

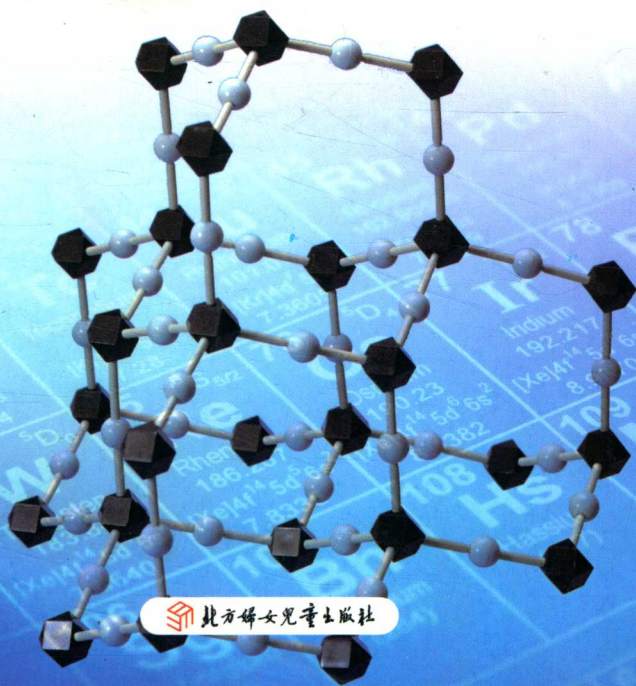
MAGICAL
CHEMISTRY

神秘化学世界

门捷列夫和 元素周期表

自然界多姿多彩，无限多样，但是组成世界万物的基础——化学元素却是有限的。它们不是彼此孤立地存在着的，而是形成一个完整的化学元素周期体系。历代的化学家们研究和发现化学元素，曾经走过一条坎坷不平的艰辛道路。本书通过介绍化学元素发现的过程以及这些元素为人类带来的贡献，为学习化学的青少年了解元素提供了极大的方便。

徐冬梅◎主编



北方妇女儿童出版社

MAGICAL
CHEMISTRY

神秘化学世界

门捷列夫和 元素周期表

常州大学图书馆
徐冬梅◎主编
藏书章



北方妇女儿童出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

门捷列夫和元素周期表 / 徐东梅主编. — 长春:
北方妇女儿童出版社, 2012. 11

(神秘化学世界)

ISBN 978 - 7 - 5385 - 6898 - 1

I. ①门… II. ①徐… III. ①化学元素周期表 - 青年
读物②化学元素周期表 - 少年读物 IV. ①O6 - 64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 228896 号

门捷列夫和元素周期表

出 版 人 李文学

主 编 徐东梅

责任编辑 赵 凯

图文编排 高雨倩

装帧设计 王 璿

出 版 者 北方妇女儿童出版社

地 址 长春市人民大街 4646 号

邮编 130021

发行部电话 0431 - 85640624

编辑部电话 85634731

经 销 全国新华书店

印 刷 北京今朝印刷有限公司

开 本 720mm × 1000mm 1/16

印 张 13

字 数 140 千字

版 次 2013 年 7 月第 1 版

印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5385 - 6898 - 1

定 价 25.80 元

版权所有 翻印必究

前言

PREFACE

在我们日常接触的化学教科书中，一般都附有一张“元素周期表”。这张表揭示了物质世界的秘密，把一些看来似乎互不相关的元素统一起来，组成了一个完整的自然体系。

元素周期表的发明，是近代化学史上的一个伟大创举，对于促进对物质结构的研究和化学的发展，起了巨大的作用。看到这张表，人们便会想到它的最早发明者——门捷列夫。

门捷列夫 1834 年出生在俄国，父亲是一位中学校长，母亲是一位实业家的女儿，门捷列夫是这位校长家中的第 14 个孩子。

1861 年，门捷列夫到彼得堡大学攻读学位，1865 年获得博士学位。1867 年，他接自己老师的班，被聘为彼得堡大学化学教授，年仅 33 岁。

在全国一流的大学里讲授化学的基本课程，是一种崇高荣誉，这位 33 岁的年轻教授，为了不辜负这种荣誉，决心尽自己的力量做好工作。

这位年轻的教授觉得当时用的化学教科书过于陈旧了，就决心自己编写一本能够反映当时化学科学发展水平的新教科书。但是在编写到第二部分，即详细介绍各种元素及其化合物的知识的部分时，他感到十分为难。

