

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

世界科技全景百卷书 (39)

化学大发现



化学大发现

对汞的早期认识

金属汞和汞的化合物具有特殊和奇妙的化学性质，曾经对化学知识的萌芽产生过极大的影响。这种化学元素及其性质对于古代的人曾有过很强的魅力，尤其是在炼金术方面，在他们那些建立在空想主义基础上的“点石成金”的幻想中，汞曾经扮演了一个非常重要的角色。在古代，汞及其化合物也曾被看作是带有神秘色彩的治百病的良药，甚至还被描绘成能够炼制长生不老的仙丹。然而除了个别的例子（如我国商代曾经利用汞的化合物治癫疾）以外，很少有记载能用这种良药治好疾病的例证，相反，汞及其化合物含有剧毒却常有书记载，用汞来当成药治死人的传说倒是时常有的。

我国是最早使用汞及汞的化合物的国家之一，除了商代用汞的化合物治癫疾以外，根据《史记·秦始皇本纪》记载，在秦始皇墓中就灌入了大量的水银，以为“百川河”，可见当时就已经掌握了水银的提炼方法。我国著名的炼丹家葛洪进行过有关硫化汞的试验，而辰砂（天然硫化汞矿物，也称朱砂）也在很早的时候就被我国民间用做红色颜料。

埃及和希腊也是最早利用汞的国家之一，在发掘出来的公元前的埃及古墓中，曾发现有水银的存在，它是由考古学家希拉曼发现的。在古希腊的文字中，也已经有“液态的银”这个说法。亚里士多德则称汞为水银。

从现存的拉丁文著作中，发现对金属汞及其化合物研究和记载得最为详细的古代科学家当首推希腊的维特鲁维夫斯和普里尼，他们为我们提供了一些最早的有价值的资料，他们描述了如何从矿物中提取金属汞的方法，这就是：

“铅丹（当时的人常常把辰砂误认为铅丹，因为辰砂 HgS 和铅丹 Pb_3O_4 都是红色的）是一种矿物质，人们在采掘这种矿石时，贮存和聚集在矿石缝隙间的水银便会一滴一滴地流下来。另外，由于开采出来的矿石都比较潮湿，需要先把它们投入到炉子中用火烘干，如果将从矿石中蒸发出来的蒸汽冷凝，这时就会发现有水银的液滴，而且当人们将烘干以后的矿石取走以后，便会在炉子的底部发现残剩的水银小液滴。它们是如此的细小，甚至无法收集起来，但是却可以将它们冲刷到一个盛水的容器中，这时，水银就能聚集起来成为一体。”这说明了水银的一个基本性质即水银比水要重很多。

维特鲁维夫斯曾经特别记录了一些有趣的关于水银密度的实验：

“首先将水银放在一个容器内，然后把一块重量为 50 千克的石头放在水银的上面，这时，石头只是漂浮在水银的液面上，而没有沉到水银液体的底部，这充分说明了水银能够承受 50 千克石块的重量，而石块既不会把液体压缩，也不能将液体排开。如果将石块从水银中取出，再放进很少量的黄金，这时黄金却不会在水银的液面上漂浮，而是下沉到容器的底部。这两个实验充分地证明了，放进盛有水银的容器中的各种物体之后所发生的现象并不取决于物体的大小和重量，而是与物体的性质有关。”

这个实验曾是物理学中的一个著名的实验，它使人能够深入地了解什么是“密度”的科学定义，这是有史以来，第一次记载的关于质量与重量之间的区别。

维特鲁维夫斯还是第一个描述汞能和金相互起化学反应以及汞可以用来提取金子的科学家，他对于汞齐作了十分生动有趣的描述，他写道：

“水银可以有多种用途，没有它，就无法在银和黄铜的表面上镀金。另

一方面，当金作为某些器皿的装饰外表已经变得陈旧和没法使用时，可以把这层金箔剥下来，然后放在泥钵中熔炼，再将熔炼后所得到的渣子倒入盛有水和汞的容器中，并将渣子捣碎研磨。这样做了以后，便能使渣子中的金子全部与汞化合，便于把金子都收集起来。然后，把水倒掉，将汞和金的化合物残渣装在一个布袋内，用水挤压使水和汞都通过布的细孔流出来，布袋内便会留下金渣。”

在公元前就已经发现过金汞齐，在我国出土的战国时代的鎏金器物即已说明当时人们已经学会了汞齐的制作方法，而古希腊和古罗马时代也已经用汞齐加工装饰性的包皮。在埃及，曾发现一本被称为“莱顿纸草”的古书，这一点有力地证明了古代已经制得数量可观的各种类型的汞齐，有的制作简单，有的却很复杂，在这些秘方里，其中记载金汞齐的制作方法是：

“金子液体的制备方法：先将金叶和汞放在臼（研钵）内，然后把它们捣碎，这样就制得金液（即金汞齐）。”

在这些原始资料的秘方中并不曾记载过银汞齐的制法，而且从后来的记载中也确知，古代人并没有掌握银汞齐的制法。但是铜与汞能够很好地化合却是早已被古人所掌握的，这种秘方是这样的：

“铜的覆盖法——假若你想要使铜器具有银子的颜色，则只要先将铜器经过纯化（表面纯化）后，放入汞和白铅溶液中，最后只有汞单独地完全地将铜器的表面覆盖了起来。”

当时，锡汞齐也是一种众所周知的化合物，关于它的制备古书中曾这样记载过：

“使铜制的物件具有银白色的外观——用 2drachmas（古希腊的一种重量单位）的锡棒，2drachmas 的汞和 2drachmas bo Chios 土，先将锡熔化后，倒入压碎的土中，然后加入汞，用铁棒搅拌，最后就可将生成的锡汞齐装饰在器具的表面上。”

在这本古书的许多秘方中，还记载着汞与两种或两种以上的金属化合所生成的汞齐，它们可以用来装饰各种物件，使之成为银或琥珀金（金与银的合金）的仿制品，从种类繁多的制作汞齐的方法来看，说明在古代已经具有了制备汞齐的良好工艺。

普里尼关于汞和辰砂（硫化汞矿物）的描述也是很详细的：

“在银的矿脉中人们发现有一种矿石，用它能够产生出一种液体，这种液体被人们称为汞。汞对于我们来说，是一种剧毒药，它能够穿透我们的脉管，并通过脉管对我们起着毒害作用。”

“除了金子以外，所有其他物质都只漂浮在汞的液面上，金子这种物质能被汞所吸引，因此汞是用于精制金子的一种最好的物质。当我们把汞和金子同放在一个陶罐中使劲摇动，汞便能够将混杂在金子中的所有杂质都除去。”

“当汞把金子中的这些多余的杂质都清除掉以后，剩下的事情就是如何将汞和金子分开。为此，人们把汞和金子的混合物倾倒在一只经过很好地鞣制过的皮囊中，然后使汞像一种分泌物那样通过皮囊的细孔渗透出去，最后皮囊里面便留下了纯净的金子。”

很显然，在普里尼所处的时代，汞齐化作用已经是一种人们非常熟悉的科学方法了。从普里尼的描述中，我们可以发现古代的人们已经掌握了用过滤的方法作为分离物质的一种手段，像普里尼所描述的把汞放在皮革里

面，施以很大的压力，迫使水银穿过皮革的细孔渗透出去。

普里尼还介绍了从矿石中提取水银的方法，一共有两种：

“一种是从劣质的铅丹（即辰砂）中提取水银的方法，这方法便是将矿石和醋放在臼中，然后用黄铜做的杵捣碎并研磨，就会产生汞。”

第二种方法是：

“将矿石放在一个陶罐中，上面加盖上一个杯形的盖子，然后再在它的上面放一个铁锅，接着用陶土将这一套装置完整地密封起来。准备完毕以后，便在陶罐底下点火，为了能使火焰持久一些，还需要借助于风箱。在操作过程中产生出来的蒸汽需要特别小心地清除掉（因为其中包含有毒的水银蒸汽）。待反应完毕以后，等陶罐冷却再把盖子打开，这时会发现颜色像银子一样的，而且具有流动性的物质沾附在盖子上，这些液体很容易聚集成小球而被收集起来的。”

