

WUZHILIEGOUQIANTAN

物质结构浅谈

王祖鏊 杨海宏

杨光禄

王孝耀 许勛和



中学生课外辅导读物

中学生化学课外辅导读物

物质结构浅谈

王祖鏊 杨海宏 杨光禄 编
王孝耀 许勋和

福建教育出版社

中学生化学课外辅导读物

物质结构浅谈

王祖鏊 杨海宏 杨光禄 编
王孝耀 许勋和

*

福建教育出版社出版
福建省新华书店发行
福州第二印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.75印张 3插页 90千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷

印数: 1—5,000

书号: 7159·765 定价: 0.39元

前 言

物质在不同条件下表现出来的各种性质，都与它们的结构有关。介绍物质的微观结构及结构与性质的关系，是本书的主要内容。

由于本书的读者对象是在校的中学生和具有中学化学知识的社会青年，因此不能从量子力学的基础知识介绍入门，而只能引用其结论来谈原子的结构和分子的结构。晶体的结构也仅作粗浅的介绍。

本书是参照《全日制五年制中学和全日制六年制重点中学化学课本编写提纲（初稿）》编写的，内容力求深入浅出、通俗易懂，适当扩大知识面，对疑难问题作适当的解释。书中图表较多，容易理解，每一章之后附有少量的习题，供读者练习。

本书是中学生化学课外辅导读物的第二分册。承蒙福州市教师进修学院陈明枝、张淑铭、黄穆鹏、蔡抗生等老师作了审定，在此谨致以衷心谢意。

编 者

1982年5月

目 录

第一章 原子的结构

第一节 原子的组成	(1)
第二节 电子云	(8)
第三节 核外电子的运动状态	(13)
第四节 原子核外电子的排布	(19)

第二章 元素周期律和元素周期表

第一节 元素周期律的发现与元素周期表的形成	(27)
第二节 核外电子排布的周期性与现代元素周期表	(29)
第三节 元素周期表的结构及其实质	(31)
第四节 元素性质与原子结构的关系	(36)
第五节 元素的金属性与非金属性递变规律	(43)
第六节 元素周期表的应用	(51)

第三章 化学键

第一节 离子键	(56)
第二节 共价键的形成	(60)
第三节 金属键	(74)

第四章 共价分子的结构

第一节 共价键的杂化与分子的构型	(77)
第二节 大 π 键	(84)
第三节 分子的构型与分子的极性	(87)
第四节 分子间的作用力	(92)
第五节 氢键	(96)

第五章 晶体的结构

第一节	离子晶体	(101)
第二节	原子晶体	(104)
第三节	分子晶体	(106)
第四节	金属晶体	(109)
第五节	过渡型晶体	(112)

第一章 原子的结构

物质进行化学反应的基本微粒是原子。也就是说，在化学反应中，原子核并不发生变化，发生变化的仅仅是核外电子。因此，要研究化学变化的实质，就必须了解各元素原子中，电子在原子核外的运动状态及其排布规律和方式。这就是本章的核心问题。

第一节 原子的组成

我们在初中化学已经学习过原子是由原子核及核外电子组成的；我们还知道原子核里有质子和中子。这个结论是如何得来的呢？

一、电子的发现

在1879年，从真空放电产生阴极射线的研究中发现了电子。在一个内部接近真空、两端有金属电极的密封玻璃管中，在两极通上高压直流电，阴极会发出一种射线，叫做“阴极射线”，在荧光屏上可显示出这种射线的方向。若外加电场，阴极射线会偏向外加电场的正极（图1—1）。若在管内装一个可以转动的小叶轮，射线能使该小叶轮转动（图1—2）。

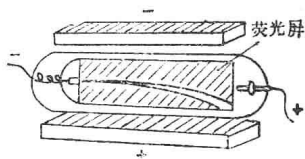


图1—1 阴极射线在电场中偏转

从这些实验事实可以证明阴极射线是一群带有负电荷的、质量很小的、动能很大的微粒流。这种微粒称为电子。经测定，电子所带的电量为 4.8×10^{-10} 静电单位或 1.60×10^{-19} 库仑，所有的带电体所带的电量都是它的整数倍。也就是说，电子所带的电荷，是电量的最小单位，叫单位电荷。电子的质量

