

自然科学丛书

Ziran Kexue congshu

主编★黄勇

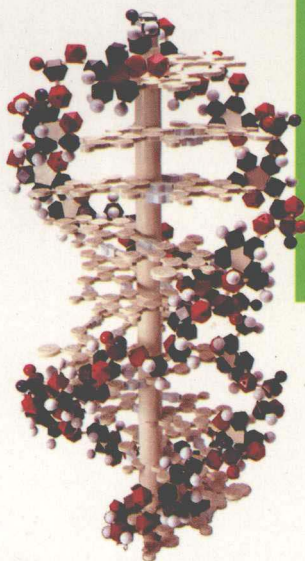
物理化学

探索物质世界(下)

物理学是研究宇宙间物质存在的基本形式、性质、运动和转化、内部结构等方面，从而认识这些结构的组成元素及其相互作用、运动和转化的基本规律的科学。

化学是研究物质的。

世界上那形形色色的物质，它们的构成，都是化学要研究的问题。



物理化学

——探索物质世界

主编 黄 勇

(下)

内蒙古人民出版社

图书在版编目(CIP)数据

物理化学:探索物质世界. 下册/黄勇主编. —呼和浩特:内蒙古人民出版社, 2007. 12

(自然科学丛书)

ISBN 978 - 7 - 204 - 09336 - 6

I. 物... II. 黄... III. 物理化学-普及读物
IV. 064-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 194260 号

自然科学丛书

黄 勇 主编

责任编辑:王继雄

封面设计:烽火视觉

出版发行:内蒙古人民出版社

地 址:呼和浩特市新城区新华东街祥泰大厦

印 制:北京海德伟业印务有限公司

经 销:新华书店

开 本:787 × 1092 1/32

印 张:120

字 数:1440 千字

版 次:2008 年 1 月第一版

印 次:2008 年 1 月第一次印刷

印 数:1 - 5000 (套)

书 号:ISBN 978 - 7 - 204 - 09336 - 6/Z · 525

定 价:595.20 元(全 24 册)

如出现印装质量问题,请与我社联系。

联系电话:(0471) 4971562 4971659

化学园地

物质世界的根本

化学是研究物质的。世界上那形形色色的物质，是由什么构成的呢？这个自然科学中最根本的问题，在古代就引起了人们的注意。

公元前4世纪，我国的大学问家庄子就说过：“一尺之棰，日取其半，万世不竭。”意思是说，一尺长的短棍，若每天截取一半的话，是永远也截取不完的。这就是说，物质是无限可以分割的。另一位大学问家墨子，则认为物质不是无限可分的，分到最后总有个“端”，到了“端”也就不能再分割了。

古希腊的哲学家德谟克里特（公元前460—前370年），对于物质的构成曾作过细心的研究。他是对大量的自然现象加以分析和推测，而得出结论的。当他看到植物在粪土上生长特别旺盛的时候，就在想：是不是粪土中的什么小微粒进到植物中去了呢？当他发现盐溶在水里以后，盐不见了，水却有了咸味，就在想：是不是盐的细小微粒分散在水里去了呢？当他见到鱼在水里游动时，他就断定：水这种物质必定是由水的微粒构成的。只有这样，当鱼游过来时，水微粒便向两边散开，鱼才会自由地游来游去。从这些自然现象中，他得出了这样的结论：物质都是由一些坚硬的、不可再分的

微粒构成的。他把这种小微粒称作原子（希腊文的原意，就是不可再分的意思）。这就是历史上最早提出的原子概念。

但是，德漠克里特的这种朴素的古代原子论提出后，并未得到应有的重视和发展。在当时的社会条件下，统治者极力宣扬宗教的信条，以“神意”、“天意”、“上帝造物”来解释自然界的存在，当然就不能允许有什么“原子论”的 existence 了。德漠克里特的许多有科学价值的著作，也被烧毁了。从此，人类对物质结构的认识，便经历了一条漫长而曲折的道路。

在古代，由于人们不知道物质到底是由什么构成的，因而也就不能正确了解物质发生变化的规律。于是，许多人就妄想把普通的金属或矿石烧一烧变成贵重的黄金，或是变成能使人长生不老的“仙丹”。这就是历史上的“炼金术”和“炼丹术”。

