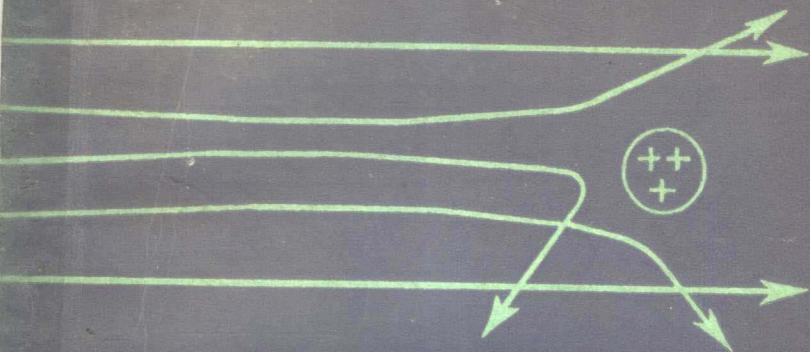
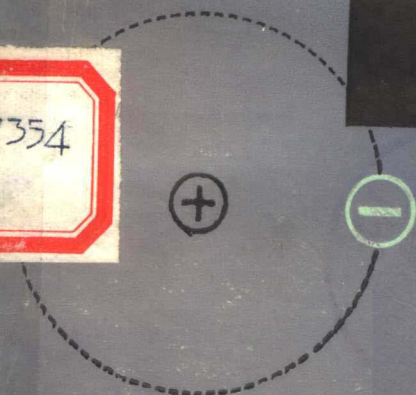




中学生基础知识读物

# 原子结构— 元素周期律



中学生基础知识读物

# 原子结构—元素周期律

娄全龄 侯 杰 周西顺

河南人民出版社

## 原子结构—元素周期律

姜全龄 侯 杰 周西顺

河南人民出版社出版

河南第一新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092毫米32开本 6.125印张 100千字

1979年12月第1版 1979年12月第1次印刷

印数1——0,000册

统一书号 7105·108 定价 0.46元

## 前 言

为了使中学生更好地掌握基础知识，我们编写了这本《原子结构—元素周期律》。这本书的内容包括原子结构、化学键与分子结构、元素周期律三个部分。这三方面的内容，是中学化学课程中十分重要的基础知识，是学习化学的一把钥匙，必须牢固掌握。书中较详尽和系统地介绍了有关方面的知识，力求写得深入浅出，通俗易懂，适于自学。

第一章，介绍原子是由质子、中子和电子所组成以及原子核外的电子分布情况。为了使读者了解由实验事实进行逻辑推理的方法，我们作了较多的历史性叙述。第二章，介绍分子结构和化学键。物质的许多化学性能和反应现象，都需要从分子结构和化学键的角度来理解。在这一章里，我们所写的内容，略高于中学教科书的水平，以期能够解决中学化学所涉及的有关问题。第三章，系统地介绍元素周期律的发现，周期表的组成，特别详细地叙述了原子结构与周期律的关系，以及元素性质递变的规律，对周期表的应用和展望，作了简要介绍。

在编写本书的过程中，得到新乡师范学院化学系卢锦校同志的帮助，特此致谢。

编 者

1979年10月

# 目 录

|                             |         |
|-----------------------------|---------|
| <b>第一章 原子结构</b> .....       | ( 1 )   |
| 第一节 原子结构的复杂性 .....          | ( 1 )   |
| 第二节 路德福的原子模型 .....          | ( 14 )  |
| 第三节 原子序数和莫斯莱定律 .....        | ( 19 )  |
| 第四节 原子核的组成 .....            | ( 22 )  |
| 第五节 氢原子光谱、能级的概念 .....       | ( 28 )  |
| 第六节 原子核外电子的运动状态 .....       | ( 31 )  |
| 第七节 原子中电子的排布规律 .....        | ( 47 )  |
| <b>第二章 化学键、分子结构</b> .....   | ( 59 )  |
| 第一节 化合价和化学键 .....           | ( 59 )  |
| 第二节 离子键和离子化合物 .....         | ( 61 )  |
| 第三节 共价键和共价化合物 .....         | ( 83 )  |
| 第四节 金属键 .....               | ( 111 ) |
| 第五节 分子间的作用力和氢键 .....        | ( 113 ) |
| 第六节 络合物 .....               | ( 127 ) |
| <b>第三章 元素周期律</b> .....      | ( 145 ) |
| 第一节 元素周期律和元素周期表 .....       | ( 145 ) |
| 第二节 原子的电子层结构与元素周期律的关系 ..... | ( 153 ) |
| 第三节 元素性质递变的周期性 .....        | ( 160 ) |
| 第四节 元素周期律及周期表的应用及其展望 .....  | ( 185 ) |