这时已知的元素有 63 种，每一种都有自己的性质，并且有几十、几百甚至几千种化合物。门捷列夫对各种元素及其化合物的资料不厌其烦地进行了深入的研究，希望能从中找出某种规律性，来帮助学生方便而系统地掌握这方面有关的主要知识。

但是，怎样才能做到这一点呢？

门捷列夫剪了许多笔记本大小的纸片，然后一个元素一张纸，在上面写上元素的名称、原子量、化合物的化学式、主要的物理和化学性质等。

就这样门捷列夫为自己制造了一副化学元素的“扑克牌”。在门捷列夫与他的元素纸牌相伴无数个不眠之夜后，最终发现了化学发展史上里程碑性的自然规律——化学元素周期律，并制作了元素周期表。

1871年，门捷列夫为学生们编写的取名为《化学原理》的新化学教科书终于出版了。这本教科书就是按他发现的元素周期律的元素分类系统来编写的。而自那以后，按周期律系统来编写化学教科书，在整个20世纪成为一种十分盛行的范例了。

被称为20世纪最伟大的化学史学家的柏廷顿在他的《化学简史》一书中指称：“20世纪普通化学的发展源于周期律，它最先揭露出化学元素之间的亲属关系。”由此可见，元素周期表对后来化学发展影响之大。

为了让读者朋友了解这段历史，我们编写了《门捷列夫和元素周期表》一书，详细地介绍了门捷列夫其人以及他发明元素周期表的故事。

当然，由于编者水平有限、化学发展日新月异，书中难免出现错讹之处，敬请读者朋友批评指正。

Contents

目 录

元素和元素周期表

物质的构成	1
原子的结构	6
人类对元素的认识	10
元素周期表与元素周期律	14
元素周期表的问题和争议	19
各种样式的元素周期表	22
元素周期表的未来	30

元素规律的早期探索

元素周期表形成的基础：元素大发现	35
原子量的测定	43
化学元素组的出现	57
坎古杜瓦与螺旋式元素图	67
欧德林与表格式元素表	71
主族与副族的首次划分	74
纽兰兹与“八音律”	78
双族式短周期表的出现	80

门捷列夫的贡献

门捷列夫的一生	85
---------------	----

元素周期律的发现	104
第八族的出现	108
门捷列夫预言的应验	113
门捷列夫改进元素周期表	119
元素周期律走向世界	125
门捷列夫的困扰	132
错误的预言元素	136

门捷列夫掀起的热潮

氩元素的发现	141
氦元素的预测与发现	149
氟、氦、氩等元素的发现	154
氧元素的发现	159
同位素的发现：原子量颠倒问题的解决	162
莫塞莱定律与周期表的改进	165
填补元素周期表的空位	169
超铀元素的发现	173

元素和元素周期表

>>>>>

宇宙万物是由什么组成的？古希腊人以为是水、土、火、气四种元素，古代中国则相信金、木、水、火、土五种元素之说。到了近代，人们才渐渐明白：元素多种多样，决不止于四五种。18 世纪，科学家已探知的元素有 30 多种，如金、银、铁、氧、磷、硫等，到 19 世纪，已发现的元素已达 54 种。至今已达到 100 多种。

人们自然会问，没有发现的元素还有多少种？元素之间是孤零零地存在，还是彼此间有着某种联系呢？实际上，元素不是一群乌合之众，而是按照一定的规律有序地排列着。那么它们怎么排列的呢？门捷列夫发现的元素周期律揭开了这个奥秘。

物质的构成

我们日常生活中接触到的物质有气体、液体、固体，还有生物体和金属等，可谓纷繁复杂，多种多样。众所周知，可以用各种方法将这些物质分离成纯净物。

所谓纯净物是由一种分子构成的物质，如水、食盐和铝等。但自然界

中的大多数物质是由多种分子组成的混合物。

分子是由原子构成的。原子的种类比分子少，但是，原子能够排列组合成种类繁多的分子。而原子由三种基本粒子构成，粒子的数量决定原子的种类。原子的种类与元素密切相关，所以我们从组成原子的三种基本粒子入手，逐步介绍原子、分子、元素和元素周期律。

