于放射性同位素发出的射线有很强的穿透物质的本领,因此可以用来检查金属制品的内部结构,测量金属制品的厚度。用放射性同位素(如钴 ${}^{60}\text{Co}$)的射线对肿瘤“照光”,可以治疗肿瘤。放射性同位素还可用来照射种子,以培育新的优良品种。人造卫星上可用放射性同位素来制造原子电池(放射线被吸收,它的能量转变为热,可用于温差电偶发电)。在工业上用放射性辐射可生产某些化工产品(如抗冻的乙二醇)。放射性同位素的另一重要用途,就是作为示踪原子(它的踪迹可用仪器探测),用来研究某种物质在物理、化学或生

① 统一原子质量单位 = ${}^{12}\text{C}$ 原子的质量 $\times \frac{1}{12}$ 。

物过程中的变化情况,如放射性同位素检漏,研究化学反应的速度和反应的历程等等.农业上为了研究磷肥在棉花增产中的作用,就用放射性同位素 ^{32}P 作为示踪原子,进行科学研究.

习 题

1.1

1. 十九世纪末科学上的哪些重大发现动摇了人们“原子不可再分”的观点?怎样从 α 粒子散射实验导出原子结构的核式模型?
2. 用原子结构的观点,解释下列概念:元素、同位素、原子的质量数、元素的平均原子量.
3. 为什么一般元素的平均原子量常带有小数?
4. 如果有人说:“现在人类已经发现了107种元素,也就是说人类发现了107种原子”.你说这句话对吗?为什么?
5. 在天然钾元素里, ^{39}K 约占93.4%, ^{41}K 约占6.6%,求钾元素的平均原子量.
6. 氖(Ne)主要由 ^{20}Ne 和 ^{22}Ne 所组成,已知氖的平均原子量为20.2,求这两种同位素各占百分之几?这两种同位素的原子核中各有几个质子和几个中子?

§ 1.2 原子核外电子的运动状态

微观粒子的运动规律 原子、离子、电子、分子都是微观粒子.微观粒子的运动规律不同于宏观物体.因为电子是在原子这样极小的空间(约 10^{-10} 米)范围内作高速(约 10^6 米/秒)运动,我们不可能象观察宏观物体那样,同时精确地测定其运动速度和确切位置.也就是说,描述宏观物体运动的“轨道”概念对微观粒子的运动是不适用的.那么,微观粒子的运动规律有什么特征呢?有两大特征:一是量子化,一是统计性.

1. **量子化**,就是微观粒子所具有的某些物理量(如能量、电量等)的变化都是不连续的,它只能一份一份地增加,或者一份一份地减少,而不能连续地变化.拿电量来说吧,我们已经知道一个电子的电量就是电量的最小单位,它的值用库仑来表示,为 1.602×10^{-19} 库仑.微观粒子的电量的变化,只能是一个电子电

量的整数倍,如用 e 表示一个电子的电量,那么电量的变化只能是 $1e$ 、 $2e$ 、 $\dots$ 、 $10e$ 、 $\dots$ 、 ne 等等,而不能是 $0.5e$ 、 $1.2e$ 、 $9.9e$ 等等.因此一个电子的电量可以称为电的“量子”,即电量的最小单位.电量的增减,只能是一个“电的量子”、一个“电的量子”地不连续的变化.尽管从宏观上看来,电量的变化可以是连续的,如通过用电器的电量可以是 1 库仑、1.1 库仑、1.11 库仑、 $\dots$ 等等.但是从微观上看,电量的变化却是不连续的,也就是量子化的.同样,微观粒子的能量变化也是量子化的.量子化这个概念,我们并不陌生,如人走楼梯,总是走上一级或走下一级,没有走半级的.数人数,也没有半个人的说法.这些例子都可以帮助理解量子化的概念.

2. 统计性,就是我们只能对大量微观粒子的许多次行为进行总的考察,来发现微观粒子运动的规律性.例如,核外电子是在极小的空间范围内作高速运动的,我们不可能同时精确地测定它的运动速度和确切位置.也就是说,某一瞬间,某一个电子在核外的位置我们不能确切地描述,它可能在这儿,也可能在那儿.但是我们可以考察并统计出这个电子在核外空间最常出现的区域在哪里.这正象蜜蜂在某一个花园里采蜜,它一会儿飞到这里,一会儿飞到那里,好象看不出什么规律.但经过长时间多次的考察,我们就会发现蜜蜂在花朵附近出现的机会要比远离花朵的地方大得多.这就是蜜蜂在花园里运动规律的统计性描述.描述微观粒子运动的统计规律时,常采用“几率”^①这个名词,几率就是机会的意

① 在社会和自然界中,某一类事件在相同的条件下可能发生,也可能不发生,这类事件称为“随机事件”.几率是用来表示随机事件发生的可能性大小的一个量.我们把必然发生的事件的几率规定为 1,把不可能发生的事件的几率规定为 0.一般随机事件的几率就介于 0 和 1 之间.例如上述正文中这个事件中,我们从木盒中取出任一种颜色的木球的几率为:

$$P(A) = \frac{m}{n} = \frac{1}{3},$$

其中 $P(A)$ 为事件 A (指拿出任一种颜色的木球)的几率, m (这里是 1) 是指事件 A 中包含的基本事件数(指只拿出一种颜色的木球), n (这里是 3) 则是事件 A 中总的基本事件数(指可能拿出三种颜色不同的木球).