# 第一章 原子结构

原子是由哪些基本微粒组成的？它们怎样组成原子？这样的组成又怎样决定着原子的性质？这是长期以来人们关心和探讨的问题。“你要知道原子的组织同性质，你就得实行物理学和化学的实验，变革原子的情况。”我们今天对原子的组成和结构的认识，就是在十九世纪末和二十世纪初，物理学和化学的实验技术有了很大发展，有了可以变革原子的方法以后才获得的。十九世纪末和二十世纪初，科学界发现了一系列事实，特别是阴极射线和放射现象的研究，证实了原子结构的复杂性；同时证明了在一定的条件下，原子是可被破坏，而有转变为其它原子的可能。这样便开始了近代原子结构的研究，并且获得了迅速的发展。

## 第一节 原子结构的复杂性

### 一、阴极射线 电子的发现

在证明原子的可分性和复杂性的种种事实中，阴极射线的研究和电子的发现具有特别重要的意义。

1879年，英国学者克罗克斯(Crookes)研究了玻璃管中稀薄气体的放电现象。他把管内抽成高度真空，使残余气体的压力达0.001毫米左右，然后从封闭玻璃管两端的两个电极通入高压(10000~1000000伏特)电流，这时他发现由阴极

发出一种“不可见”的射线，这种射线射到玻璃管壁上，在那里发出了一种青绿色的荧光。由于这种射线是从阴极发出，便称为阴极射线。

后来经过汤姆生 (Thomson) 和其他学者的详细研究，证明阴极射线具有如下的性质：

### 1. 射线系沿直线进行

用图 1-1 所示的实验，在阴极和对面玻璃壁间，竖立一绝缘障碍物，则在障碍物之后，产生一形状相似的阴影。这种现象表明，射线是由阴极发出，其方向与阴极面成垂直，与阳极所在位置无关。

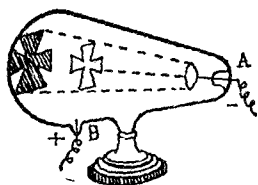


图 1-1 克罗斯阴极射线的阴影现象

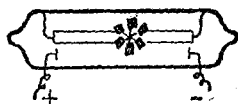


图 1-2 阴极射线作机械功的装置

### 2. 射线是由微粒组成

用如图 1-2 的装置，在阴极射线的通路上安置一个可以沿水平轴旋转的轻翼风车，其轴架在两玻璃轨道上。当阴极射线一触此车，车翼即向阳极方面转动起来。由此证明射线是由微粒组成；射线触动风车时，微粒的动能便变为风车转动的动能，因而能作机械功。

### 3. 射线微粒带有负电荷

阴极射线既然是由阴极向阳极进行，当然它就可能带有负电荷，观察射线在磁场或电场中的偏转情况，完全证实了

这一推断。阴极射线是不能看见的，但它可使硫化锌 (ZnS) 一类的物质发生荧光。因而利用如图 1-3 的装置，就可使射线的通路显示出来。在管内竖立一涂有硫化锌薄层的纸板，并在阴极前面放一具有狭缝的屏板，使阴极射线从间隙中通过。在正常情况下，硫化锌纸板上出现一条笔直的光线；但当磁铁移近管边，或在管边的附近布置一电场时，则见这光线向阳极偏转而成一曲线，从射线偏转的方向，证明射线微粒是带有负电荷的。这种带负电荷的微粒就称为电子。

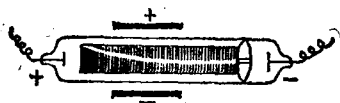


图 1-3 阴极射线在电场中偏转的情况

研究阴极射线的性质可得到这样的结论：阴极射线是一种带有负电荷的电子流，它们以很高的速度从阴极射出。电子的速度随着加在阴极管上的电压而不同，电压愈高，电子的速度愈大，一般可达  $\frac{1}{3}$  到  $\frac{1}{2}$  的光速。