归根结底物质是由粒子构成的。这些粒子称为基本粒子。构成物质的基本粒子是电子、质子和中子。

这三种基本粒子具有如下特点：电子带负电荷（-），质量小；质子带正电荷（+）；中子顾名思义呈电中性。电子和质子所带电荷符号相反，电荷数相等。质子和中子的质量大体相当，约是电子质量的1 800倍。

如前所述，这些基本粒子构成原子，粒子数量将决定原子的性质。虽说宇宙中有无数上述基本粒子，但同样的粒子可以认为完全相同，毫无差别。例如，我们周围的电子和太阳中的电子具有完全相同的性质，没有任何区别。

关于这些基本粒子，下面再做一点儿详细的说明。

电 子

电子是人类发现的第一个基本粒子。带负电荷，质量小，除了光子等质量为零的粒子，它是最轻的基本粒子。

19世纪末，汤姆逊发现了电子。那时真空技术有了一定的发展，人们研究了真空中两个电极间的放电，确认阴极放射某种物质，将其命名为阴极射线。汤姆逊根据阴极射线在磁场中发生路径偏转的现象，确定了它的荷质比即电荷与质量之比。

另外，阴极射线的荷质比与电极种类和放电管中极少量残存气体的性质无关，而且飞行距离长，汤姆逊由此推断这是一切物质的构成粒子，而且比分子小。

这就是电子。

电子所带的电荷是电量的最小单位。由于电子带有电荷，所以电子间存在库仑斥力，即带负电的电子间相互排斥。

电子是我们最熟悉的基本粒子，电流是电子流动的结果，在放电管和真空管中也有许多电子。



雷电是因为携带大量电子的云层遇到带正电荷的云层或与地面的电位差增大到一定程度而产生的猛烈放电现象。电子虽小，但数量庞大的电子足以使天空雷电交加，震撼人心。

我们尚不能断言，当今社会人们离开电便无法生存。但如果认识到电子是电流的物质基础，那么电子的重要性也就不言而喻了。

质子和中子

质子是氢的阳离子。换言之，就是氢原子失去电子后的氢原子核。质子带正电荷与带负电的电子以库仑力相互吸引。

与电子相比，质子所带电荷符号相反，质量大，而且，质子与质子之间因库仑力而相互排斥，距离很近时，它们又由于强大引力而相互吸引。这是电子所不具备的特征。

中子与质子质量大体上相等，但确切地说中子比质子约重 $1/700$ 。中子呈电中性，不像电子和质子那样受库仑力的影响，所以它容易穿透物质。

中子是前面所讲的三种基本粒子中最晚发现的，于 1932 年由英国物理学家查德威克发现。

中子与质子或中子与中子之间距离很近时，能产生强大的引力。这种引力与质子间的“引力”相当。这种强大的引力，能使中子和质子牢固地结合在一起，构成原子核。因此，人们称这种力为核力。

库仑力和重力与距离成反比。而距离对核力的影响却非常显著。核力



汤姆逊



查德威克

在 10^{-13} 厘米范围内非常强，但是，距离增大到 10^{-12} 厘米左右时变得微乎其微，甚至可以忽略。

中子的另一特征是它的自然衰变，衰变生成质子、电子和中微子。中子脱离原子核而单独存在是不稳定的，以约 12 分钟的半衰期进行衰变。

原子的组成

质子和中子以强核力结合，在原子中心形成核。这就是原子核。电子只是借助较弱的库仑力，绕原子核周围旋转。这就是原子的基本状态。

氢原子是由一个电子和一个质子组成的，氢的原子核中只有一个质子。一个电子、一个质子和一个中子形成重氢（氘）原子。如此等等，不同数目的电子、质子和中子可以组合成各种不同的原子。重的铀原子核由 92 个质子和 146 个中子组成，加上它周围的 92 个电子便构成铀原子。原子核内的质子数称为原子序数，中子数和质子数之和称为质量数。