今天，当人们听到这些，一定会觉得荒唐可笑。可在那时，这些说法却真的打动了那些统治者的心，就连那些最虔诚的教徒，一想到发财和长寿，也都坐不住了。于是，不论在豪华的宫院中，还是在肃穆的教堂里，都升起了炉火，大搞炼金术和炼丹术。这一时期，在历史上竟持续了一千多年。最终是一炉黄金也未炼成，而有些急于祈求长寿的人，大胆地吞服了一点炼丹“半成品”，却都提前丧了命。在我国唐、宋两朝是金丹术的鼎盛时期。据文献记载，唐朝因服丹药而致死者大有人在。

从科学上看，炼金术士们的幻想，的确是愚蠢的。但是，我们还不能把这上千年的炼金时代，看作是一个完全愚蠢的时代。因为，在这漫长的年代里，确实也为人类积累了

不少化学知识。而这些知识的积累，恰恰又为结束这个时代创造了条件。

到了 17 世纪中叶，科学的元素概念终于诞生了。这是著名的英国化学家波义耳在他的名著《怀疑派化学家》中提出的。在这本书里，波义耳以大量的实验事实，批驳了当时盛行的支持炼金术的“四元素说”和“三元素说”，明确指出，元素是简单的、原始的、纯净的物质，是用化学方法不能再分解的实物。这个论述虽很简单，但它打破了炼金术士们的幻想，说明了用熔炼的化学方法，把普通金属变为黄金是不可能的。这一论述宣告了炼金时代的结束，使化学走上了科学的途径，是化学发展史上的一个重要的里程碑。

波义耳的元素概念是科学的，但限于当时的实验条件，还不能完全分辨哪些是元素，哪些不是元素。许多科学家，也包括波义耳本人，都错误地把燃烧时发出的火光当成了元素，并导致后来出现了“燃素学说”。这一学说又是怎样解释燃烧现象的呢？

化学元素

在自然界里，物质种类繁多、性质各异。但是，组成这些物质的基本成分——化学元素却数目有限。到 20 世纪 80 年代末期，全世界已经发现和人工合成的化学元素总共有 109 种，其中天然存在的 94 种，人工合成的 15 种。

从古至今，科学家和哲学家一直在探讨物质的组成，寻找什么是化学元素。古希腊哲学家认为空气、水、火、土是组成世界万物的四种元素。中世纪后期，炼金术士熟练地进

行一些化学实验时，又提出了硫、汞、盐三元素说。

1661 年英国化学家玻意耳首次提出化学元素的科学定义：不由其他物质构成的、一般化学方法不能再分解为更简单的某些实物。1798 年，法国化学家拉瓦锡列出了第一张化学元素表，其中有些化合物和混和物也包括进去了。到 1803 年，英国化学家道尔顿提出了原子说，指出化学元素的原子属性，把同种原子称为元素。

20 世纪初，科学家发现了原子核由质子和中子组成，还发现了同位素，并认识到，化学元素是具有相同核电荷数（质子数）的同一类原子的总称。

1969 年，用电子显微镜观察到元素铀和钍的单个原子，核很小，它由质子和中子组成，质子带正电，中子不带电，质子数就是核电荷数。原子直径为 10^{-8} 厘米，而核是它的万分之一；原子的质量集中在核，电子只有核的二千分之一。

元素的化学性质主要与原子核外电子数目和排布方式有关，特别是最外层电子的多少和能量高低，基本上决定了该元素的化学性质。

当把各种化学元素按核电荷数增加的顺序排列时，就会出现物理、化学性质周期性变化的规律，这就是元素周期律。按此顺序和规律列成的表就是元素周期表。化学元素按物理化学性质可分为金属元素和非金属元素，其中原子数大于 83 的天然元素都具有放射性。这些元素形成了数百万化合物，构成了整个世界。