据记载，这种方法最早可能是由达可赖斯发明的，而他所采用的这种最原始的蒸馏方法恐怕也是有关蒸馏操作的最早记载。

在汞的化合物中，唯一为古人所熟悉的汞盐是辰砂（天然的硫化汞矿物）。在古代，辰砂曾广泛地被用作颜料（涂料）使用，同时也是制取金属汞的原料。辰砂以其鲜艳的颜色吸引着原始人类的注意力。维特鲁维夫斯用了大量的篇幅介绍怎样利用辰砂来达到装饰（涂料）的目的，通常，人们把这种颜料与蜡混合在一起，用于室内的墙壁装饰。

对于现今的化学家来说，有些历史非常让人感兴趣，像其中记载的有关鉴别辰砂这种颜料是否掺假的方法（当时有些人将辰砂和白垩混合起来作颜料，而白垩是一种白色的土，并不像辰砂那样稀有和珍贵）：

“为了识破这种假的骗局，人们便将这种矿物放在一块灼热的铁片上，如果铁片上的矿物由原来的红色转变成黑色，并且当这种被加热了的黑色物质冷却以后，它又重新恢复到原来的颜色（红色），那么我们就能够确信辰砂内没有掺假（即掺入白垩）。”

维特鲁维夫斯解释了这种变化：

“因为将纯的辰砂加热得不是很厉害的话，它就会转变成黑色的物质，然而当它冷却以后，它又会恢复原来的颜色即由黑色转变成红色，尤其是将它磨成粉末以后，红色便更为明显。”

而掺了假的颜料在加热后发生的变化便是这样的：

“在辰砂中如果掺进了白垩，加热以后同样也会变成黑色，然而在冷却后，虽然颜料大部分能恢复原来的红色，但其中的白垩却留下了永远不会变化的黑色的痕迹。”

用现代的化学知识来说明其中发生的反应，乃是因为掺在辰砂里的白垩（氧化钙）受热后与硫化汞发生反应，于是生成了氧化汞，它再受热后又分解产生单质的汞，而在这种条件下生成的单质汞却是黑色的颗粒，而并不像一般的水银那样是银白色的液体。虽然，古代的化学知识很缺乏，人们无法剖析其中的化学原理，但是从现代化学的角度看来，他们判断辰砂颜料是否掺假的方法是完全合乎科学道理的，并且是十分有效的，从这点也可以看到古代人们的智慧非常了不起。

普里尼对于辰砂矿的来源进行了研究，并有过不少记载：

“人们在银矿中可以发现辰砂矿，它是一种当时在人们心目中评价很高的颜料。早期，罗马人就曾经使用辰砂作为寺庙等建筑物的涂料，大多用于

满足宗教上的需要。在埃塞俄比亚这个古国里，辰砂矿曾受到了更高的崇拜，因此人们养成了一种习惯，即用辰砂来为人体染色。

“按照美洲土著的说法，辰砂是卡尔马尼亚的矿产，另一个产地是埃塞俄比亚，这两个地区出产的辰砂曾经输出到罗马和西班牙。”

普里尼详细地描述了汞的毒性，并介绍说古代人早已认识到这一点：

“辰砂矿是有毒的，这个事实早已被人们普遍接受，我认为介绍汞的化合物用作药物的所有秘方都具有非常大的危险性。”

普里尼还详尽的叙述了在生产辰砂颜料的工场里，工人们是怎样防止尘土的毒性的：

“在制备辰砂颜料的工场里，雇工们为了保护自己的脸部，使用宽大的膀胱做成皮囊，以作为防护面罩，它要求透明得足以能够看到周围的东西便可以了。”当时工人们就是利用这种既简单却是很有效的方法，使他们避免吸入这种非常有害的尘土。而普里尼所描绘的面罩可能是一种最古老的防毒面具，是近代的防尘防毒气工具的先驱。

今天，人类已经进入到 20 世纪科学的时代，化学这门科学已经相当发达了，然而当我们回顾古代关于汞的知识时，便能够发现，古代人们所积累的化学知识，仍然是我们今天的知识宝库里不可缺少的部分，现代化学是建立在古代化学知识基础上的，是总结前人的宝贵经验，吸取前人血的教训，才建立起来的一个日趋完善的学科。

发现氧气

中学生学习化学，课堂上第一个看到的大型实验，就是各种物质在氧气中的燃烧。他们在课堂上，从未见过如此精彩、光辉夺目的现象。老师在实验时，那一瓶瓶的氧气是用什么方法收集到的呢？世界上又是谁最先发现了氧气？

大约在 3 亿年前，在地球表面的空气中，就含有跟现在浓度相似的氧气了。虽然地球上有很多的动物呼吸，及人为的和自发的燃烧都在直不停地消耗氧气，但是又有更多的植物在进行光合作用，往空气中补充新鲜的氧气，因此空气中所含氧气的总量及其相对浓度，并没有减少。

氧气是无色、无臭、无味的气体，它在空气中的含量估计约有 1.5×10^{15} 吨，它还取不尽，用不完的总在我们身边存在着，只要你随手拿起个空瓶，其瓶中就含有占体积 21% 的氧气，但要收集到老师在实验时瓶中氧气的浓度，那就不是一件简单的事了。在很久以前曾经是一件很不容易办到的事。

空气不像水、火那样有形有力，常常不容易引起人们的注意，它又是那样的看不见、摸不着，很长一段时间人们都没去研究它的成分，更不知道其中含有氧气这种东西。虽然物理学家们早就用空气做过很多著名的实验，证明物体在空气中运动会受到一定的阻力，证明空气的体积会随压强增大而按一定的规律缩小，证明大气压强的存在，大气压强加在我们身上的力量大得惊人，等等。能够正确的说出空气中都包含有哪些成分，并能把这些成分分开，这却是 18 世纪后半期以后才相继做到的事。

氧气的化学性质在高温条件下是非常活跃的。氧气能够跟很多种物质发生化学反应，并生成各种氧化物或含氧化合物。一些氧化物和含氧化合物在一定条件（如高温或加催化剂）下，又会释放出氧气等等。

在我国封建社会初期，最迟在公元前 2 世纪，就已经开始流行炼丹术。炼丹术士用一些天然的矿物，经过神秘的加工，制成丹丸，企图让人吃了长生不老，然而这其中大多丹丸含有对人体有毒害的元素，如砷、汞、铅、硫等。人们对矿物加热，这时空气中的氧气必然参与反应，甚至有的还是反应过程中起主要作用的，但是炼丹时，他们只能看到固体的、液体的以及似气非气的烟、雾，却总是忽略了无色、无臭又无形的空气，因此人们也就意识不到空气的存在和变化了。我国古代比较有名的炼丹术家葛洪（284 年～364 年），曾经在他的著作《抱朴子》中记载有“丹砂烧之成水银，积变，又还成丹砂”的说法，“丹砂”就是硫化汞，加热到它变成水银，要经过两个反应，即：



实际这两个反应是在同一容器内一次性完成的，又可简化为 $\text{HgS} + \text{O}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{Hg} + \text{SO}_2$ ，但葛洪在著作中没有说必需气体参与，可见他的观察不细致，也许他用了铁的容器来盛丹砂，就会有如下的反应： $\text{HgS} + \text{Fe} \xrightarrow{\Delta} \text{Hg} + \text{FeS}$ ，这时确实跟气体无关，但由于当时的生产技术，不可能做出完全不透气的密封容器，也不可能控制温度。对于当时的情况，他只用简单的一句话来作结论，是不严谨不科学的，然而要求他有重大的科学发现也是不现实的。

传说在公元 8 世纪，我国有一个叫马华（译音）的人，著有一本叫《平龙论》的书，书中记载到了燃烧和空气有关，并把空气中的成分分为阴气和阳气，这是由于我国古代流行“阴、阳”之说。马华指出，属阳的金属、硫、木炭等燃烧后，和大气中阴的成分结合。这就很难确定他发现氧气是个十分明确的事实，在很大程度上可能是和实际巧合。

