

自然百科

《图文版》

宋 涛◎主编

辽海出版社

图
文
版

自然百科

宋 涛◎主编

中



辽海出版社

三、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，德谟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”的存在了。德谟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B²FH（四位科学家姓名的英文字母头）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 粒子与氦-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。

B²FH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，解释氦至硅、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，生成大量氢，解释氢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、氦-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子形成较重元素）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 2~5 费米（1 费米为 10^{-15} 米）时彼此为弱吸引力；1~2 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；0.4~0.5 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 号元素锿和 100 号元素镄。

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，世界上人工合成钚每年达数吨，镎、镅、锔年产量达数公斤，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年第一次合成钔时，用 α 粒子轰击第99号元素锿-253原子，三个小时才产生1个钔-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，只要有一个钔原子生成，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，钚-239是核反应堆和核电站的重要燃料，钚-238用于制造心脏起搏器，镅-241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、铊、铯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”）。

氦、氩、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氦、氩、氙三种元素。

1900年，道纳发现氡。

化学家们发现了氦、氩、氪、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。

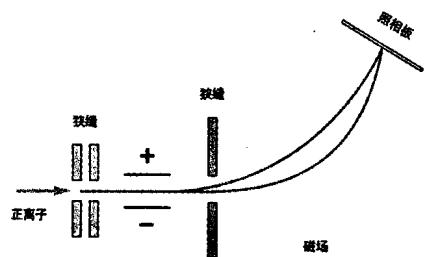
同位素——揭示元素新奥秘

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——照以往方式计算，其原子量是 20.2。而这次发现底片上有两道黑线。第一道表明原子量是 20，第二道表明原子量是 22。这是一个惊人的发现：以往人们总认为同一个元素的所有原子是完全相同的，现在看来，氖元素是由两种原子构成的，它们被确定具有相同的化学性能，但是重量不等，因此具有不同的原子量。这就是同位素。

后来，英国放射化学家、牛津大学教授索迪根据以上实验事实，提出了以下假设：“存在有原子量和放射性不同但物理和化学性质完全相同的化学元素的变种，这些变种应该处于元素周期表的同一个位置上，因此把它们命名为同位素（指同一个位置）。”同位素的发现，使元素周期表的范围扩大了许多，使人类认识并可以利用的化学元素的实际数量增加了很多倍。因此，同位素的发现被认为是 20 世纪自然科学的重要成果之一。索迪也因此而获得了 1921 年诺贝尔化学奖。



阿斯頓利用质谱仪研究同位素，发现氖、氩、氦、氯等元素都有同位素存在

过了一年之后，随着更多的放射性同位素的出现，索迪进一步指出：“一种化学元素有两种或两种以上的同位素变种的存在可能是普遍现象，也就是说，非放射性元素也会有几种稳定的同位素。但是，要识别稳定同位素，就需要找到一种能将质量不同的同位素彼此分离并分别称量的方法。”

1919 年，索迪提出的难题由英国物理学家、剑桥大学教授阿斯頓解决了。他设计了一台质谱仪。

阿斯頓利用质谱仪研究同位素，发现氖、氩、氦、氯等元素都有同位素存在。随后，他又在 71 种元素中发现了 202 种同位素。同位素用途很广，大致可分为两类。一类是利用其辐射、核磁矩等核性质，一类是基于同一元素所有同位素化学性质相同这一事实。因此，阿斯頓被世人称为“同位素猎手”。

放射性元素

1896 年，在法国物理学家贝克勒尔的实验室里，发生了一件怪事：抽屉里的一卷包得好好的照相胶片，莫名其妙地感光了；旁边的一瓶荧光物质——硫化锌，也“无缘无故”地射出浅绿色的光芒。

这是谁在捣蛋？

贝克勒尔像大海捞针似的开始寻找原因。最后，他的视线落到了抽屉里的一瓶黄色晶体上。谜底终于解开了！经过研究，贝克勒尔发表了论文：这种黄色的晶体——硫酸

铀酰钾，具有一种奇妙的性质：它能发出看不见的射线，使照相胶片感光，使荧光物质发出荧光。

贝克勒尔的研究引起了居里夫人的注意。她与丈夫彼埃尔·居里经过艰苦工作，终于在1898年发现了两种新的元素——钋与镭，它们能够发出比铀更强的放射性射线。于是，人们把铀、钋、镭等能自发放出射线的元素叫做放射性元素。不久，一些天然的和人造的放射性元素，随着科学技术的发展也逐渐被人们一个个地发现。