探索化学元素的起源和形成是一个既古老又新鲜的问题。关于化学元素起源的理论要能够说明现在宇宙中各种化学元素的丰度，也就是说，元素及其同位素的分布规律，不

仅与原子结构有关，而且与元素的起源和演化相联。

早期的化学元素起源假说有平衡过程、中子俘获、聚中子裂变等，它们都试图用单一过程解释全部元素的形成原因，结果是顾此失彼，不能自圆其说。1957 年，伯比奇夫妇、福勒和霍伊尔以宇宙的元素丰度为基础，推出了元素在恒星中合成的元素起源假说，简称 B^2FH （四位科学家姓名的英文字头）理论。这一理论认为，所有的化学元素并非通过单一过程一次形成，而是由氢通过与恒星不同演化阶段相应的 4 个过程逐步合成的，然后由恒星抛到宇宙空间，就是我们观测到的化学元素及其同位素。

1. 氢燃烧温度高于 700 万度条件下，每 4 个氢核聚变为 1 个氦核。

2. 氦燃烧：在温度高于 1000 万度条件下，由氦核聚变为碳-12 核和氧-16 核等。

3. α 过程： α 粒子与氮-20 相继反应生成镁、硅、硫、氩等。

4. 平衡过程：温度高、密度高的条件下，生成钒、铬、锰、铁、钴、镍等。

5. 慢中子俘获过程。

6. 快中子俘获过程：5 和 6 生成比铁系更重的元素。

7. 质子俘获过程：生成一些低丰度、富质子同位素。

8. X 过程：生成重氢、锂、铍、硼等低丰度轻元素。

B^2FH 理论不断得到原子核物理、天体物理和宇宙化学等方面新成果的补充和修正。主要是温度 6000 万至 4 亿度发生碳、氧和硅燃烧过程，解释氮至硅、硅至钙和铁等元素的丰度；大爆炸宇宙学认为，宇宙早期温度很高，生成大量

氦，解释氦在许多天体上丰度大的原因；用宇宙粒子碰撞星际空间的碳-12、氮-14、氧-16、氖-20等原子，并使其碎裂，来说明锂、铍、硼等轻元素的丰度。

当今，大多数科学家都接受质子聚变（氢聚变成氦，再形成锂、硼等轻元素）和中子俘获（氦轰击轻原子产生中子，轻元素原子核俘获中形成较重元素）是宇宙形成化学元素的两个主要过程，直到今天，这两种过程仍在恒星内部继续合成各种化学元素。

放射性元素

1896年，法国科学家贝可勒尔研究硫酸双氧铀钾盐的荧光现象，想知道其中是否有X射线。他把铀盐放在用黑纸包起来的照相底片上，让太阳光的紫外线照射铀盐激发荧光，如果该荧光中含有X射线，就会穿过黑纸使照相底片感光，结果感光了，贝可勒尔以为是X射线的作用。可是，有一次连续几天阴雨不见太阳，他的实验无法重复进行，把铀盐的黑纸包着的照相底片放进抽屉里，过几天他冲洗底片发现已被强烈辐射作用变得很黑。于是发现了铀的放射性，对人类认识微观世界，特别是原子核做出很大贡献。

放射性是原子核自发地放射出某些射线的现象，这些射线主要有 α 、 β 和 γ ，还有正电子、质子、中子、中微子等。 α 射线是高速运动的带正电荷的氦核粒子，它电离作用大，贯穿本领小，穿不过一张薄纸； β 射线是高速运动的电子流，电离作用小，穿不透一张薄金属片； γ 射线是波长很短的电磁波，电离作用小而贯穿能力强，可穿透1厘米厚的铅

板。现在已经知道许多天然和人工合成的同位素都具有放射性，能自发放射出射线的同位素（现在常叫核素）称为放射性同位素（核素），也叫不稳定同位素（核素）。化学上把一种元素通过放射线变成另一种元素的现象称为放射性衰变，例如，铀-235 经过 11 次连续衰变，最后变为铅-207 这种稳定同位素。

实验表明，温度、压力、磁场、化学催化剂等，都不能影响同位素的放射性。因为这些因素只能引起原子核外电子状态的变化，而放射现象是由于原子核内部各粒子（核子）组成，相互作用和变化所引起的。长期以来人们一直在探索放射性核素自发产生射线的原因和微观机制（过程）。