在国外，早期也有很多人碰到过类似的情况，做过类似的解释，有的还的确制出并收集到了氧气，但由于思想上受到“燃素说”的束缚，因而把已经得到了氧气叫做“火气”或叫做“脱燃素空气”，并没有人真正的认识它，瑞典的舍勒和英国的普利斯特利，便是如此。他们虽然都发现了氧气，但由于受“燃素说”的影响，因而没有能够正确地认识它。

发现氧气的关键，在于首先要明确氧是一种元素，这一认识是法国人拉瓦锡确定下来的。

舍勒及普利斯特利和拉瓦锡都是同时代的人，他们的共同成就，都已被载入了化学史册，他们用化学方法（加热氧化汞、硝酸镁等物质）制出了氧气，拉瓦锡又用实验方法精确地测定了空气中有五分之一的体积是氧气，并用氧气和别的物质发生了化合反应。最后在 1777 年确定下来，氧是一种元素。拉瓦锡给氧起名叫“Oxygene”。氧气的发现，并被明确为一种元素，这是化学发展史上一个很重要的里程碑。在理论上，因此彻底推翻了错误的燃素说，建立了包括燃烧在内的氧化学说，为后来的氧化、还原理论，奠定了实践基础。在科学上为人们深入研究大气的成分开辟了道路，使当时化学界很多错误的看法，也得到了纠正。

氧气是一种极为普遍的气体，并且在地球上已存在了数百亿年，而它被科学家们认定，却是非常不平凡的，从而引起了如此巨大的震动，不能不说是一个惊人之举。

异想天开发现了磷

我们所说的化学元素磷，原文的意思叫做“冷光”。民间传说中的“鬼火”，就是一种磷的氢化物产生的自然现象，自然界中的这种磷的氢化物是由人及动物的尸体腐烂分解而形成的，它是一种气体，当遇到空气，就会自动地燃烧起来。我国古代又把鬼火叫成磷火，因此我国就把叫做“冷”光的物质叫做“磷”。由于磷是非金属元素，常温下单质为固态，于是又把原来的“火”字旁改为“石”字旁，写成“磷”。这也是用中文汉字对化学物质命名的一大特色。

令人感到有趣的是，最早发现的磷是从尿液中提炼出来的。

在那时，谁也不知道人和动物的尿液里到底含有什么东西，而当时有一个想发财的商人，千方百计地寻找生财之道，偶尔听人说，从人的尿液里可以制造出黄金或是能够点石成金的宝贝。于是他就偷偷地收集了大量的尿液，一点一点的慢慢蒸干后，又胡乱的加上各种各样的东西，今天用煮的办法，明天又用烧烤的办法，一次又一次地干下去。终于有一次，他发现了一种在黑夜中能发出萤光的物质。这就是他初次得到的磷，一小块白色柔软的白磷（磷的一种单质）。这是1669年的事，这个人的名字叫波兰特，是德国汉堡人。

尿液的成分，除了绝大部分水之外，主要的是尿素。此外还有一些新陈代谢的废物，其中便含有极少量的硫、磷等元素，而且是以极其复杂的有机化合物的形式存在的，只有在经过长时间的发酵蒸发后，才能变成磷酸盐。

磷原来以多种形式的化合状态，遍布于人及动物体内，主要的有各种酶及促使营养成分发生同化作用，为生理需要提供活力机制的，含磷的有机化合物。另外磷也存在于骨骼和牙齿中。平常，我们所吃的食物里，都普遍的含有磷。同时由于饮食情况的不同，排泄物中所含磷的量也有所不同。

磷可以形成各种各样的化合物，要用磷的化合物来制取单质，都需要经过复杂的化学反应。工业生产上，经常是用磷矿石 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ 为原料，加上石英和焦炭，在经过1500的高温，而产生的磷蒸汽（实际是 P_4 分子），在隔绝空气的状态下，冷凝到凉水中，成为固体的白磷。化学方程式可以表示为：



真是无巧不成书，波兰特经过几十次的改变配方，更换方法，他居然在一次将尿渣、砂子和木炭放在米中加热时，用水冷却产生的蒸汽而得到单质磷。这种十分巧合的事，实在是很少有的。

当制出奇怪发光的宝物时，波兰特真是惊喜若狂，他想如果要发财，制法就要十分保密。他得到磷的消息在外界传开以后，人们只知道他是用尿做实验，于是便有很多人也想碰运气的做了起来。德国人孔柯尔居然在1687年，也从尿渣中制出了磷，其做法跟波兰特的方法如出一辙。1680年英国的化学家波义耳和他的助手德国人亨克维茨，独立地从尿中制出了磷，并对制法加以改进，大量生产使其成为商品。1775年瑞典化学家舍勒，又从骨头中制出了磷。磷从此有了正式的名称，叫“发光体”。

这一段离奇的故事，说的并非是一个不学无术的人，只知道原料是尿，

就能从中把磷提制出来。当时之所以能成功的人，都是接触或是研究化学的。波兰特本人的职业就是医生，西方的医生并不像中医那样，以本草为生。他们在配药的同时，还兼做化学实验，有些医药学家也同时是化学家，所以他们头脑里都有一定的化学知识，并且又有动手能力，能够解决一些问题。波兰特及其同时代的人，能从尿里提取磷，都有他们本人的职业特长，首先是波兰特的惊人毅力，几年如一日的把实验坚持做下去，仅此一点就很值得后人敬佩。

波兰特制磷的配方，既可以认为是巧合，也可以认为其中存在着必然。因为沙子、木炭等是他们的常用之物。只要某物中含有磷元素，经过多种氧化还原反应，加之收集方法得当，是会得到磷的化合物甚至是磷的单质。像这样的情况，在化学实验中，曾经出现过多次。

白磷被发现以后，又大量投入生产并成为商品出售，它到底有什么用途呢？它在最早时期，除了供应实验室用及制造磷头火柴之外，几乎没有其他的用途。磷头火柴是当时使用最方便的引火工具。然而白磷有剧毒，又极易着火，很快就被较安全的火柴所代替。我们现在所用的安全火柴也要用磷，那就是涂在火柴盒两侧酱紫色的东西，它的主要成分是红磷。红磷跟白磷互为同素异形体，但红磷的着火点比白磷要高得多，而且毒性也极小。现在生产的白磷主要用于合成含磷的农药，这类农药有极强的毒性，使用时要特别小心。

磷是一种化学性质很特别的元素，它的单质及化合物有的含有剧毒，有的几乎没有毒性。它还是动植物体内必需的营养元素，缺少它，植物的果实便不能丰硕饱满，人的骨质特别是神经的发育就会受到影响。因此人在青少年发育时期，就应吃含磷质较多的食物。

三元素组和八音律

在门捷列夫发现元素周期律以前，化学这门学科已经诞生了 200 年以上。在这段时间里，这门学科虽然有了很大进展，但是，它只是积累了很多零散的知识而已。这些知识之间的内在联系如何，怎样才能把它们系统起来，还是没有解决的问题。因此，这时的化学学科，就像个管理不好的库房一样，虽然各种材料很多，但是东一摊、西一摊，放得个乱七八糟，毫无规律。

当时学校里的化学老师，包括大学里专门教化学的教授在内，在这一大堆乱七八糟、漫无秩序的材料面前，对于如何组织教学，谁也拿不出好主意来，只能各行其是。有的人先从氢讲起，因为它最轻；有的先讲氧，因为它分布最广；有的先讲铁，因为它是最常见的金属；……

化学家们实在不能继续容忍这种混乱的状态了！大家都在想，怎样才能找到一个规律，把这些各种各样的元素有系统的排列起来，把这些杂乱无章的化学现象和化学知识系统化起来。

1829 年，德国化学家段柏莱纳在比较各种元素的原子量的时候，注意到有几个化学性质很相似的元素组，每组包括三个元素。在每一组的三个元素中，按原子量的顺序排列，中间那个元素的原子量大约是两边的元素原子量的平均值。

例如：锂、钠、钾三种元素的性质就很相似，它们都是金属，能和水激烈地反应放出氢气，并且生成很强的碱。排在中间的元素钠，它的原子量(23)