很小，只有氢原子质量的 $\frac{1}{1837}$ 。

进一步实验证明，无论哪一种金属做阴极都有阴极射线放出，而且放出的电子的质量和所带的电荷的电性和电量都相同。此外，发现电子也能在不是放电现象的情况下产生。例如，当金属或气体灼热时，或者用光线照射某些金属时，也能放出电子。电子能从各种不同的物质中激发出来，说明任何原子中都有电子存在。

二、原子核的发现

既然电子是原子的一个组成部分，电子是带负电荷的，而整个原子是电中性的，因此在原子中一定还含有带正电荷的组成部分，而且这个带正电荷的部分所带的电量应该与电子的总电量相等。在1911年，英国物理学家卢瑟福通过 α —粒子的散射实验证实了这种想法。

α —粒子的散射实验是用 α —粒子（带2个正电荷的氦离子 He^{2+} ，它的速度是 1.6×10^7 米/秒）来射击各种金属箔，结果发现大多数 α —粒子能直线地通过金属箔或稍有偏离，而只

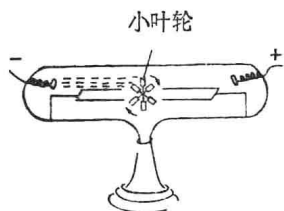


图 1—2
阴极射线使小叶轮转动

有极少数 α -粒子发生较大角度的偏转，甚至个别的被弹了回来，如图 1—3 所示，这种现象称为 α -粒子的散射现象。

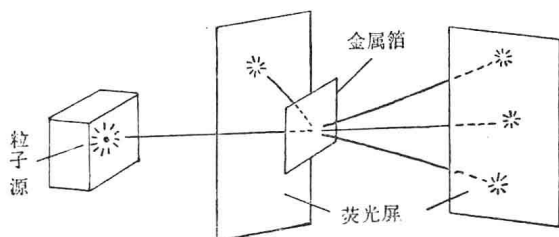


图 1—3 α -粒子的散射实验

α -粒子散射实验现象表明：金属箔的原子内部有很大空隙。 α -粒子的质量比电子大得多，并带 2 个单位正电荷，因此其行进方向显然与电子无关，之所以发生偏转，甚至反弹，显然是因为在原子内部有一种带正电荷的、且质量与 α -粒子能相匹敌的部分，它才能对 α -粒子起排斥作用，这就是原子核，如图 1—4 所示。

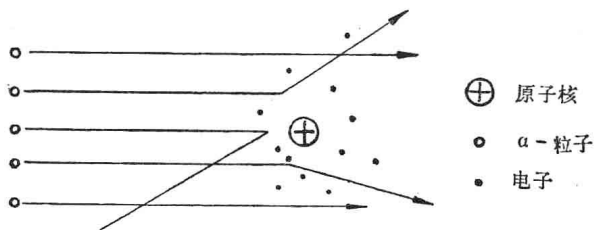


图 1—4 α -粒子发生散射的示意图

进一步的实验证明，原子的直径约为 10^{-10} 米，原子核的直径约为 10^{-15} 米，即原子核占有原子中非常小的体积。原子核带正电，所带的电量是电子电量的整数倍，且与核外电子的

总电量相等。

三、质子和中子的发现

1896年法国科学家贝克勒尔意外地发现了放射现象。1898年居里夫妇发现了一种新的放射性元素镭。天然放射性物质的发现，启发科学家去进一步探索原子核的秘密。

1919年，卢瑟福用镭放射出的具有高能量的 α -粒子去轰击氮原子核(^{14}N)，结果除生成了氧外，还发现了一种新的粒子，经磁偏转证明，这种粒子带有正电荷。后来的实验进一步指出，这种粒子带有一个单位的正电荷($+1.6 \times 10^{-19}$ 库仑)，它的质量为 1.6726×10^{-24} 克，定名为质子。