放射性元素发出的看不见的射线是非常厉害的，当它的强度超过一定程度时，能杀死细胞、损害身体。贝克勒尔自己就吃过“苦头”：一天，他出去讲演，顺手把一管镭盐装在口袋里。可是，过了许多天以后，在曾靠近镭管的皮肤上出现了红斑，原来是镭的射线灼伤了他的皮肤。彼埃尔·居里为了探索放射性元素的秘密，曾拿自己的一个手指做实验：让手指受放射性射线照射，起初发红，随后就出现了溃疡与死肉，经过几个月才完全痊愈。居里详细地记述了这一切。

除了镭以外，现在人们常用钴-60、碘-132、磷-32等放射性元素的射线，来治疗肿瘤病。人们还利用这些放射性元素作“示踪原子”：如果内服或注射极少量的放射性元素，这些射线就能透过身体的表层组织，向外边的“放射性射线指示器”报告它在什么地方。于是，医生就可以知道，你什么地方有病变。放射性物质不仅能用来治病，还可用于生产上，例如示踪原子可以用来测定炼钢过程的时间、合金的结构、水管检漏、勘探地下水等等。

分 子

把一滴红墨水滴在一杯水中，可以看到红颜色不断向四周扩散，很快整杯水变成淡红色；晾着的湿衣服不久就干了；放在衣箱中的“卫生球”，是一种叫“萘”的物质做成的，它会逐渐变小，而箱中的衣物都有它的气味。这些现象都是分子运动的结果。原来，水、萘等物质，都是由很小很小的分子组成的，分子是保持物质性质的最小单位，所以又称它为最小的物质。

自然界中的水，无论是海水、河水、井水，还是雨水，都是由相同的水分子聚集而成的。冰雪则是固态的水，它是由水分子按一定规律排列而形成的。水分子很小很小，喝一瓶汽水，大约要喝进8亿亿亿个水分子。单个的水分子，就是一般的显微镜也观察不到。

分子永远处在不停的运动中。红墨水含有红色的染料，这种染料的分子在水中自由扩散，于是水杯中的水都成为红色的了。湿衣服上的液态水分子扩散到了空气中，衣服就干了，这种现象叫蒸发。固体卫生球的萘分子也能一个个飞入空气中，这种现象叫“升华”。萘的升华，使卫生球越来越小，而萘分子充满了衣箱各个角落，使蛀虫无处藏身。

鼻子能够闻到气味，也是由于物质的分子接触到鼻中的神经细胞。各种不同的分子对嗅觉神经的刺激不同，感觉到的气味也不同。警犬在执行任务时，就是用鼻子不断捕捉罪犯遗留下来的某些分子而追踪罪犯的。有些昆虫能分泌特殊的物质，这些物质的分子随风飘散，在几十里外的同类昆虫用触角收集到这种分子，就会赶来相聚，真比拍电报还灵。

原 子

把一粒砂糖分成两半，每一半仍是砂糖；再分成两半，也还是砂糖。经过多次分割，砂糖粒越分越小，但它总是甜的，其他性质也不变。如果不断分割下去，有没有一个限度呢？这是一个古老的难题。古希腊和古代中国都有两种不同意见的争论。一种认为物质可以无限地分割下去，另一种则相反。两种意见谁也无法说服对方。两千多年后，由于科学家提出了分子和原子概念，这个问题才在一定程度上获得了解决。把一粒砂糖不断地分割，当分割到某种程度时，就不能再分了。如果再继续分下去，得到的就不再是糖，这个极限就是分子。分子若再分割，就是原子，它没有原来物质所具有的性质。

如果把一个水分子再分开，可以分为叫做原子的两部分，两个相同的小原子是氢原子。一个水分子就是由两个氢原子和一个氧原子结合起来的。氧原子和氢原子是比水分子更小的微粒。