现已知道，组成原子核的中子、质子等统称为核子，核子通过核力相互作用形成原子核。核力是很复杂的相互作用，核力是一种近程力，两个核子相距 $2 \sim 5$ 费米（1 费米为 10^{-15} 米）时彼此为弱吸引力； $1 \sim 2$ 费米时是强吸引力，比质子间的库仑力大得多，足以克服质子间的库仑排斥力； $0.4 \sim 0.5$ 费米时是排斥力。放射现象与衰变过程有关，在 α 放射时，衰变过程是由原子核通过强相互作用和隧道效应发射 α 粒子而发生的。 β 放射伴随着 β 衰变过程，它分为三种类型，一是放出电子和反中微子的；二是放出正电子和中微子的；三是俘获一个轨道电子并放出一个中微子。 β 衰变是通过弱相互作用而发生的。

超铀元素

在化学元素周期表中，第 92 号元素铀以后的化学元素

称为超铀元素。迄今所发现的绝大部分超铀元素都是人工合成的放射性元素。

20 世纪 30 年代，元素周期表中最后一个元素是铀。1934 年美国科学家费米认为铀不是元素周期表的终点，而存在原子序大于 92 的超铀元素。1940 年，美国科学家麦克米伦等利用中子照射氧化铀薄片，发现了第一个人工合成的超铀元素——93 号元素镎，从此开始了人工合成超铀元素的新时代。紧接着美国化学家西博格又发现的第 94 号元素钚，他们两人都因对超铀元素的研究和发现而荣获 1951 年度诺贝尔化学奖。

后来发现，镎和钚在自然界中也存在，主要是在铀矿中。然而，天然铀矿中的镎和钚含量极其微小，供研究和应用的全部超铀元素都由人工方法合成，其主要途径有两大类核反应。一类是中子俘获反应，利用铀为起始核，通过一次或几次俘获中子的核反应，再经一次或几次 β 衰变，使铀核电荷——原子序增加一或几，获得超铀元素。例如核反应堆中铀经中子俘获和 β 衰变生成钚，再进而生成 95 号元素镅和 96 号元素锔等；核爆炸时极高通量的脉冲中子使铀多次俘获中子，并连续多次 β 衰变，生成比铀原子序大许多的超铀元素，直到 99 号元素镱和 100 号元素镭。

另一类是带电子粒子核反应，加速器产生的高能粒子轰击做为靶子的元素，形成激发态的复合核，然后失去一定数目的中子，即合成比做为靶的元素更重的元素。例如，用加速到 85 兆电子伏的氮离子轰击 60 微克的铜 - 294 靶，制得第 105 号元素。

人工合成超铀元素，原子序越大，自发裂变几率越大，

半衰期越短。101 号元素镅同位素中半衰期最长的为 56 天，而 106 号和 107 号元素半衰期不到一秒，这给重元素的人工合成的鉴定带来很大困难。目前，世界上人工合成铀每年达数吨，镓、锗、铜年产量达数公斤，镅仅为数克，对原子序大于 100 的元素合成，产物少得可怜，一次实验往往仅能产生几十个甚至几个原子。例如，1955 年第一次合成钷时，用 α 粒子轰击第 99 号元素镱-253 原子，三个小时才产生 1 个钷-256 原子。好在科学家们已经掌握了非常高超的辐射探测技术和仪器，他们在仪器上装了一个警铃，只要有一个钷原子生成，它衰变时放射出的标识辐射就会使警铃发出很响的声音，证明它的存在。

从 1940 年以后，已经用人工合成的方法制得了从第 93 号到 109 号的 17 个超铀元素，约 160 多种同位素，其中美国、前苏联和欧洲的一些科学家做出的贡献最多。

人工合成的超铀元素对核能的发展和利用有重要意义，铀-293 是核反应堆和核电站的重要燃料，铀-238 用于制造心脏起搏器，镅-252 是理想的自发裂变中子源。此外，人工合成超铀元素对探索元素起源、扩展元素周期表、研究物质结构和星体起源和天体演化等都有重要意义。

化学元素的“指纹”