电中性的原子中，电子数与原子核内的质子数相等。电子数多于质子数时，原子便带负电，这种原子称为阴离子；电子数少于质子数时，原子带正电，称为阳离子。

我们可以将原子比做太阳系。原子中的电子宛如太阳系中的行星绕核做旋转运动。原子核就如同太阳，太阳是由引力吸引行星，而原子核由库仑力吸引电子。

这些电子沿椭圆轨道运动。原子中有几个确定的椭圆轨道，随着原子序数增加，电子将按顺序填充轨道，每个轨道最多填充两个电子。

要正确描述电子轨道，仅用经典力学是不充分的，而必须用量子力学方法。从量子力学观点出发，认为电子并不是轨道上的点，而是像云一样笼罩在原子核的周围。



半衰期

放射性元素的原子核有半数发生衰变时所需要的时间，叫半衰期。



放射性元素的半衰期长短差别很大，短的远小于一秒，长的可达数万年。

衰变是微观世界里的原子核的行为，而微观世界规律的特征之一在于“单个的微观事件是无法预测的”，即对于一个特定的原子，我们只知道它发生衰变的概率，而不知道它将何时发生衰变。

延伸阅读

查德威克发现中子

原子是由带正电荷的原子核和围绕原子核运转的带负电荷的电子构成。原子的质量几乎全部集中在原子核上。起初，人们认为原子核的质量（按照卢瑟福和玻尔的原子模型理论）应该等于它含有的带正电荷的质子数。可是，一些科学家在研究中发现，原子核的正电荷数与它的质量居然不相等！也就是说，原子核除去含有带正电荷的质子外，还应该含有其他的粒子。那么，那种“其他的粒子”是什么呢？

解决这一物理难题，发现那种“其他的粒子”是“中子”的，就是著名的英国物理学家詹姆斯·查德威克。

1931年，约里奥·居里夫妇——居里夫人的女儿和女婿公布了他们关于石蜡在“铍射线”照射下，产生大量质子的新发现。查德威克立刻意识到，这种射线很可能就是由中性粒子组成的，这种中性粒子就是解开原子核正电荷与它质量不相等之谜的钥匙！

查德威克立刻着手研究约里奥·居里夫妇做过的实验，用云室测定这种粒子的质量，结果发现，这种粒子的质量和质子一样，而且不带电荷。他称这种粒子为“中子”。

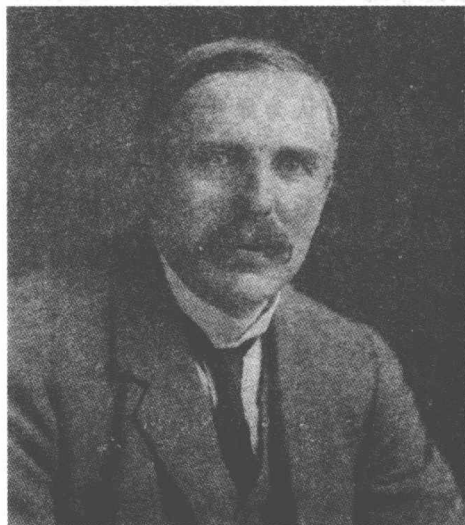
中子就这样被他发现了。他解决了理论物理学家在原子研究中遇到的难题，完成了原子物理研究上的一项突破性进展。查德威克因发现中子的杰出贡献，获得1935年诺贝尔物理学奖。

原子的结构

卢瑟福的原子模型

1911 年卢瑟福在对放射性物质衰变产生的 α 粒子进行散射实验时，观察到一部分 α 粒子以较大的角度散射，从而证明原子核的存在。

此前人们确信，原子中有带负电的电子，而原子呈电中性，所以其中肯定有与电子等量的正电荷。如果正电荷均匀分布在原子中，那么 α 粒子就不会以很大角度散射， α 粒子的大角度散射说明原子中有质量很大的“核”，而正电荷也集中于此。卢瑟福以自己的实验结果证明了原子核的存在，称之为卢瑟福散射。



卢瑟福

卢瑟福认为原子核位于原子中心，其具有正电荷和原子绝大部分质量，带负电荷的电子在核周围做旋转运动。这就是卢瑟福的原子模型。这一模型与稍早日本的长冈半太郎提出的原子模型相同。