正好是锂（7）和钾（39）原子量之和的二分之一。

氯、溴、碘三个元素都是非金属，都能和金属起反应，它们的原子量也有上边说的那种情况。

这样三个元素一组、三个元素一组，共找到五组。段柏莱纳把它叫做三元素组。

三元素组的分类方法，虽然比过去进了一步，但它只包括了15个元素，还有几十种元素没有归纳进去。另外，这一组一组的元素相互间有什么关系，段柏莱纳也说不出。

在这以后，还有许多人尝试过用各种方法分类和归纳元素，试图从中找出规律性的东西。其中比较引人注意的一种方法，就是英国人纽兰兹提出的八音律。在音乐中，当我们把音符1（do）、2（re）、3（mi）、4（fa）、5（so）、6（la）、7（ti）、1（do）、2（re）、3（mi）……排起来的时候，你从任意一个音数起，数到第八个音时，一定和第一个音的唱法一样，这两个音之间的距离就是八度。纽兰兹把当时已知的元素按原子量一个比一个增加的顺序列成行的时候，他发现，从任何一个元素开始，数到第八时，就会出现一个和第一个元素性质相似的元素，好像音乐中的八度音一样。纽兰兹把这种现象叫做八音律。

纽兰兹根据八音律把当时已经知道的元素编了号，排成了一张表。

从这张表里元素排列的顺序来看，在第一行氢、锂、铍、硼、氮、氧这七种元素之后的氟、钠、镁、铝、硅、磷、硫分别和前七种元素相似。第二行的氯、钾、钙也分别和氟、钠、镁性质相似。再往后就不能令人满意了，比如22号位置上的钴和镍，同前面的氟、氯的性质便没有什么相似的地方。1866年，纽兰兹在英国化学会的年会上报告了它的这种分类方法。遗憾的是，他不但没有受到应有的鼓励，反而因为回答不出听众提出的许多问题而受到了奚落。伤心的纽兰兹失去了勇气和信心，放弃了他的理论研究工作而改行去干别的事了。

这样，化学家们尝试把元素系统化的努力又一次失败了。

氯气的故事

古代的炼金术士们用王水（一般用三份盐酸与一份硝酸相混合）溶解金子。当他们在实验室里加热王水的时候，便会发生一种刺激性很强的烟雾，当时他们还不知道这种烟雾就是氯气，然而至少可以说，古代的炼金术士们就已经接触过氯这种元素了。

氯气的发现应该归功于瑞典化学家舍勒（1742年~1786年），他是在1774年发现这种气体的，当他加热黑色的二氧化锰与盐酸的混合物时，发现产生了一种烟雾，并与加热王水时所生成的烟雾是完全一样的。在氯这种元素被发现以后，当时人们把它叫做脱燃素的盐酸气，因为按照当时流行的说法，把盐酸中所含的氢称为燃素，这样在制备氯气的过程中，锰取代了盐酸中的氢，从而得到氯气，用当时的术语便是锰取代了燃素，因此就被叫做盐酸脱掉燃素以后产生的一种气体。

舍勒制备了氯气以后，把它溶解在水中，却发现这种水溶液对纸张、蔬菜和花都具有水久性的漂白作用；他还发现氯气能与金属氧或金属化合物发生化学反应。从1774年舍勒发现氯气以后，一直到1810年，这种气体的性

质先后经过贝托霍、拉瓦锡、盖-吕萨克、泰纳、贝采利乌斯等人的研究，然而第一个指出氯气是一种化学元素的科学家却是戴维，他在伦敦英国皇家学会上宣布这种由舍勒发现的气体是一种新的化学元素，它在盐酸中与氢化合。他将这种化学元素定名为氯，这个名称出自希腊文“Chloros”，这个词有多种解释，例如“绿色”“绿色的”“绿黄色”或“黄绿色”。戴维的这种推论获得了公认，只有贝采利乌斯持有异议，因为他一直认为盐酸是一种含有氧的酸。

1785年贝莱梯，1786年卡斯登各自在有水汽存在的情况下，将舍勒所发现的这种气体加以冷却，随后他们便获得了一种黄色结晶物质（实际上它就是氯的水合物 $\text{Cl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ），他们暗示，舍勒所发现的气体不是一种简单的物质，当然就不是一种化学元素。

1805年诺斯莫尔将这种气体液化，他在描述其实验时说：

“当我把这种含氧的盐酸气（诺斯莫尔和贝采利乌斯的认识是一样的，他们都认为氯气是盐酸与氧气的化合物，所以把这叫做含氧的盐酸气）压缩到一个 $2\frac{1}{4}$ 英寸的接受容器中，它立刻转变成了一种黄色的液体，它在普通的大气压力下具有极大的挥发性，当把耐压的接受容器的阀门打开时，这种液体物质便立即完全挥发了。我发现这种物质的浓度非常之大，以致让我感受到一种难以忍受的刺激。当这种气体挥发以后，接受容器中只留下微不足道的黄色的残留物。这种气体能够破坏蔬菜的颜色，并且很难控制。”

1810年，戴维通过试验进一步证实了，如果在 -40°C 下将氯气冷却，就能获得贝莱梯和卡斯登所制备出来的黄色晶体物质。

1823年3月5日当法拉第正在操作封在一支玻璃管里的氯的水合物时，他的好友帕里斯正好来拜访他，当看到玻璃管中有一些油状物质，因此而责备法拉第，说他不该使用带油污的仪器（因为帕里斯以为这支玻璃管是法拉第没有洗净的器具）。帕里斯走了以后，法拉第继续进行实验，他想把这支玻璃管打开来看，但是不小心却把玻璃管打破了，与此同时，管内的油状物也马上消失了。这个偶然事故使法拉第认识了这种油状物的性质。帕里斯第二天便收到了法拉第写来的一封信：“亲爱的先生，昨天您注意的油状物已经变成了液态氯。”

1888年克尼许用加压冷却的方法将液态的氯装在一个耐压的容器中，以便于运输和使用，为使用氯气的单位提供了很大的方便，从此以后，液氯的生产才达到商品的规模。

漂白粉的生产始于18世纪末朗。在此以前，欧洲人在漂白麻纤维和棉纤维的时候，需要花费很长的时间及笨重的体力劳动。他们把棉、麻纤维放在草木灰、石灰水或皂液中煮沸，然后取出来浸泡在牛奶中，最后取出来铺在草地上，充分地暴露在空气中和阳光下，这时纤维才被漂白。这种方法需要耗费长达七个月的时间。

1785年法国人贝托雷最早利用氯气做漂白剂。它把舍勒发现的那种氯气溶解在水中，这种溶液便具有了漂白作用。1789年贝托雷改进了制备漂白溶液的方法，即把氯气通入巴黎一家化工厂生产的碱性草木灰（即氢氧化钾）的溶液中，效率又提高了很多。后来，蒸汽机的发明人瓦特从贝托雷那里了解到制造这种漂白剂的方法，并把这种制造方法转让给苏格兰的英国化学公司的创始人泰纳以便生产这种漂白剂，1798年泰纳把生产漂白剂的方法改为

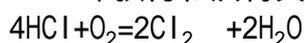
将氯气通到石灰水中，这样改进以后生产成本便大大地降低了。1799年泰纳经过多次加工又把这种液体的漂白剂改进成为固体的产品，当时叫做氯化石灰，也就是我们现在所用的漂白粉。这种固体产品的优越性就要大多了。

氯气在卫生方面应用的历史也是非常悠久的，早在1800年，英、法等国家就用氯水作为消毒剂；1854年英国就已经采用漂白粉来消除污水的气味；到了1903年，英国人便已经大量使用氯气来为饮用水清毒了。

氯气的生产方法也曾经历了漫长的发展过程。一直到1936年为止，人们还一直沿贝托雷发明的方法来生产氯气，这种方法是把氯化钠、软锰矿（即二氧化锰）和硫酸的混合物装在铅蒸馏器中，经过加热后便能产生出氯气。

1936年古萨格发明了一种焦化塔，用来吸收路布兰法生产苏打（即碳酸钠）的过程中所排出的氯化氢气体（在当时这种含有氯化氢的气体被人认为是一种废气，从古萨格开始，这种气体才得到了充分利用），从这以后盐酸也就成为一种比较便宜的酸，可以广泛利用。舍勒所发明的生产氯气的方法（即用盐酸与软锰矿反应用以制取氯气）经过改进后，才成为大规模生产氯气的方法。