世界上没有哪两个人会有相同的指纹；并且，一个人的指纹，从生到死，终身不变。所以，指纹是区别每一个人最准确最可靠的依据。

化学元素也有自己的“指纹”。科学家们就是通过元素

“指纹”来鉴别它们。那么，什么是元素的“指纹”呢？德国的化学家本生发现各种金属及其盐类在火焰中呈现特有的颜色。以后，他又与德国物理学家基尔霍夫密切合作，发现金属及其盐类的火焰光透过三棱镜后被分成若干条不同颜色的线：每种元素的色线都按一定顺序排列在固定的位置上，就是几种盐混合以后进行的灼热，其中各种元素特有的彩色线条和位置不变。因此，他想，这些彩色线条的排列位置就是元素的鲜明标志，如同人的“指纹”一样。科学家就是根据元素特有的彩色线条和固定位置的性质，来进行物质成分的分析，这种方法就是光谱分析法。

光谱分析法对于化学这门学科的发展有着举足轻重的作用。它显示出极大的优越性，并在科研和生产中得到迅速推广。许多化学家都把它作为寻找新元素的法宝。铯、铷、铊、铟、钽、锆等元素都是采用光谱分析法这个法宝发现的。1868年法国的科学家也是采用光谱分析法，从远离地球1.5亿公里的太阳上发现了氦元素。

光谱分析是分析化学工作者有利的武器，是一种相当精细的分析方法。这种方法不需要与被测物质直接接触，哪怕只有1/30亿克的微量物质，也能测定出来，比一般的化学分析精确，而且快100多倍。现在，光谱分析法在激光和电子计算机技术的帮助下，使之臻于完善，在现代的生产和科研上成为科学工作者的得力助手，发挥着巨大作用。

惰性元素

1868年8月18日，德国天文学家简孙利用日全食观察

太阳光谱，从分光镜中发现了太阳光谱中有一条与钠 D 线不在同一位置的黄线，简孙据此断定太阳上有一种地球上尚未发现的元素，命名为氦（拉丁文原意“太阳”）。此后，在 1888 年至 1890 年间，美国化学家赫列布莱得用硫酸处理一种铀矿，获得氦气，然而他却误认为是氮气。一直到 1895 年英国化学家雷塞姆确认，赫列布莱得认为的氮气是氦。

1785 年卡文迪许做氧、氮化合实验时，最终残留了 1% 的气体（氩元素），当时未引起人们的注意。1892 年英国物理学家雷莱怀疑空气中含有尚未发现的较重气体。1894 年雷塞姆断定雷莱怀疑空气中存在的较重气体为一种新元素，定名为氩（拉丁文原意是“不活动”）。

氖、氦、氙三种元素的发现，是雷塞姆根据周期律设想它们还属于当时周期表尚未设立的一族，并预料在氦和氩之间有尚未发现的元素。1898 年，他在几天之内相继发现了氖、氦、氙三种元素。

1900 年，道纳发现氡。

化学家们发现了氦、氖、氩、氙、氡这些元素，依照惯例，需要进行化学性质的实验。可是，令人奇怪的是，当时，已知的几十种元素都能和其他物质发生化学反应，惟独这几种元素酸碱不吃，火烧不着，他们用尽浑身解数，也奈何不了它。因此，出于无可奈何，化学家们把它们几位一概都称为惰性元素。在其后的一段时间，人们又发现惰性元素具有饱和电子层结构，所以在一般情况下不显化学活动性，因此，它们的惰性又找到了理论根据。

1962 年英国血统的加拿大化学家巴特利特，从六氟化铂化学物质急需电子这种特性上去思考，惰性元素的最外层电

子是最多的，六氟化铂就有较大可能夺取惰性元素外层的电子。根据这一构思，他把六氟化铂与惰性元素氙进行化合实验，得到了第一个化合物——六氟化铂氙。巴特利特首战告捷，鼓励了许多科学家在新物质探索中进行勇敢探索，惰性元素的化合物一个又一个问世。氟化物、氧化物、四氟氧化氙等相继问世。现在，连惰性元素的酸和盐，如氙酸、高氙酸钠也居然制造出来了。