世界上的物质有几百万种，分子也就有几百万种。但组成各种分子的原子的种类并不多，绝大多数物质都是由十几种主要原子组成的。例如，水分子中有氧原子，空气中的氧气分子中有氧原子，二氧化碳气体的分子中也有氧原子。氧原子和其他原子相结合就形成不同的分子。我们把水、氧气、二氧化碳以及所有物质中含的氧原子合起来叫做氧元素。世界上数百万种物质的分子，就是由 100 多种元素组成的，而主要是由十几种元素组成的。原子就是保持元素性质的最小微粒，也是化学变化中的最小微粒。

原子结构

俗话说，麻雀虽小，五脏俱全。原子虽然非常小，但内部的构造却很复杂。

我们知道，太阳系的中心是太阳，太阳周围的大小行星在围绕太阳不断运动。原子好像一个太阳系，它的中心，是原子核，在原子核周围，有一定数目的带负电的电子在不断运动。原子核的体积很小，假如把一个原子放大到篮球那么大，原子核也比针尖还小，但是原子核却集中了差不多整个原子的质量。氢原子核是最小的原子核，它的质量是电子质量的 1836 倍。

原子核体积虽小，仍是一个复杂的集体，它由两种更小的微粒组成，这两种微粒是质子和中子。质子和中子的质量相同，质子带正电，中子不带电。不同类原子核中含有不同数目的质子和中子。

氢原子的原子核是最小的原子核，仅由一个质子组成，在氢原子核中没有中子。惰性气体氦的原子核是由两个质子和两个中子组成。氧原子核是由 8 个质子和 8 个中子组成的。

一个原子核中所含质子的数目，叫做核电荷数。核电荷数相同的同一类原子称为一种元素。自然界的各种元素，按它们的核电荷数排列，核电荷数为几就称作第几号元素。例如氢是第一号元素。氦是第二号元素，氧是第八号元素，等等。

氧原子的核电荷数是 8，在原子核外运动的电子也是 8 个，带正电的原子核和带负电的电子相互吸引，形成了原子。原子核的正电荷和电子的负电荷相等，所以整个原子是不带电的。在化学反应中，原子核不发生变化，只是核外的部分电子发生变化。

分子式

化学家已发现 109 种元素，这些元素的原子，以不同的方式结合就产生各种各样的分子。世上万物都是由这些分子组成。例如，水是由水分子组成的，水分子是由一个氧原子和二个氢原子组成。如果用文字来表达物质的组成，不但非常麻烦，而且各国文字不同，很难统一。自从有了化学分子式，世界上就有了统一的化学词汇，如水用 H_2O 表示，就简单多了。

这种化学王国的统一词汇，是许多年研究的成果。现在，我们可以方便地书写物质的分子式了。单质的分子式，是在组成这种单质的元素符号右下角标上原子的个数。如氮气—— N_2 ，氧气—— O_2 ，铜—— Cu 。

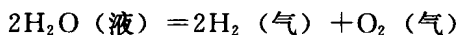
假如是化合物，只要事先知道组成这个化合物一个分子中各原子的个数，然后依据正价原子在前，负价原子在后的原则，分别标上数字即可。如，水分子为 H_2O ，生石灰为 CaO ，盐酸为 HCl 。

有了物质的分子式，成千上万种物质，都可以简洁明了地表示出来，而且全世界通用，学习也更方便了。

化学方程式

化学家用元素符号代表元素，用元素符号的组合——分子式代表各种各样的物质。我们把元素符号和分子式，分别比作英语中的字母和词汇。这比较清晰地表达了元素符号和分子式之间的关系。化学家正是依照这种思想，把分子式用适当的符号（如 +，=）联结而成的句子来表示物质间的化学反应，这好像用词汇组成的语句一样。这样的句子，化学家称之为化学反应方程式。

例如，水分解成氢气和氧气的反应，可用下述的化学反应方程式来表达：



这个化学方程式，如果用文字来表达，那就是：“2 摩尔重 36 克的液态水分解生成 2 摩尔重 4 克的氢气和 1 摩尔重 32 克的氧气”，非常烦琐难读。因此，化学中所采用的化学方程式，与元素符号、分子式一样非常简洁明了，而且全世界通用。