量度阴极射线在一定强度的电场和磁场里偏转的大小，就可以计算出电子的运动速度以及它的电荷和质量的比值，即荷质比  $\frac{e}{m}$ 。

$$\frac{e}{m} = 5.273 \times 10^{17} \text{ 静电单位/克} = 1.7591 \times 10^8 \text{ 库仑/克}$$

在1900年，密里根 (Milikan) 开始用油滴实验来测定电

子的电荷,经过了四年努力,测得了电子的电荷是 $4.803 \times 10^{-10}$ 静电单位或 $1.608 \times 10^{-19}$ 库仑。由此便可以计算出电子的质量:

$$m = \frac{4.803 \times 10^{-10}}{5.273 \times 10^{17}} = 9.105 \times 10^{-28} \text{ 克}$$

这个质量相当于氢原子质量的 $\frac{1}{1838}$ 。

值得注意的是,电子的质量和它所带的电量与残留在管内气体的性质和制成电极的物质,以及实验时的其它条件都完全无关。除此以外,电子只能在带电的状态之下存在,它所带的电荷不能失去,即不能转变为中性的“电子”。电荷是这种质点的各种性质的根源。电子所带的电荷,即所谓电子电荷,是最小的单位负电荷,是可以存在的最小电量;所有其它一切带电体所具有的电荷的绝对值必为电子电荷的整数倍。

此外,电子也能在与放电现象不发生任何关系的情况下产生。例如,一切金属,在灼热时都能放出电子来;在蜡烛和煤气灯的火焰中也有电子存在;有的金属片当受到合适的光线照射时,也能发出电子,这就是所谓光电效应。

电子能从各种不同的物质中分离出来的事实,说明了在一切原子的组成中都含有电子,因此原子是由比它更小的微粒组成的复杂产物。

## 二、伦琴射线的发现

1895年,德国的物理学家伦琴(Roentgen)在研究阴极射线时,他发现当射线射到某一固体上的时候,会从固体上放出另外一种射线。这种射线和阴极射线不同,它能够透过

玻璃，使在黑纸中包着的照相底片感光，也可引起许多物质发出荧光。在当时因为不了解这种射线的来源，所以就称它为 X-射线，后来又叫做伦琴射线。

任何受到阴极射线作用的固体，都能放射出伦琴射线。为了研究伦琴射线，就制成了一种伦琴射线管（图 1-4）。此管对着阴极的地方，安装了一个用金属铜或钨制成的阳极，通常称为对阴极。当高速电子流射击到对阴极的表面上时，就从那里发射出伦琴射线来。

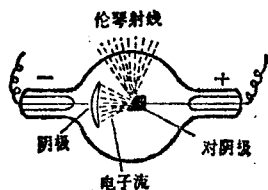


图 1-4 伦琴射线管图解

伦琴射线与阴极射线不同。伦琴射线无论在磁场或电场中都不受偏折，由此证明，它是不带任何电荷的。斯登莱认为伦琴射线是和普通光线相似的电磁波，只不过是它的波长极短而已。现已查明，伦琴射线的波长一般为  $0.05 \sim 2.0$  埃，比紫外线的波长更短。具有强烈的穿透力是伦琴射线的特性之一。它能透过一般光线所不能透过的物质，如纸板、木材、肌肉等。密度较大的物质特别是金属、骨骼等可以阻止它的透过。这种性质广泛地被应用于医疗技术、冶金、机械制造以及科学研究等方面。

伦琴射线的另一特性就是能使气体离子化。当伦琴射线通过气体时，气体就有了显著的导电能力。根据研究的结果，知道气体的导电性是由于在气体中有带正、负电荷的气体离子所引起的。很容易理解：当阴极射线的电子流打击到对阴极上时，对阴极上的原子就从高速的电子流获得了能量，能

量的一部分使对阴极的温度升高，另外的一部分能量就成为电磁辐射——伦琴射线而发出。具有强大能量的伦琴射线在行经气体时，就把气体分子中的电子分离出来使它们带有正电荷，同时另一些气体分子就和这一些被分出的电子结合成为带负电荷的阴离子，这就是气体的离子化作用。这个作用可以更进一步地证明原子中含有电子。