1868年狄肯和洪特又发明了用氧气来氧化氯化氢以制取氯气的方法。



这种方法叫做狄青法。

以上这些生产氯气的方法虽然在氯气生产史上都起过一定的作用，然而这些方法与电解法生产氯气和烧碱相比较，无论是从经济效益和生产规模上来说，都要大为逊色，所以当电解法普遍运用以后，所有其他的生产氯气的方法就一下子都被淘汰了。

电解法可制出氯气要追溯到1833年。当时法拉第经过一系列的试验，发现当把电流作用在氯化钠的水溶液，也就是电解氯化钠水溶液时，就能够获得氯气。到了1851年瓦特获得了一份关于电解生产的英国专利，其中包括了氯气、氢氧化钠、金属钠的生产方法。但是，由于当时没有实际可用的直流发电机用以产生足够的电流，因此瓦特的发明也只能停留在实验室规模，并不能付诸大规模的生产。瓦特获得的这一份专利一直没有利用起来。直等到19世纪70至80年代，有了比较好的直流发电机，德国人便在1890年开始用电解法大规模地生产氯气和烧碱，而英国和美国采用这种生产方法，则要推迟到1893年，比德国人晚了3~4年。

从发明电解法生产氯气和烧碱，一直到让这种方法付诸工业生产这一过程，使我们想到先进的发明创造必须有一定的生产条件的帮助，才能发挥它的作用。电解法生产氯气的发明也只有在强大的直流电机发明以后，才能真正成为一种工业生产的方法。

元素凶神

每一个搞化学研究的人都有一个习惯，这就是每当他拿到一种从来没有见到过的新物质时，总想要弄清楚这一物质里含有哪些成分？是用什么原料，经过怎样的方法制造出来的？它有什么特性？可以用来做什么？等等。想要一下子解答这一串的问题，并不是一件简单的事，也不是三言两语就能说清楚的。解答化学之谜，需要有许多人经久不息的努力去做很多实际而又艰苦的工作，甚至为此而献出宝贵的生命！

这其中最有代表性的就是氟元素从被发现到制出氟气单质的过程。可以说它是经过百年孕育，带着一身的煞气，才得以出世的凶神。

化学中的氟、氯、溴、碘四种元素，氯被最早发现。早在 1774 年，就已经制出了氯气，1786 年发现了氟的化合物，直到 1886 年才制出氟，中间经过了一个世纪还多，这并不能完全责备氟的脾气怪，而是因为在很长时间内所用手段的能力达不到。发现溴、碘制出单质的时间，分别是 1824 年和 1811 年。

氟、氯、溴、碘好像是同一父母所生的四兄弟，有着相同的血统，在性格上既有相同的地方，又有其各自不同的特点。

人们把它们按氟、氯、溴、碘的顺序排行，并不是按发现的年代来分的，这是为什么呢？这是化学家比算命先生更讲究实际的地方。

氟、氯、溴、碘四种原子，都具有跟金属原子相结合的能力，而且能力有大有小，但肚量却是一样的，如它们结合钠原子，就都只能接纳一个，结合时氟原子是如狼似虎，而碘原子却是温文尔雅，氯、溴则介乎两者之间。这种性格上的差别是由它们天生的性质所决定的。化学家是以它们这些不同性质为依据给它们排行顺序的，并把它们作为元素体系中的一个很重要的家族。

而氟这个元素，因为其化学性质非常活跃，因此它让化学家们吃了很大的苦头，经过几代人的努力，才把它接生到这个世上来。

在发现氯气前，人们就发明了盐酸。这是用食盐加浓硫酸时所产生的的一种气体，人们把这种气体用水吸收后，便成了一种有酸性的液体，就称这种液体为盐酸。第一次单质的氯气是用盐酸加软锰矿粉制出来的。

在 1786 年有人发现把萤石加浓硫酸，也会产生制盐酸时那样的气体，它溶到水中，也同样会得到酸性的液体，但是这种酸性的液体和其他任何物质，包括软锰矿粉一起反应，就无论如何也得不到成分更简单的物质了，人们企图用它也能制出像氯气那样的一种新气体，然而希望总是以失败而落空。但是实验越是失败，化学家却越是坚信，在这种酸性液体和萤石中，一定含有一种从来未被人知道的新元素，并在它尚未制出单质前，就起了名字（Fluorum，含有活泼流动的意思），规定了符号（F），找好了住地（元素周期表上第二周期第 A 族）。

在 1786 年以后的漫长岁月里，化学家们煞费苦心，不屈不挠地辛勤劳动，他们抱着一个共同的目的——制出氟气。他们实验操作时，一刻也离不开氢氟酸（跟盐酸同为姊妹酸），这种氢氟酸及其气体氟化氢，跟盐酸（氢氯酸）及其气体氯化氢不一样，前者是有剧毒性的，很多化学家因此中了毒，甚至献出了宝贵的生命！

氟为什么总让人见不到它的真面目呢？这是因为氟的化学性质太活泼了，它在化合物中跟别的元素结合的能力特别强，没有一种物质能够把它从化合物里的位置上分离出去。用化学反应的方法，在当时情况下，是完全不可能制出氟气单质来的，制来制去不过是氟从这一种化合物中转移到另一种化合物中去而已。

化学家们因此就有些绝望了。真是行到山前疑无路，竟然柳暗花明又一村。科学家后来发现了电的威力，它不仅可以用以照明、开动机器，而且可以使难以分解的化合物发生分解反应，这一种方法叫做电解。

化学家们运用电解的方法，从而发现了多种新元素并制出它们的单质。

当然电解氟的化合物，必然也可以制出氟气。由于氟的化学性质太活泼了，在常温下它就能跟很多物质发生反应，只要它在电极上刚一产生，便和电极以及电解容器的材料发生反应，怎么也难得到一点可见的氟气泡，当然在这一过程中还会有人中毒。法国人莫瓦桑有着超人的毅力，曾因为身体中毒，而受到严重损伤导致四次中断实验，最后直到 1886 年，终于在他的实验室里制出了气体的氟。

莫瓦桑采用金属铂制的电解容器，以铂铱合金为电极，他认为这些金属的化学性质极不活泼，绝大多数的化学药品都不能腐蚀它，也不会发生反应，也很有可能不会被氟气腐蚀。他在这一电解容器中，放入氢氟化钾和无水液体氟化氢的混合物，充分运用冷却剂冷却到零下二十几度，然后通上电流，让容器里的化学物质发生分解反应。聪明的莫瓦桑又想到，如果用玻璃导管和玻璃瓶来导出和收集氟气是行不通的，因为他知道氢氟酸能腐蚀玻璃，这也是其他酸所没有的特性，再根据氯气的性质，他推断出氟气必会跟硅单质发生剧烈的反应。因此莫瓦桑便采用以硅单质来检验氟气存在的方法，当他打开电解容器上用萤石做成的帽盖，伸入一根硅条，这时在阳极的上面，硅条突然着火燃烧起来。这个现象表明阳极这一边，已产生了大家盼望已久的氟气。

现代化学上已有更好的装置来生产氟气了，防护的设备也更加完善。然而，人们总也忘不了莫瓦桑，以及在莫瓦桑以前的许多科学家，为制氟气所做的贡献及作出的牺牲。

认识化学结构

在 19 世纪，西欧工业比较发达的国家，炼铁技术得到飞速发展，他们把煤经过干馏制成焦炭用于炼铁，但对在炼铁过程中同时产生的煤焦油和煤气等，这些乌黑、气味难闻而又容易着火的东西要找个出路，曾经大伤脑筋，并为此经历了很长一段时期。但在当时，化学家们却对它们很感兴趣。化学家把这些煤焦油和煤气拿来，经过仔细的分离提炼后，得到了无数种有机化合物。原来，有机化合物中，它们是非常特殊的大家族，有机化学家们把它们称为芳香族化合物。

起初，人们从香树脂、香料油等天然物质中得到一些有特殊香味的纯物质，现在又从煤焦油等物中，得到了其组成、化学特性与前者相类似的东西，尽管其气味并不芳香，但品种却更多，在科学研究上的意义更大，作为有机化合物的一族，也更具有代表性，只是它的含义已不再是表面上有香味而已。