氮原子 + α -粒子 $\longrightarrow$ 氧原子 + 质子

通过对其他原子的多次实验，没有发现比质子更小的带正电荷的粒子从原子核中发射出来。因此，质子被认为是组成原子核的一种基本粒子。

发现了质子以后，1930年德国物理学家用钋发射出的 α -粒子轰击铍时，铍核(^9_4Be)放出一种射线，它的穿透本领非常大，在电场中不发生偏离。后来的科学工作者测定出这种射线是由不带电的粒子组成的，其质量为 1.6748×10^{-24} 克，这种粒子称为中子。

铍原子 + α -粒子 $\longrightarrow$ 碳原子 + 中子

除铍以外，其他轻元素(如锂、铝等)的原子核，在 α -粒子的轰击下，也都能产生中子，说明原子核中还含有中子。

四、原子的组成

从上面介绍的一系列发现基本粒子的事实，科学工作者归

结出了有关原子的组成。

原子是由居于原子中心的带正电的原子核和核外带负电的电子组成的。电子带一个单位的负电荷(其电量为 -1.6×10^{-19} 库仑)。原子核带的电量(称核电荷)跟核外电子的总电量相等,但电性相反,因此原子作为一个整体是不显电性的。原子很小,它的直径约为 10^{-10} 米,而原子核比它更小,它的直径约为 10^{-15} 米。这样,在原子中的原子核外有一个“相当大”的空间,电子在这个空间内运动。

原子核由质子和中子组成。质子带一个单位正电荷(其电量为 $+1.6 \times 10^{-19}$ 库仑),中子不带电,因此,核电荷数是由质子数决定的。由于原子不显电性,所以原子中的质子数与电子数相等,原子中核电荷数的符号为 Z ,它与质子数、电子数关系为:

$$\text{核电荷数}(Z) = \text{核内质子数} = \text{核外电子数}$$

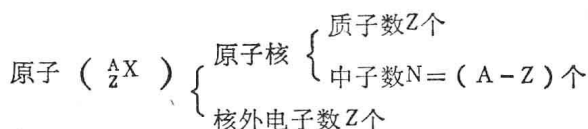
质子的质量很小,为 1.6726×10^{-24} 克,中子的质量与质子的质量很接近,为 1.6748×10^{-24} 克,电子的质量更小,为 9.110×10^{-28} 克,仅为质子质量的 $\frac{1}{1837}$ 。所以,原子的质量主要集中在原子核上。由于质子、电子的质量很小,计算不方便,因此通常用它们的相对质量。

国际上采用一种原子核内有6个质子和6个中子的碳原子($^{12}_6\text{C}$)的质量的 $\frac{1}{12}$ 作为标准,其质量是 1.9927×10^{-23} 克 $\times \frac{1}{12} = 1.6606 \times 10^{-24}$ 克。那么质子和中子对它的相对质量应为1.007和1.008,取近似数值为1。显然,如果忽略电子的质

量，将原子核内的质子和中子的相对质量取整数加起来，就得到这种原子的相对质量，叫做原子的质量数（也称近似原子量）。由于质子和中子的相对质量均为1，所以原子的质量数（A）等于质子数（Z）与中子数（N）之和。

原子的质量数（A）= 质子数（Z）+ 中子数（N）

综上所述，如以 A_ZX 代表一个质量数为A、质子数为Z的原子，那么组成原子的粒子间的关系可以表示如下：



五、同位素的发现

1911年，科学家在分析铀、钍、镭各族放射性矿石中铅的近似原子量时，发现从铀、钍、镭分别得到三种不同近似原子量的铅，它们是 ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ 、 ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ 和 ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ 。这是什么原因呢？

我们知道，具有相同核电荷数的一类原子称为元素。那么， ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ 、 ${}^{207}_{82}\text{Pb}$ 和 ${}^{208}_{82}\text{Pb}$ 这三种原子的核电荷数都等于82（核中含有82个质子），因此它们都属于铅元素。三种原子的质量数A不同，显然是由于核里中子数N不同所致。 $N = (A - Z)$ 个，所以这三种铅原子核里的中子数分别是124个、125个和126个。于是科学工作者把这种具有相同的质子数而有不同中子数的同类不同种原子，互称为同位素原子。这样，铅元素有三种同位素。