伦琴射线的发现和对它的研究对物质结构学说的发展起着重要的作用。

### 三、放射性现象的发现与原子蜕变

在伦琴射线发现后的一年，另一种新的发现使物质结构的研究更进一步。很早就已知道，某些物质，经过太阳光曝晒后，能在暗处发生荧光，这种荧光，具有较普通光线更强的穿透能力，并能使照相底片感光。阴极射线打击到玻璃上时产生荧光现象同时发生伦琴射线的事实，引起了当时法国物理学家柏克莱尔 (Becquerel) 的注意。他想阐明荧光现象是否和伦琴射线的发射有关。1896年他选取有强力荧光性的物质硫酸双氧铀钾来进行实验。他把这种铀盐在太阳光下曝晒，然后将其放在用黑纸包裹的照相底片上，经过一段时间将底片冲洗，发现底片已经感光。这个实验似乎证实了他原来的想法：发生荧光的物质可能放射伦琴射线。

但是，有一次，连续几天的阴雨使柏克莱尔无法进行实验。为等待晴天的来临，他把那张上面已经放上几块硫酸双氧铀钾的底版放进抽屉里。几天以后，他等得有点不耐烦了，决定不管怎样，先把底版冲洗出来再说，心想底版虽然没有直接在太阳光下曝光，但也许还会产生一些伦琴射线的痕迹。当柏克莱尔看了冲洗出来的底片的时候，他经历了一

个所有科学工作者都希望能遇上的那种又惊又喜的时刻，因为他发现，底片已经由于很强的辐射而变得很黑，而这决不是荧光或阳光所能达到的，必定有一种别的什么东西在起作用。柏克莱尔断定（并通过多次实验很快地证明），这种东西就是硫酸双氧铀钾中的铀。

这一发现使那些不久前为伦琴射线的发现所激动的科学工作者更加兴奋了，不少科学工作者立即着手研究铀的这种奇异的辐射作用。出生在波兰的年轻化学家居里夫人——玛丽·斯克罗多夫斯卡娅（Marie Skłodowska）就是其中之一。

居里夫人对于柏克莱尔的实验极感兴趣。后来她又发现钍和钍的化合物也具有和铀盐相似的性质。她把这种能自发地放出射线的性质称为放射性。凡能放出与铀盐和钍盐射线相似射线的物质，称为放射性物质。

铀盐的放射性的发现，鼓舞了居里夫人进行放射性的系统研究。研究结果证明所有铀的化合物都具有放射性。放射性是铀原子固有的特性；而且放射性的强度，只与化合物中铀的含量多少有关，而与铀和何种元素化合完全无关；至于外界条件，如加热、冷却、压力、光或电的作用等都不对放射性强度有任何显著的影响。

居里夫人和她的丈夫皮尔·居里研究铀矿时，为了弄清一批沥青铀矿样品中是否含有值得加以提炼的铀，对其中的含铀量进行了测定。但他们惊讶地发现，有几块样品的放射性甚至比纯铀的放射性还要大。这就很明显地意味着，在这些沥青铀矿石中一定还含有别的放射性元素，它们具有很强的放射性，同时，这些未知的放射性元素只能是非常少量

的，因为用普通的化学分析方法不能把它们检测出来。

居里夫妇怀着十分激动的心情，搞到几吨沥青铀矿。他们在一个很小的木棚里建了一个作坊，在很原始的条件下，以极大的毅力在这些很重的黑色矿石中寻找这些痕量的新元素。1898年7月，他们终于分离出极小量的黑色粉末，这些黑色粉末的放射性比同等数量的铀强200倍。这些黑色粉末含有一种化学性质和铀很相似的新元素。居里夫妇把这个元素定名为钋，用来纪念居里夫人的祖国波兰。

但是，钋只是使他们的黑色样品具有这样强的放射性的部分原因。因此，她们又把这项工作继续进行下去。到1898年12月，居里夫人又提炼出一些放射性比钋还要强的东西，其中含有另一种化学特性和铀很相似的元素。居里夫妇把它定名为镭。