人们为什么要破坏惰性元素的惰性，花很大力气制造惰性元素的化合物呢？因为惰性元素化合物的化学性质很活泼，能夺取卤素离子中的电子，因此它是一种强氧化剂或氟化剂。科学家们在火箭系统中把惰性元素的化合物作高能氧化剂，在有机合成上作催化剂。随着科学技术的发展，我们相信，将会有更多的惰性元素化合物出现，如果再叫它们为惰性元素已经不准确了。

元素周期律和元素周期表

元素周期律和元素周期表，揭示了元素之间的内在联系，反映了元素性质与它的原子结构的关系，在哲学、自然科学，生产实践各方面，都有极为重要的意义。

在哲学方面，元素周期律揭示了元素原子核电荷数递增引起元素性质发生周期性变化的客观事实，从自然科学上有力地论证了事物变化从量变到质变的规律性。元素周期表是元素周期律的具体表现形式，它把元素纳入一个系统内，反映了元素间的内在联系，破除了曾经认为元素是互相孤立的形而上学观点。通过元素周期律和周期表的学习，可以加深

对物质世界对立统一规律的认识。

在自然科学方面，周期表为发展物质结构理论提供了客观依据。原子的电子层结构与元素周期表有着密切关系，周期表为指导发现新元素、合成新元素，预测新元素的结构和性质提供了可靠的线索。元素周期律和周期表在自然科学的许多部门，首先是化学，物理学，生物学，地球化学等方面，都是重要的工具。

在生产科研的应用上，由于在周期表中位置相近的元素其化学性质亦相似，这就启发人们在周期表中一定的区域内寻找新的物质。诸如：

①半导体材料都是周期表里金属与非金属交界处的元素，比如：Si、Se、Ge、Ca 等。

②催化剂的选择：人们在科研和生产中，已发现过渡元素对许多化学反应有良好的催化作用，过渡元素的催化作用与它们的原子的 d 轨道未充满电子有关。于是，人们努力在过渡元素（包括稀土元素）中寻找各种优良催化剂。比如：石油化工方面，像石油的催化裂化、重整等反应，广泛采用过渡元素作催化剂；用铁、镍熔剂作催化剂，使石墨在高压和高温下转化为金刚石；特别是近年来发现少量稀土元素，能大大改善催化剂的性能。

③农药多数是含 As、Cl、S、N、P 等元素的化合物。

④矿物的寻找：地球上化学元素的分布与它们在周期表中的位置有关。科学研究和科学实验发现：原子量较小的元素在地壳中含量较多，原子量较大的元素在地壳中含量较少；奇数原子序数的元素较小，偶数原子序数的元素较多。处于岩石深处的元素多数表现为低价，处于地球表面的元素

多数表现为高价；碱金属一般是强烈的亲石元素，主要富集于岩石圈的最上部；熔点、离子半径、电负性大小相近的元素往往共生在一起，同处于一种矿石中。在岩浆演化过程中，电负性小的、离子半径较小的、熔点较高的元素和化合物往往首先析出，形成晶体，分布在地壳的外表面。有的科学工作者将周期表中性质相似的元素分为十个区域，并认为同一区域的元素往往是伴生矿，这对探矿，找矿具有指导意义。

⑤耐高温、耐腐蚀的特种合金材料的制取：在周期表里从ⅢB（第三副族）到ⅥB（第六副族）的过渡元素，如铬、钼、钨、钛、钽，具有耐腐蚀、耐高温等特点。它们是制造特种合金的良好材料，是制造飞机、坦克、导弹、火箭、宇宙飞船等的不可缺少的金属。

同位素——揭示元素新奥秘

1910年，科学家约翰·汤姆逊发现：带电气体原子（离子）受电场或磁场影响发生偏转时，能够对它们的质量加以测定。在同一个正电荷的作用下，较轻的原子比较重的原子更大地偏离它们的轨道，正如从旁边刮来的风，把乒乓球吹离轨道的距离比同样体积但更重一些的橡皮球更远一些。汤姆逊采用这个办法能比以往更加精确地测定不同元素的原子量。

汤姆逊让偏转的气体离子（带正电的气体原子）落在照相底片上。在洗印底片时，他发现离子触及的地方有一道黑线。当他开始测定惰性气体氖的原子量时——照以往方式计