世界上的物质千千万万，它们间的化学反应多种多样。如酒精的分子式为 C_2H_6O ，但这个分子式还可以表示另一种物质——甲醚。因此，只用一个化学方程式还不能完全表达清楚，化学家采用一种以结构式代替分子式表示的化学方程式。再如，水的分解是吸热反应，而氢气燃烧生成水的反应是放热反应，这样，上述的方程式又不能表示，于是化学家就改用一种热化学方程式来正确表达。

化合价

一个分子式告诉我们两件事：一是原子的种类；一是这些原子在化合物中的数目。例如，氯化钙 ($CaCl_2$) 这个分子式告诉我们：它由两种原子——钙和氯组成，而且是一个钙原子和二个氯原子结合起来的。

如果把金属钠放到盛有氯气的容器里，并且加热，那么，容器里就会有氯化钠生成。我们说这两种物质通过化合反应，“化合”成了一种新物质。又如，氯和铁反应则生成氯化铁。化学家们发现，不论在何种情况下，氯气和钠反应，产物总是氯化钠 ($NaCl$)，而氯和镁反应生成的总是氯化镁 ($MgCl_2$)。换句话说，一个氯原子只能和一个钠原子结合，而二个氯原子才能和一个镁原子化合。我们把一个原子能和其他原子相结合的数目，称作它的“化合价”（原子价）。化合价的单位是以氢原子的化合价为标准，由于一个氢原子最多只能跟其他元素的一个原子化合，所以是一价。

元素的化合价还呈现正负性。我们规定氢为+1价，那么，能与之结合的其他元素的化合价呈负价。由于一个氯原子只能与一个氢原子结合，所以氯呈-1价。依此类推，钠呈+1价，铁呈+3价。

化合价还有这样一个规则：甲、乙两种元素化合而成的化合物里，甲元素的化合价总数必然和乙元素的化合价总数相等。以 P_2O_5 （五氧化二磷）为例，在这个分子里，磷的化合价×磷原子数=氧的化合价×氧原子数。弄清了这个关系，就可以根据元素的化合价来书写化合物的分子式了。例如，已经知道氧是-2价，铝是+3价，要写出氧化铝的分子式 Al_2O_3 ，就比较容易了。

“摩尔”指什么

我们买电池、袜子和肥皂等物品时，常常用“打”来计数。“打”是通常使用的数量单位，1打的数量是12。如一打电池就是12节。

在化学上，也有一个类似的数量单位，叫做摩尔，它是用来计量原子、分子等微粒的数量的，好比是化学家的“打”。不过，化学家所用的“打”，代表 6.02×10^{23} ，即1摩尔等于 6.02×10^{23} 个微观粒子，其数值远远大于12。因为，分子、原子等微粒极其微小。例如，1克水中就约含有 3.6×10^{22} 个水分子，1克碳中就有 5.0×10^{22} 个碳原子。这是一个天文数字，书写、记忆都很不方便。假如采用摩尔作计量单位，那么，

就可以说，1克水中约含0.056摩尔的水分子；1克炭中约含有0.083摩尔碳原子。这就方便多了。因为这个数字是一位名叫阿伏伽德罗的科学家提出的，所以叫做阿伏伽德罗常数。

用摩尔来表示物质的量，也是十分方便的。科学家测得1摩尔（一“打”）的碳原子（指碳-12）的质量正好是12克。从这里推算出1摩尔其他原子的质量也很简单。比如，1摩尔氢原子的质量是1克；1摩尔铁原子的质量是55.85克；1摩尔氧原子是16克等等。这里我们还可以看出，1摩尔任何原子的质量，其数值等于这种原子的原子量。计算分子的质量、离子的质量都一样方便。所以我们可以说，摩尔像一座桥梁，把单个的、肉眼看不见的微粒，同数量很大的微粒集体，以及可以称量的物质之间联系起来了。用摩尔可以直接描述出化学反应中反应物和生成物之间的数量关系。我们说1摩尔碳和1摩尔氧气反应，生成1摩尔二氧化碳。

pH 试纸的用途

化学离不开溶液，溶液有酸碱性之分。检验溶液酸碱性的“尺子”是“广范 pH 试纸”。这是一种现成的试纸，使用时，撕下一条，滴上一滴溶液，从它颜色的变化就可以知道溶液的酸性，十分方便。