镭是根据它的放射性而被发现的一种元素。居里夫人最初制得的是氯化镭( $\text{RaCl}_2$ )，随后由氯化镭制得了金属镭。镭和铀非常相似，同是周期系第Ⅱ主族的元素。镭是一种银白色的柔软的金属，原子量为226.05，经常存在于铀矿中，但数量甚微。含镭最多的铀矿，每吨中也只约含0.2克镭。由于沥青铀矿中同时还含有铀盐，而铀盐和镭盐的性质又十分相似，因此要使微量镭与铀分离就十分困难。居里夫人费了三年又九个月的时间才从一吨的沥青铀矿中分离出0.1克不含铀盐的氯化镭。由此可知，镭的制取是如何的艰难。在居里夫人发现镭之前，镭的化学性质一点也不知道，仅仅是根据它具有所假定的高度放射性，而终于能够把它从大量铀矿中分离出来。这一繁重艰巨的工作，只有具有坚强毅力不怕困难的科学家才能完成。

镭的放射性约比铀强两百万倍。镭盐能在黑暗处发出闪光，镭所放出的射线除能使照相底片感光外还具有破坏微生物和细胞的作用。因此大量的镭射线可以引起严重的伤害，但是，恰当地应用镭可以治疗癌肿。镭放射时有巨量的能放出，所以镭化合物的温度总是比它周围环境的温度高些。从热量的测定中，可以知道一克镭在一小时内能放出约相当于137卡的热量。假如镭完全裂变，其所产生的能量，是燃烧同量的煤所放的热量的一百万倍左右。由于镭射线具有巨大的能量，因此能引起许多化学反应。如在镭射线的作用下，氨能分解为氮和氢，氯化氢分解为氯和氢。

放射性元素不需要外界供给能量，而能继续不断地放射出具有极大能量的射线。很明显，这些射线必须是由放射性元素的原子发射出来。那么，这些原子的内部究竟是怎样构造的呢？

放射性原子既然能够自发地发射出放射线，这自然就会使当时学者们认为，探求原子结构秘密的最直接方法，就是从放射性元素所发出的射线着手，研究这些放射性原子究竟是什么组成的？然后再进一步确定组成原子的共同质点和它的结构情况。放射性元素所放出的射线究竟有几种？它们的本质又是怎样的呢？

如果将少量的镭或镭的化合物（例如  $\text{RaBr}_2$ ），放入一上端有孔的小铅盒内，则从小铅盒中向上放射出一束狭窄的射线，其它向旁边放射出来的射线都被铅壁所阻拦。如在盒孔的上方放一照相底片，则在底片上被射线投射到的地方出现一个黑点。

如果让射线束通过一个电场或磁场，则在照相底片上将

出现三个黑点。在这三个黑点中，只有一个是在原来的位置，另外的两个黑点则是一个偏左，一个偏右（图1-5）。这个实验说明了放射线束实际上包含有三种射线：在电场中向负极板偏转的射线称为 $\alpha$ -射线或甲种射线，向正极板偏转的射线称为 $\beta$ -射线或乙种射线，在电场中不改变运动方向的射线称为 $\gamma$ -射线或丙种射线。

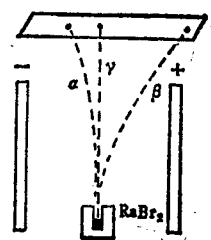


图 1-5 放射线在电场中的分散

$\gamma$ -射线与伦琴射线相似，也是一种与光相似的波动，只是它的波长（ $0.1 \sim 0.005$ 埃）比伦琴射线更短。因此， $\gamma$ -射线也能使气体电离，具有巨大的穿透能力，甚至能穿过30厘米厚的铁板。

$\beta$ -射线和阴极射线相似，同是电子流。两者唯一的区别在于它们的质点飞行速度不同。速度最快的阴极射线为光速之一半，而 $\beta$ -射线的最高速度可接近于光速。 $\beta$ -射线的穿透能力较 $\gamma$ -射线为弱，而使气体离子化的能力却较 $\gamma$ -射线为强。