芳香族的有机物中，最主要的化合物便是苯。

最早发现苯的人是英国化学家和物理学家法拉第。他是偶然从贮运煤气的桶里所凝集的油状物中，经过分离后得到了一种无色的液体。他用当时原子量 $H=1$ 、 $C=6$ 的标准测出它的实验式是 C_2H ，并测出它的蒸汽比重是氢气的 39 倍。但他并没有推出它的分子式。如照现在原子量标准 $H=1$ 、 $C=12$ 、苯的实验式则应该是 CH ，根据蒸汽比重就能算出它的分子量是 78，便很容易知道苯的真正分子式是 C_6H_6 。在约 9 年之后的 1834 年，又有人把安息香酸和石灰放到一起干馏之后，也得到一种碳氢化合物，才给这个化合物取名叫“苯”（benzene），接着又有人测定出它的分子式是 C_6H_6 。

19 世纪中叶，有一位德国有机化学家凯库勒（1829 ~ 1896），在研究芳香族有机化合物方面，做出了卓越贡献。他发现所有芳香性（族）有机化合物有一个共同的特点：就是它们进行非彻底破坏（不燃烧）的激烈反应后，经常失去了一部分碳，但主要产物总是至少含有 6 个碳原子。这种包含有 6 个碳原子的化合物，就是以苯为主体的化合物。于是 1865 年凯库勒提出了以苯为基团的芳香族化合物的设想，并曾用多种图式来表示苯的分子结构，最后确定为正六边形图式，也就是我们现在学化学时常用的苯的结构式。

早些时候，凯库勒在研究有机化合物的分子组成过程中，于 1857 年提出了“原子数”的概念，指出：氢、氯、溴、钾为“一原子的”，氧和硫是“二原子的”，氮、磷、砷是“三原子的”，而碳是“四原子的”。这是化合价的早期说法，也就是说，这些元素分别是一价、二价、三价和四价。在这一基础上，凯库勒认为有机化合物中，碳原子之间可以连成链状，这就有很好的说明。例如碳氢化合物中，由甲烷（ CH_4 ）开始，随着碳原子数目的增多，就分别能有组成不同的乙烷（ C_2H_6 ）、丙烷（ C_3H_8 ）、丁烷（ C_4H_{10} ）等一系列化合物存在的道理了。

几乎是同时，英国的有机化学家库帕，于 1858 年也独立的提出了碳是四价及碳原子间可以相连成链的学说。

凯库勒和库帕所提出的这些学说，为有机化学结构理论的建立奠定了非常重要的基础。

“化学结构”这个概念，在 19 世纪上半叶就已为化学家们所采用，“化合价”概念，特别是碳为四价的共识，更为探索有机化合物分子结构铺平了道路。但是苯（ C_6H_6 ）分子的出现，让凯库勒等一直认为碳原子能够连成链条的人，为难道了好久，实验的事实证明，苯分子中六个碳原子、六个氢原子的性质分别完全相同，即它们分别以相同的关系，处在相同的位置上，如果这 6 个碳连成一个有头有尾的链条，而且又性质完全相同，若用碳四价的理论，是根本解释不通的。

凯库勒经过冥思苦想，终于认为可能这六个碳原子是连成一个环，经过现代的结构理论研究确认了这个六碳环是真实存在的。

对于凯库勒的设想，有人传说是他一次睡梦中见了一条蛇，咬着自己的尾巴直打转而受到启发的。不知是否确有其事，而他提出的苯的环状结构学说，在有机化学发展史上的确起到了巨大的作用。1890 年，在纪念苯的结构学说发表 25 周年时，伦敦的化学学会指出：“苯作为一个封闭链式结构的巧妙构想，对于化学理论发展的影响，对于研究这一类及其相似化合物衍生物的异构现象的内在问题所给予的动力，以及对于像煤焦油染料这样巨大规模的工业的前导，都已为举世公认。”

前面说到的芳香族有机物，人们自从认识了苯环之后，它的真实含义便是具有苯环的化合物的简称了。这其中包括了很多种染料、医药、香料和炸药。

自然界的煤，开始对被人们当成黑色的石头，在后来却发现它能燃烧，因而在很长的时间内只被当作燃料。随着炼铁工业的发展，大量的煤堆着闷烧成焦炭时，便产生了浓烟而被排放到大气中，污染环境，损人健康。后来改为干馏炼焦，一方面提高了焦炭的产量和质量，同时所产生的煤气和煤焦油，也被当作气体燃料和化工原料，都有其各自的用途，这样又降低了炼焦

生产的成本。

化学家们研究了苯结构后，发展了以煤焦油为基础的焦化工业。芳香烃有机物的提取和合成，更极大地丰富了有机化学的内容，并且也极大地丰富了人们的物质生活。

几代人辩论的定律

纯净的化合物，必然各有其固定的组成，也就是定组成定律，又称为定比定律。在初中化学里，虽然不提这一定律的名称，然而在讲化合价和分子式时，学生却必须掌握有关的概念，并认识到纯净的化合物，之所以性质固定，是由于它的组成固定，而且原子间排列的关系也是固定的。

就是这样一个现在看来似乎简单的定比定律，在科学史上却由 1781 年争论到 1860 年才被确定下来。这一事实，充分说明科学家们的态度是十分严谨的。

从 17 世纪末起，西欧的一些药剂师和化学家们，在进行一系列的科学实验中，就已对各种类型的化学反应进行了定量的研究，有些人已经从研究碳酸钙，水及氧化汞的过程中，明确的发现了它们的组成是固定的。如 1755 年，英国化学家布拉克在他研究石灰石的论文中提到：石灰石经过煅烧后，重量会减轻 44%。1781 年，英国化学家凯文第旭研究水的合成时，发现所消耗氢氧气的体积比总是 1 : 2，由此而认识到水是化合物而不是一种元素，曾提出科学的燃烧理论的法国化学家拉瓦锡，从 1772 年到 1777 年用了五年多的时间，做了大量的燃烧实验，进行了精确的定量分析研究。例如他在进行氧化汞的合成与分解实验时，将 45 份重的氧化汞加热分解，恰好得到 41.5 份重和汞和 3.5 份重的氧气。这也就是说，拉瓦锡的实验，不仅说明化合物有其固定组成，并且用具体数据，证明了化学反应中的质量不灭定律。

明确的用文字描述定组成定律的是法国的一位药剂师普罗斯，他在 1799 年明确地写道：“两种或两种以上元素相化合变成某一化合物时，其重量之比例是天然一定的，人力不能增减。”这是早于化合价形成共识之前 50 多年提出的，这显然是普罗斯根据自己大量的实验数据为基础而建立起来的自信。

但普罗斯的关于定比定律的理论，却遭到了当时法国化学界的权威贝托雷的激烈反对。原来是在此之前，贝托雷正好发表了《化学亲合力之定律》，其中说道：“一物质可与有相互亲合力的另一物质以一切比例相化合。”一个是以一定的比例，一个却以一切的比例，两者针锋相对而互不相容。那么到底是谁正确呢？看一下他们两人的实验内容就明白了。贝托雷以溶液、合金或玻璃类物质，可以形成多种组成的铅的氧化物和铜的碱式盐等物质为例子，这些都是混合物或是不同的化合物。表面看来它们是以“亲合力”而形成，然而它们都不是真正的或单一的化学反应，当然“化合”的比例，就不会存在“一定”的问题了。

既然贝托雷用的是错误的实验例证，为什么又能长时间的坚持自己的错误观点呢？这还得再来看看普罗斯的说法和做法才能得到解答。

普罗斯确切的发现了贝托雷的实验对象并不是纯净物和单一化合物，于是先后从 1802 年到 1818 年，写了许多文章，发表在法国《物理杂志》上，用来答复贝托雷的错误的批评。

按贝托雷的说法，他认为化合物的组成会随着生成该物质的物理条件不同而不同。普罗斯则指出，一种化合物无论是天然的还是人工合成的，无论是产生在地球深处，还是产生在人们的实验室里，也无论是取自什么地方，其组成都是相同的。普罗斯还指出，即使是铅和氧化合，铅跟氧的量之间，也只有几个固定的比例（即 PbO 、 Pb_2O 、 PbO_2 和 Pb_3O_4 ），而绝不会是任意的比例，显然它们是组成各不相同的铅的氧化物，而根本不能混为一谈。