这种试纸用处很多。锅炉工人用它来检查锅炉用水的 pH 值，看看它是否会损坏锅炉；电镀工人用它来维持电镀液的 pH 值，不然的话，电镀出来的零件就会报废；化工厂工人更离不开 pH 值试纸，因为它可以帮助工人师傅及时知道化学反应是否完成了，是否达到操作要求了，等等。

酸性在化学中用 pH 表示。pH 是代表溶液中氢离子浓度的一种符号。科学家发现，物质溶解于水后便分离成阴、阳两类离子。物质不同，其水溶液中所含的阴、阳离子也不同。但是，不论何种溶液，总是含有氢离子和氢氧根离子。当溶液中氢离子浓度大于氢氧根离子浓度时，溶液呈酸性，反之，溶液呈碱性。溶液的这种酸性用 pH 这种符号来表示。溶液呈酸性， $\text{pH} < 7$ ，溶液呈碱性， $\text{pH} > 7$ 。pH 值越大，碱性就越大，酸性越小；反之，pH 值越小，碱性就越小，酸性越大。

我们的生命活动与体液的 pH 值息息相关。一个休息着的人体内，血浆液的 pH 值基本上在 7.39—7.41 之间。如果从第一层楼梯跑到第四层楼梯，只用了 50 秒钟，几分钟后血浆的 pH 就会降到 7.2 左右，大约需要 2 小时才能恢复正常。如果在混浊的空气中，二氧化碳含量特别高，人吸入以后，血液里的二氧化碳含量增高，酸性就会增大，pH 值降低，容易发生酸中毒，使人感到恶心，头晕。严重时会发生呕吐，甚至昏倒。还有一种相反的情况是，婴儿由于啼哭不停，肺部通风过度，损失了大量的二氧化碳，血液中的 pH 值逐渐增高，时间一长，又会出现碱中毒，使手足抽搐，连哭也哭不出来。

化学合成物

很早很早以前，中国就有“炼金术”、“炼丹术”，古代人企图人工制造黄金，炼出“长生不老”的仙丹，结果当然没有成功。到了15世纪，欧洲人把炼金技术与化学知识结合起来，才诞生了医药化学，使几千年的炼金术走上了化学这个康庄大道。

化学发展起来以后，化学家开始了物质理论的探讨。他们发现生机盎然的五彩世界，其实只是由为数不多的几十种元素，以不同的方式组合而成的，人们可以用一些物质通过化学反应制造另一些物质。于是，化学家开始在实验室里进行这种研究，当制造了一些物质以后，又迅速进行工业化生产。到17世纪之后，在现代工业中举足轻重的硫酸、烧碱、合成氨工业便陆续建立了起来。

但是，这些产品都属于无机物。能不能合成有机物——这些以前只能由生命体产生的有机物质呢？在18世纪末19世纪初，有一种称为生命力论的学说，认为人工合成有机物是不可能的。有一位年青的德国化学家维勒经过四年的努力，于1828年合成了尿素这个有机物。维勒的成功使当时的化学家如梦初醒，纷纷加入了人工合成有机物的行列。不久，大批有机物被人们合成了出来。如甘油、柠檬酸、乳酸等等。当石油化工产生后，化学家们作出了更伟大的创举：他们合成的塑料，橡胶和人造纤维。这三大合成材料成为改变人们生活的重大因素。

化学家以自己的才识和技巧，利用一些不太有用甚至根本无用的物质，制造出一个又一个人们十分需要的产品。现在全世界每年新合成的物质达数十万种以上。这些物质，从最简单的无机物，如氨，到高级的复杂的有机物，如胰岛素，无所不包，应有尽有。可以说，化学家创造了一个新的物质世界。