虽然在 $\gamma$ -射线和伦琴射线之间， $\beta$ -射线和阴极射线之间都各有很多相似的地方，但是应该明确它们产生的原因是不同的：阴极射线是物质在极稀薄的气体中受高压电流的作用时放出的电子流，此电子流撞击固体物质而产生伦琴射线； $\beta$ -射线和 $\gamma$ -射线是起自于原子的自发分裂。

$\alpha$ -射线是由带正电荷的质点流所组成；这些质点称为 $\alpha$ -质点。已经测定，这些质点的电荷为电子的两倍，但符号相反，它的质量为氢原子的四倍，与氦原子量相同。后来实验

证明 $\alpha$ -质点就是带两个正电荷的氦离子，可以写成为 $\text{He}^{2+}$ 的形式。

用以证明 $\alpha$ -质点转变为氦的装置如图1-6所示。D为放电管，与B管相连，全部抽成真空后，即将镭制剂放入C管。C管的玻璃壁极薄， $\alpha$ -质点能透过；D管较厚， $\alpha$ -质点不能透过，所以能停留在D管中。经过几天后， $\alpha$ -质点因放电而失去其电荷（即取得2个电子而中和其正电荷）。用光谱仪观察，放电后的 $\alpha$ -质点的光谱完全与氦相同。

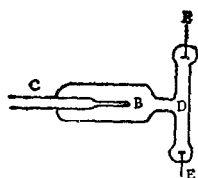


图 1-6 证明 $\alpha$ -质点转变为氦的装置

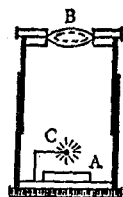


图 1-7 闪烁镜

$\alpha$ -射线的穿透能力比前两种射线都弱，0.1毫米的铝片就可以阻挡它。 $\alpha$ -质点的飞行速度较 $\beta$ -质点小，约为20000千米/秒。 $\alpha$ -质点虽然有这样大的速度，但是它在空气中的实际射程不过2~12厘米左右。这是由于它在空气中飞行时，将与许多气体分子相撞击，而逐渐丧失能量的缘故。如果空气稀薄一些，那么 $\alpha$ -质点的射程也可以远一些。

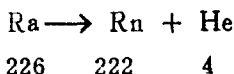
快速飞行的 $\alpha$ -质点具有巨大的能量，所以当它撞击到硫化锌屏时，就能发生闪光。用以观察这种现象的仪器称为闪烁镜（图1-7）。闪烁镜是一黄铜质的圆筒，在其上部有一放大镜B，筒底有一涂有硫化锌的屏A。在屏的上面嵌着一根针C，针的尖端带有一些放射性物质。当通过放大镜观察

硫化锌屏时，可以清楚地看到每一 $\alpha$ -质点撞击硫化锌屏所引起的闪光。如果计算出闪光的次数，就可以测出在一定时间内落在屏上的 $\alpha$ -质点的数目。应用这个方法，曾经测得一克镭在一秒钟内能放出 $3.5 \times 10^{10}$ 个 $\alpha$ -质点。

从 $\alpha$ -质点撞击硫化锌屏所产生的闪光，使我们第一次看到个别原子所产生的作用，同时也是原子实际存在的直接证明。

现在，新的问题又发生了，放射性元素既然能放射出 $\alpha$ -和 $\beta$ -等放射线，那么放射后的残余物是不是仍和放出放射线以前一样呢？

实验指出，放射性元素在放出放射线以后，自己变成了具有不同性质的新元素。例如镭在放出 $\alpha$ -和 $\gamma$ -射线以后，就变为一种新的放射性气体，这种气体最初称为镭射气，后来研究了它的性质，知道它是一种很不活泼的元素，是一种惰性气体，定名为氡(Rn)。镭转变为氡和氦的反应可以用方程式表示出：



进一步研究指出，这个转变过程并没有完结，氡还可以继续放出 $\alpha$ -射线并变成新的固态放射性物质镭A。从镭A起又依次转变成一系列其它放射性元素，最后得到稳定的，原子量为206的铅。这样一系列的物质就形成一个放射系，而放射性元素放出射线以后自己转变成新元素的这种变化过程就称为放射性元素的蜕变。

从图1-8可以看出铀是这个放射系的第一个元素，而镭是铀蜕变后的一个中间生成物，所以在铀矿中就经常含有