同位素名称是来源于这些同位素原子都有相同的原子序

数注，因而在元素周期表中处于同一位置（周期和族）。

同位素原子虽然质量数不同，但它们的化学性质几乎完全相同。

许多元素都有同位素，所以，目前人们已发现107种元素，但所知道的原子就远不止107种。在天然存在的某种元素里，不论是游离态还是化合态，各种同位素原子所占的百分比（称为丰度）一般是不变的。例如，氢有三种同位素：

同 位 素	名 称	元素符号	自然界中存在的丰度
${}^1_1\text{H}$	氕,普通氢	H	99.984%
${}^2_1\text{H}$	氘,重 氢	D	0.016%
${}^3_1\text{H}$	氚,超重氢	T	自然界中不存在,是人工合成的放射性同位素

考虑到同位素的存在，因此对于元素的原子量，就必须按其天然存在的同位素的丰度进行计算。我们平常所说的某种元素的原子量就是按各种天然同位素丰度计算出来的平均值，称为平均原子量，因此常带有小数。如：

$$\begin{aligned}
 \text{氢的平均原子量} &= {}^1_1\text{H的原子量} \times 99.984\% + {}^2_1\text{H的原子量} \\
 &\quad \times 0.016\% \\
 &= 1.0077 \times 99.984\% + 2.016 \times 0.016\% \\
 &= 1.008
 \end{aligned}$$

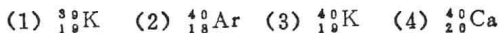
$$\text{氢的近似平均原子量} = {}^1_1\text{H的质量数} \times 99.984\% + {}^2_1\text{H的质}$$

注 原子序数是在元素周期表中，元素按核电荷数大小排列的顺序。元素的原子序数等于元素的核电荷数。

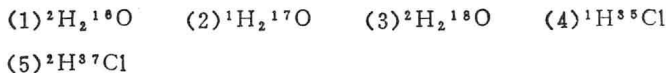
$$\begin{aligned}
 & \text{量数} \times 0.016\% \\
 & = 1 \times 99.984\% + 2 \times 0.016\% \\
 & = 1.00026 \approx 1
 \end{aligned}$$

习 题

1. 指出下列几种微粒的组成，并找出哪几种原子是同位素。



2. 下列分子中哪些原子互为同位素？其中共有几种原子？共有几种元素？



3. 10克重水 (D_2O) 中含有多少个中子？多少个电子？

4. 天然铜是由同位素 ${}^{63}\text{Cu}$ 和 ${}^{65}\text{Cu}$ 组成的，其中 ${}^{63}\text{Cu}$ 原子数对 ${}^{65}\text{Cu}$ 原子数之比为 2.45 : 1.05。试计算天然铜的平均近似原子量。

第二节 电子云

电子是质量很小的带负电荷的微粒，它在原子核外作高速的运动。由于电子的质量很小，运动速度极快，而且又是在原子这样大小的空间（直径约 10^{-10} 米）内运动，因此它的运动规律跟普通物体不同。

一、电子的波粒二象性

电子是最小的带电体，任何带电体所带的电量，都是电子电荷的整数倍。电子具有质量，为 9.110×10^{-28} 克，约等于氢原子质量的 $\frac{1}{1837}$ 。运动着的电子（如阴极射线）具有动量，因

此它在阴极射线性质的实验中，能推动小叶轮转动。这些都是电子具有不连续微粒性的表现。

电子除具有微粒性外，还具有波动性。例如，将一束电子射线穿过细晶体粉末（或薄金属片）而投射在感光胶片上，可以得到一系列同心圆的衍射环纹（图 1—5）的照片，这种现象同光波通过微孔产生的衍射环纹一样。这就说明运动着的电子同光波一样具有连续波动性。