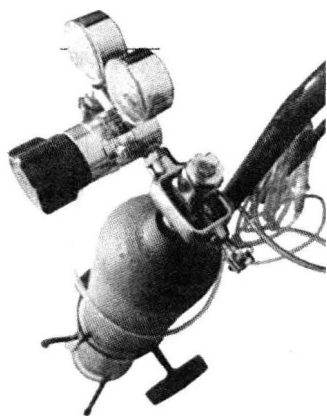
氧气的发现

火与人类的生活密切相关，火的使用是人类进步文明的一个重要标志。希腊神话中说：火是由普罗米修斯从太阳那里盗窃来的。虽然这只是故事，但很久以来人们的确不清楚火究竟是怎么回事，有些物质为什么会燃烧。

到了17世纪，随着冶金工业和化学工业的发展，人们更频繁地使用各种燃烧手段，这就更迫切地需要弄清燃烧的本质。

德国有两位著名的医生贝歇尔和斯塔耳，由于工作需要，他们对燃烧现象进行了系统的观察和研究，于1703年提出了燃素学说。他们认为，一切可燃物如木材、磷、硫等都含有燃素，不可燃物如石块、黄金皆不含燃素。当可燃物燃烧时发出光和热，就被认为是可燃物的燃素逸出，他们依此得到一个公式：

$$\text{可燃物} - \text{燃素} = \text{灰烬}$$



氧气瓶

用这个公式可以轻而易举地解释许多化学现象。纸张、木材、油类之所以易燃，因为它们都含有大量燃素。物质含的燃素越多，燃烧就越旺。油类里含的燃素最多，所以就比木材、纸张燃烧得更剧烈。石头、黄金等不含燃素，所以不能燃烧。但燃素说却无法解释金属灼烧后质量增加这一事实。

在探索燃烧本质的过程中，瑞典化学家舍勒和英国化学家普里斯特列是两位不屈不挠的勇士。

1742年舍勒诞生于瑞典一户贫苦人家，他的兄弟姐妹很多，更增加了家庭经济困难。因无钱上学读书，14岁他便到一家药店当学徒，开始自食其力的生活。但是舍勒聪明好学，又有坚强的意志，在三年学徒中，他自学了当地图书馆里的全部化学书籍。这大大充实了他的基础知识，扩大了他的视野，

使他了解了当时化学研究的一些重大问题。舍勒还有一个很大的优点就是对实验有浓厚的兴趣，非常喜欢动手做实验。他常常将制药中的问题通过实验去解决。

1771年秋季的一天，舍勒在实验室里正埋头做制取硝酸的实验。他把硝石（硝酸钠）和矾油（浓硫酸）放入曲颈甑里进行高温蒸馏，并用盛石灰水的猪尿泡吸收放出来的棕色气体。他无意中把点燃的小蜡烛伸进猪尿泡，可是烛火不但没有熄灭，反而发出耀眼的光芒，这可把舍勒吓了一跳。他苦苦思索，反复实验，结果都一样。于是他得出一个结论：猪尿泡里还有一种未知的无色气体。

舍勒继续用其他药品进行实验，如加热硝石、硝酸汞或把二氧化锰与浓硫酸混合加热，都可以制得能使点着的小蜡烛发出更亮光芒的神奇的气体。舍勒把这种神奇的气体取名为“火气”。接着他又做了许多实验，发现“火气”在空气中也有，且占空气体积的 $\frac{1}{5}$ 。

但由于舍勒受燃素说的影响太深，没能越过陈旧的观念，他把燃烧仍解释为空气中的“火气”与可燃物中“燃素”结合的过程。于是，本可以发现的关于燃烧的新原理却悄悄地溜走了。

无独有偶，正当舍勒精心做自己的实验的时候，英国人普里斯特列也在做他的探索实验。

1733年普里斯特列生于英国黎兹城的郊外。他的父亲是个裁缝，家中生活也很贫困，他一度辍学打工。成年以后，生活迫使他当了一名牧师。艰苦的环境使他养成了许多优良品质，如爱学习，珍惜时光等。1766年，他遇见了著名美国物理学家富兰克林，受其教诲，决心献身自然科学的研究，从此他对空气产生了兴趣。

1774年8月1日上午，天气特别好，晴空无云，他的实验室也显得格外明亮。他的心情特别愉快，因为他前一天刚收到朋友瓦尔泰尔送来的一包红色三仙丹（氧化汞），他想用聚焦太阳光来分解它。



空气中有氧才能维持我们的生命