玻尔继承了卢瑟福的原子模型，并将其发展形成了原子结构理论。

玻尔的氢原子理论

根据玻尔的氢原子理论，原子核位于原子中心，其所带电荷与核外电子大小相同，符号相反，电子在原子核周围做旋转运动。正如前文讲述的那样，电子像太阳系中行星绕太阳运转那样，以库仑力绕原子核做圆周运动或椭圆运动。与太阳系不同的是，电子只能在几个固定的轨道上运动。

在太阳系中如果行星速度变了，轨道和能量也将发生变化。这种变化是连续的，相对于此，原子内的电子只能取特定的能量值。换言之，电子



的轨道能量是非连续,是跳跃性变化的。根据玻尔理论,这一能量与整数的平方成反比,即:

$$E_n = -A \frac{1}{n^2}$$

结合能 E 用负值表示, A 是比例常数。

整数 n 值愈大,表示轨道离核越远,其能量也越高。电子位于这种能量较高的轨道时称为激发态。 n 等于 1 时,轨道能量最低,电子从能量高的轨道向能量低的轨道迁移时,多余的能量以光子的形式释放出来。

电子从轨道 n 迁移到能量较低的轨道 n' 时,放出的光子能量是两个轨道的能量差:

$$E = E_n - E_{n'} = A \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

光子的能量与波长之间有下列关系:

$E = \frac{hc}{\lambda}$ h 是普朗克常数, c 是光速。因此,光的波长 λ 用下式表示:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{A}{hc} \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

这就是巴耳末系列表示氢原子光谱线的一般式,玻尔理论中的比例常数 A 与巴耳末等系列中的 R 值完全一致。

玻尔理论在当时是一种崭新的理论,它说明全新的思维方式在科学研究中的必要性,但同时它也存在一些问题。例如它无法解释为什么原子内的电子能量不是连续变化的等等。而随后的量子力学却解决了这个问题,至此完成了原子结构的基础理论。

将量子力学应用于氢原子结构,首先得出轨道能量与 n 的平方成反比,这一点与玻尔理论相同。在量子力学中, n 称为主量子数。一般情况下,量子数是整数或半整数,表示能量、角动量等物理量的大小。

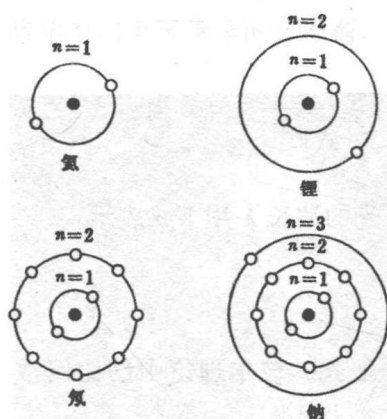


玻尔

现代原子结构理论

在原子序数为 Z 的中性原子中，有 z 个

电子在原子核周围绕核做旋转运动。原子序数大的原子因其核电荷多，所以，电子所受的库仑引力也大。如果只有一个电子，电子的能量与原子序数的平方成比例，如氢原子就是那样。其能量与量子数 n 的平方成反比。然而，原子内如有多个电子，电子间还有库仑斥力的作用，与氢原子比较，电子的能级顺序也有差别。



虽然原子内有时有多个电子，但填入某一确定轨道的电子数目是一定的，即一个轨道不可能容纳所有的电子。如能量最低的 $n=1$ 轨道，只需两个电子就能将其填满。填满 $n=2$ 轨道需要 8 个电子。电子等基本粒子遵从泡利不相容原理，即“在量子数确定的轨道上填充确定数目的电子”。

依据泡利不相容原理，轨道从低能级依次向高能级填充。作为决定原子及顺次的量子数必须结合主量子数 n 和内量子数

进入轨道的电子数被限制

j 。塞曼效应指出内量子数为 j 的轨道有 $2j$

$+1$ 个轨道能级，它们也只能填充这么多电子。如原子序数为 2 的氦原子中， $n=1$ 轨道中填入 2 个电子即满；原子序数为 3 的锂原子，由于第 3 个电子不能填入 $n=1$ 的轨道，而是如图填入下一级轨道。随着原子序数增加依次填满轨道，10 号的氖（如图所示）， $n=2$ 的轨道充满后，以后随着原子序数的增加依次填满 $n=3, 4, \dots$ 的电子轨道。