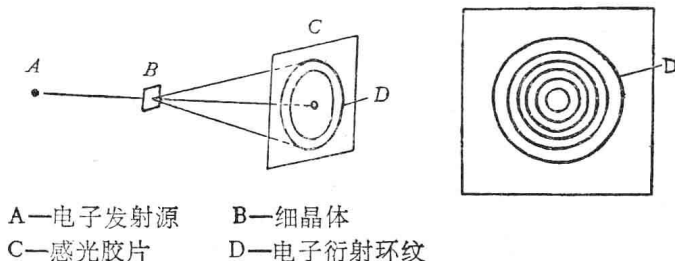


图 1—5 电子衍射示意图

电子具有不连续的微粒性和连续的波动性称为波粒二象性，这是它区别于一般宏观物体的显著特性。但是必须指出，电子在不同的场合和条件下，有时显著地表现出微粒性，有时显著地表现波动性。例如，当电子的发射或与其它物体相碰撞时，主要显示微粒性，但在其通过细晶体粉末时产生衍射环纹，波动性就突出。

二、测不准原理

在了解了电子具有波粒二象性之后，我们就可以来讨论电子的运动规律跟宏观物体的运动规律有何不同了。

火车在铁路上奔驰，飞机在天空中飞行，都可以在确定时间内观察到它的位置，并且可以精确地测定它们的速度，可以

用牛顿力学的运动方程来描述它们的轨迹。但是对于电子，我们就不能同时精确地测定它在空间的位置和运动速度，不能用牛顿力学的运动方程来描述它的轨迹。这就是德国物理学家海森堡提出来的微观世界中的测不准原理。

为什么对于电子不能同时精确测定它的空间位置和瞬时运动速度呢？这是由于在原子中电子的运动状态不只具有微粒性，而且还有波动性。因此，只按微粒运动规律的经典的牛顿力学方程同时来测定电子的空间位置和瞬时运动速度，显然是不可能精确的。为此，我们必须采用与研究宏观物体的运动的不同方法，即用统计的方法以及由这种方法所得出的规律来描述电子的运动状态。

三、电子云的概念

核外电子的运动没有确定的轨道，我们不能测定或计算出它在某一时刻所在的位置，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的机会多少。举氢原子为例来说明这一个问题。

氢原子核外有一个电子。为了在一定瞬间内在氢原子核外找到这一个电子的确实位置，假想有一架很小的原子照相机，可以用它给氢原子拍照。先拍五张，将看到在五个不同瞬间电子处于核外空间的不同位置：

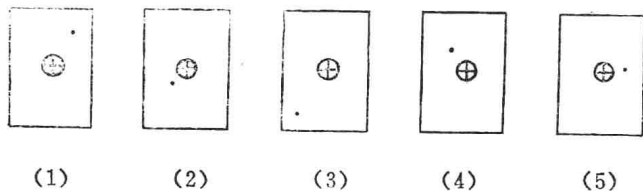


图 1—6 氢原子的五次瞬时照片

如果继续成千上万次地拍下去，并在拍了一定次数后将照片叠印，就会看到这样的图象：

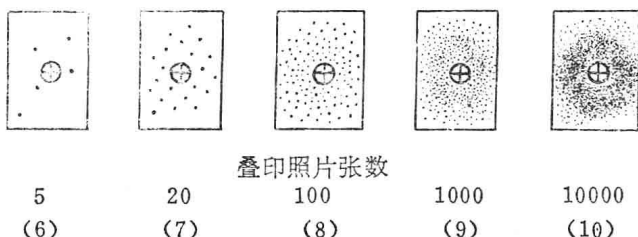


图 1—7 氢原子的叠印照片

这种做法就是一种统计学的方法。所得到的结果，好象电子是在核外空间的一个球形区域里经常出现，表现出明显的统计性规律。也就是说，电子在离核某个距离的区域里出现的机会可以计算出来，但这个电子在核外空间的这一点到另一点的途径，我们却不能知道。一个电子运动的这种统计性结果，好象它形成了一团带负电荷的云包围在原子核的外边，我们把这个统计性结果的形象叫做电子云。如氢原子核外这个电子的运动状态，其电子云的图象是球形对称的。因此，电子云就是指电子在核外空间一定范围内出现机会的形象化描述。电子云越密集，表示电子云的密度越大（图象中小黑点越密集），在理论上表示为原子核外某处空间电子出现的机会越大。

对于多电子原子来说，核外的电子云的形状不只有如氢原子的一个电子的球形对称图象，还可以有其它图象，如纺锤形、十字花瓣形等。

四、电子的能级

太阳光通过三棱镜可以分解为红橙黄绿青蓝紫的连续彩色