普罗斯还用铜、锡、锑、钴等多种金属和硫化合，用在各种条件下所得硫化物，其组成都相同的事实来证明自己的观点正确。然而在普罗斯的时代，化学界还没有足够精确的定量分析的技术手段和方法。普罗斯的实验结果，对同一物质的分析往往也存在很大的误差，这就使他心有余而力不足的遗憾终身。“定组成定律”就只能暂时作为假说，停留在当时人们的心中。

到了 19 世纪的中叶，定量的化学分析，已得到完善，人们已能在实验时得出相当精确的结果，但极小的偏差仍是难免存在。就因为这些，因此依然有人认为“这个定律（指定组成定律）或者也有些偏差，……”而仍然不愿十分肯定的承认它。

后来，比利时的分析化学家斯达（1813~1891）曾经用多种不同的方法制取金属银，又用多种不同的方法把银制成氯化银，所有实验偏差都在千分之三左右。在斯达 1860 年发表了他许多精确的分析实验结果之后，这场围绕着定比定律是否实在可信的辩论，前后经历了大约 80 多年才算结束。

而一个叫“倍比定律”的，却在 1804 年就被确认下来，在时间上比“定比定律”的确定要早 50 多年。

倍比定律的内容是：“当相同的两元素可生成两种或两种以上的化合物时，若其中一元素之重量恒定，则其余一元素在各化合物中之相对重量有简单倍数之比。”

倍比定律是英国化学家道尔顿提出来的，当时道尔顿正在构思他的原子论，首先提出了原子量这一概念，认为：“同一元素的原子，其形状、质量及各种性质都是相同的”，他还认为：“不同元素的原子以简单数目的比例相结合，因而形成化学中的化合现象”，等等。道尔顿根据其原子论的设想，用推理的方法而得出了倍比定律，并且还测定了碳的氧化物（ CO 、 CO_2 ）氢化物（ CH_4 、 C_2H_4 ）中碳氧之比和碳氢之比，确实在碳的量一定时，两种氧化物中氧的重量比是 1 : 2，两种氢化物中氢的重量比为 2 : 1。

后来精于化学分析的瑞典化学家贝采利乌斯，分析了铅的两种氧化物和铜的两种氧化物以及铁的氧化物和硫的氧化物，也都取得了精确的结果。而斯达也做了碳酸气（ CO_2 ）和一氧化碳之间转变关系的实验，发现两种氧化物中碳的重量一定时，氧的重量比确为 2 : 1。这些事实都比确认定比定律要早十多年。

从现在的原子、分子观点和化合价的概念来看，定比定律和倍比定律实际都是定组成定律的内容在形式上的不同表现。因为历史的原因，它们的发生和被确认的过程，却是那样的不同，这实在是一件令人回味的事。

质量守恒定律

一场工业革命从英国开始，工业技术和生产力的发展引起了人们对生产

原料产生更深刻的认识。而纺织工业的发展又促使人们去研究染料，研究酸碱，因而向化学领域提出了新的要求，而在这方面领头的，却是一个法国人，他叫拉瓦锡（1743~1794年）。

1743年8月26日，拉瓦锡生于巴黎。父亲是一个非常有钱的律师，拉瓦锡从小就不愁吃穿，上了中学又上大学，从法律系毕业后很顺利地也当上了律师。然而不知是什么缘由让拉瓦锡对矿物特别感兴趣。在他办公桌的抽屉里，常常放着一些石头、硫磺、石膏等等，就连卷宗里也时常可抖出一些红绿颜色的矿粉来。出乎意外地他的一篇论文在一次竞赛中竟获得法国科学院一枚金质奖章，这便让他下决心辞掉了律师职务，而献身于自己酷爱的化学事业。

然而个人研究化学，需要建实验室，买仪器，是需要一笔不小的资金的，那么钱从何来？拉瓦锡凭借他律师的阅历，用特有的眼光在财政界一扫，便发现了一个生财之道。原来18世纪中叶，法国新兴的资产阶级已聚成了一股强大的势力。但封建王朝却不甘退位，更加紧了对人民钱财的搜刮。其中的一个妙法就是收重税。但政府并不出面，而是承包给“包税人”。包税人预先向国家交一笔巨款，然后再去收税。包税人只要保证向国家缴钱，至于再向老百姓收多少，国家便不管了。为了研究化学，拉瓦锡便从父亲那里借来钱作抵押金，违心地当上了一名包税人。这样，很快拉瓦锡便拥有了自己的化学实验室，而且还认识了一位金发碧眼的姑娘玛丽，玛丽是包税公司经理的女儿，才14岁。但他们感情笃深，很快结为夫妻。玛丽性情温柔，又写得一手好字，并擅长绘画，为丈夫抄论文，绘图表，天赐一个贤内助。一年后，拉瓦锡当选为科学院院士。在这以后，他大部分时间是在实验室里渡过的。

1789年一个冬夜，寒气笼罩着巴黎，拉瓦锡和娇妻玛丽正围炉闲聊，玛丽手中拿着一篇刚收到的文章正在朗读，拉瓦锡听完以后便再也坐不住了。他一把抢过文章连续看了两遍。文章中说到将一块金刚石用高温灼烧以后，便会消失得无影无踪。他认为这是不可能的，任何东西烧完后总要留下一点灰烬。拉瓦锡立即钻进实验室，照着做了一次实验，果然如文章所说，金刚石不翼而飞了。整整一夜，拉瓦锡无法入眠。天刚亮时，他翻身坐起：“玛丽，我们赶快进实验室去，办法有了，也许问题就出在这里。”

拉瓦锡只穿一件睡衣坐在实验台旁，他用不怕火的石墨软膏厚厚地将一块金刚石裹起来，然后放在火上进行高温灼烧。他考虑过去人们研究燃烧都是在空气里进行的，谁敢保证这种看不见的空气里会不会有什么物质在燃烧时参加进去，或是带走什么呢？现在将这金刚石裹得严严实实不与空气接触，看它会出现什么现象。他就这样睡衣托鞋、蓬头黑手地在实验台旁忙着。这时在高温火焰下，那裹着厚厚一层石墨的金刚石已被烧得通红，就像炉子里的红煤球一样。拉瓦锡小心地熄灭火，等它慢慢冷却后再剥开一看，发现金刚石竟完好无损！

“看来燃烧和空气有很大的关系。”他一边洗脸，一边说。

“燃烧不是物质内的燃素在起作用吗？”玛丽一边收拾仪器，一边问道。

“大家都这么说，我看未必就是这样。”

拉瓦锡早就对燃素说产生了怀疑。今天这个实验更加明确地证明了，燃烧现象根本不在燃素，而在于空气。

然而在燃烧过程中空气发生了什么样的变化呢？最好的办法就是检测一下它的重量。拉瓦锡立即又设计出新的实验方案。

他在密闭的容器里烧炼金属，在燃烧前后他都仔细地用天平称过重量，发现重量没有一点变化，他再称金属灰的重量，增加了，又称烧过后的空气的重量，却减少了，而减少的空气和增加了的金属灰正好重量相等。于是拉瓦锡便推断出化学上一条极重要的定律即：重量（质量）守恒定律。物质既不能创造也不能消灭，化学反应只不过是物质由这种形式转换成另一种形式的形式转换。

当拉瓦锡由燃烧金属发现燃素说并不可靠后，他便放下了其他研究课题而专攻各种燃烧现象。他又投资添置了一些设备，带了几个助手，将自己的实验室重新布置一番，实验室真成了一个燃烧展览馆。他这个豪华的实验室曾接待过许多科学名人，瓦特、富兰克林都曾到这里作客。一天英国学者普里斯特利又来这儿访问，拉瓦锡陪他在实验室边漫步边讨论问题。当来到几个玻璃罩前时，普里斯特利问：“这是在干什么？”

“我将磷用软木漂在水面上罩着燃烧，烧后水面就上升，占去罩内空间的五分之一，你再看这个罩内是烧硫磺的，水面也是上升了五分之一。这个现象说明燃烧时总有五分之一的空气参加了反应。”