知识点

泡利不相容原理

指在原子中不能容纳运动状态完全相同的电子。又称泡利原子、不



相容原理。一个原子中不可能有电子层、电子亚层、电子云伸展方向和自旋方向完全相同的两个电子。如氦原子的两个电子，都在第一层(K层)，电子云形状是球形对称，只有一种完全相同伸展的方向，自旋方向必然相反。每一轨道中只能容纳自旋相反的两个电子，每个电子层中可能容纳轨道数是 n^2 个，每层最多容纳电子数是 $2n^2$ 。

延伸阅读

卢瑟福简介

卢瑟福 1871 年 8 月 30 日生于新西兰纳尔逊的一个手工业工人家庭，并在新西兰长大。他进入新西兰的坎特伯雷学院学习。23 岁时获得了三个学位(文学学士、文学硕士、理学学士)。1895 年在新西兰大学毕业后，获得英国剑桥大学的奖学金进入卡文迪许实验室，成为汤姆逊的研究生。他提出了原子结构的行星模型，为原子结构的研究作出很大的贡献。

1898 年，在汤姆逊的推荐下，担任加拿大麦吉尔大学的物理学教授。他在那儿呆了 9 年。于 1907 年返回英国出任曼彻斯特大学的物理系主任。1919 年接替退休的汤姆逊，担任卡文迪许实验室主任。1925 年当选为英国皇家学会主席。1931 年受封为纳尔逊男爵，1937 年 10 月 19 日因病在剑桥逝世，与牛顿和法拉第并排安葬，享年 66 岁。

当人们评论卢瑟福的成就时，总要提到他“桃李满天下”。在卢瑟福的悉心培养下，他的学生和助手有多人获得了诺贝尔奖：

1921 年，卢瑟福的助手索迪获诺贝尔化学奖；1922 年，卢瑟福的学生阿斯顿获诺贝尔化学奖；1922 年，卢瑟福的学生玻尔获诺贝尔物理学奖；1927 年，卢瑟福的助手威尔逊获诺贝尔物理学奖；1935 年，卢瑟福的学生查德威克获诺贝尔物理学奖；1948 年，卢瑟福的助手布莱克特获诺贝尔物理学奖；1951 年，卢瑟福的学生科克拉夫特和瓦耳顿，共同获得诺贝尔物理学奖；1978 年，卢瑟福的学生卡皮茨获诺贝尔物理学奖。

人类对元素的认识

我国古代对元素的认识

大约在公元前 900 年前后，我国西周时代的《易经》中有这样几句话：“易有太极，是生两仪，两仪生四象，四象生八卦。”这是一个以“太极”为中心的世界创造说。

到公元前 403 至公元前 221 年，我国战国时代又出现一些万物本源的论说，如《老子道德经》中写道：“道生一，一生二，二生三，三生万物”。又如《管子·水地》中说：“水者，何也？万物之本原也。”

我国的五行学说是具有实物意义的，但有时又表现为基本性质。我国的五行学说最早出现在战国末年的《尚书》中，原文是：“五行：一曰水，二曰火，三曰木，四曰金，五曰土。水曰润下，火曰炎上，木曰曲直，金曰从革，土曰稼穡”。

译成今天的语言是：“五行：一是水，二是火，三是木，四是金，五是土。水的性质润物而向下，火的性质燃烧而向上，木的性质可曲可直，金的性质可以熔铸改造，土的性质可以耕种收获。”

在稍后的《国语》中，五行较明显地表示了万物原始的概念。原文是：“夫和实生物，同则不继。以他平他谓之和，故能丰长而物生之。若以

同稗同，尽乃弃矣。故先王以土与金、木、水、火杂以成百物。”

译文是：“和谐才是创造事物的原则，同一是不能连续不断永远长有的。把许多不同的东西结合在一起而使它们得到平衡，这叫做和谐，所以能够使物质丰盛而成长起来。如果以相同的东西加合在一起，便会被抛弃了。所以，过去的帝王用土和金、木、水、火相互结合造成万物。”



我国的五行学说