“对。我也曾发现空气中有一种‘活空气’，蜡烛遇见它时会更亮，而小老鼠没有它很快就会死亡。拉瓦锡先生，你知道舍勒在1772年就曾找见过这种空气，他叫它为‘火焰空气’，我想，这和你找到的那五分之一的空气很可能是一回事。但是，我觉得物质燃烧是因为有燃素，恐怕和这种空气没有关系。”

“不，有没有它大不一样。你看这玻璃罩里剩下的五分之四的‘死空气’，你若再放进什么含有‘燃素’的东西，无论磷块还是硫磺，它也不会燃烧了。尊敬的普里斯特利先生，你的发现对我太有启发了，看来空气里一定包含有两种以上的元素，起码这‘活空气’就是一种，空气并不是一种元素。”

“这么说，水也不应该是一种元素了。因为我已经发现在水里也包含有这种活空气，而且用一种活空气和另外一种空气（氢气）在密封容器里加热，就又能生成水。”

“真的吗？”拉瓦锡突然停下脚步，眼睛直盯着普里斯特利。

“真的。你这里的实验条件太好了，让我们重新做一次。”

普里斯特利熟练地制成了两种气体，然后将它们混合到一个密封容器里，便开始加热，一会儿容器壁上果然出现了一层小水珠。拉瓦锡等实验一完就拉着普里斯特利到客厅里，连叫玛丽。

“玛丽，你知道吗，我们今天不但进一步发现了燃烧的秘密，还找到了新的元素，它既存在于水中，又存在于空气中，这就打破了水和空气是一种元素的说法，说明了它们都是可分的。这种东西能和非金属结合生成酸，又能使生命活下去，就叫元氧吧。”

“拉瓦锡先生，你真是一个很大胆的科学家，我曾经做过不知多少次实验，你就是不敢放弃燃素说，总也没有找到问题的关键。今天这个发现真是我们化学界的一件大喜事。”

氧气本是舍勒和普里斯特利最先发现的，然而他们为什么看不到它与物质燃烧之间的关系呢？原来是受了旧燃素说的束缚，使他们不敢有任何非分之想。本来做学问首先靠观察积累，第二要靠思考比较。观察积累基本上还是在旧理论指导下的收集、整理，需要非常细心且能吃苦；而思考比较却是在新事实的基础上进行归纳与突破，要的是大胆与勇敢。一个旧理论的推翻

也就是一个新理论的建立。只有少数既聪明又勇敢的人才会去不断的观察新问题，收集新材料，不断的打破旧的理论框框，摈弃旧假设，胜利便是属于他们这些人的。

段时间后，拉瓦锡的处境便开始困难起来，不久他正式被控贪污，又过了不久他的实验室也被查封了。拉瓦锡并不觉得会有什么大事发生。他想，作为一个科学家，总要为社会办一点事，于是他便加紧编书。过去他曾出过一本《化学教程》，这本书总结了他多年来所做的实验，并提出了氧化学说，将统治化学界近百年的燃素说完全推翻。书刚一出版即被抢购一空。现在拉瓦锡又将这本书补充修订准备再版。并且他又将这几年新发现的元素整理成一张表，共 33 种，分作四类：

1. 气体单质：光、热、氧、氢、氮。
2. 非金属单质：硫、磷、碳、盐酸根、硫酸根、硼酸根。
3. 金属单质：锑、银、砷、铋、钴、铜、锡、铁、锰、汞、钼、镍、金、铂、铅、钨、锌。
4. 土类单质：石灰、镁土、钡土、铝土、硅土。

这是化学史上的第一份科学的元素表。那些世界由水、土、气、火构成的四元素说到此也就彻底破产了。化学在拉瓦锡面前是彻底敞开了大门。许多新奇的现象，有趣的问题，接踵而至。但是他有一种预感，感觉有什么祸事就要临头了，手头的工作可能干不完了。这种莫名的念头又不敢对妻子说，因此他整天埋头写作，妻子也加紧帮他画插图。

果然，一天上午，拉瓦锡刚在桌旁坐定就有两人进来，说法庭传他去一趟。他知道那个预感今天可能要变成现实了。他冷静地站起来说：“幸好我的书已经全部完成了。”返身取了一顶帽子便随来人而去。在法庭上，审判也极为草率，他本是律师出身，但也未能够张口为自己辩护几句。一位好心的律师提醒法官说：“拉瓦锡先生可是一位全欧洲闻名的科学家啊！”法官却说：“革命不需要科学家，只需要正义。”当即判了他的死刑。

1794 年 5 月 8 日，拉锡被反绑着双手，押向广场中心的断头台。这时广场上已人山人海，将要断头的几个人一字排开的站在台上。拉瓦锡被判死刑的消息，惊动了巴黎的许多科学家，真是太荒唐了，什么时候听说过一个科学院的院士被抓来砍头呢？曾与他一起研究过化学命名法的柏托雷连忙赶来。妻子玛丽也来了，她一夜之间衰老了许多，这时正抱住拉瓦锡的头失声痛哭。拉瓦锡多么想用手为她拭去泪水，去拥抱一下这个从 14 岁起就开始追随他的妻子，可是由于手被反绑着而无能为力。他让玛丽抬起头来，说要再仔细的看看她。拉瓦锡平静地说：“玛丽，你不要为我悲伤，感谢上帝，我已完成了自己的工作。我今年 51 岁，可以说已经度过了非常愉快的一生，而且可以免去一个将会有诸多不便的晚年。我能够为后人留下了一点知识，可能还留下了一点荣誉，应该说我是幸运的。”玛丽瞪着两只泪眼，只是呆呆地望着他，喉咙里像被什么东西噎住发不出一点声音来。

这时，只听身后那面大铡刀由空而降，嗖地落下，卷起一阵凉风，扫得人心里发慌，接着就听“嚓”的一声，一颗人头像被菜刀剃下的一节黄瓜液在台上。刚杀掉的是一个僧侣。接着，那面铡刀又嘎吱吱地升了起来，就听监斩官吼道：“下一下，拉瓦锡！”玛丽听到这吼声，便昏倒在拉瓦锡的脚下，柏托雷还抱着一线希望，冲到监斩官面前，高声喊道：“不能杀他啊，法国不能杀掉自己的儿子。你们一瞬间就砍下他的头，可再过 100 年也不会

长出一颗这样的头了啊！”但是，这位现代化学的创始者顷刻间便人头落地了。

钾与钠的发现

由于伏打发明了电池组，从而开辟了电化学这一领域。这一领域刚拓开便有人大踏步走来。这人就是戴维（1778~1829）。

戴维出生在英国一个沿海小城的一个木匠家庭，小时候便是一个有名的浪荡子。父母很希望他能成才，好改换门庭，于是送他到学校去读书。然而小戴维虽头脑十分灵活，却不肯用在书本上，他每天左边口袋装着鱼钩鱼线，右边口袋装着一只禅弓，早晨上学前也经常要跑到海边去打几只鸟，钓几条鱼，因此经常迟到。有时正在上课，他也悄悄将口袋里的鸟放出来，学生们便一窝蜂地去捉鸟，老师知道是戴维这个罪魁，所以他一迟到就气得先捉住他的耳朵厉声训斥几句，又追问去干了什么坏事，并没收了他口袋里的弹弓、鱼钩、小鸟等物。这天戴维又迟到了，两个口袋鼓鼓囊囊，疯了似的冲进教室正要向自己的座位上奔去。老师厉声喊道：“戴维！又到哪里闯祸去了！”说着上来用一只手扯制着他的耳朵。谁知戴维向他鼓了鼓小眼睛，一句话也不答。老师便更提高嗓门吼道：“把口袋里的东西掏出来！”

“就不给你！”戴维说着还故意用手将口袋护住。

“给我！”当着全体学生，老师丢了面子，因此他一只手掐紧戴维的耳朵，另一只手便向他口袋里掏去。谁知他的手刚伸进口袋便“啊”的一声尖叫着抽了出来，连扯着戴维耳朵的那只手也早已松开。随着老师抽出的那一只手，一条绿色的菜花小蛇落在老师的脚下。教室里一下炸了窝，学生们有的惊叫，有的哄笑。而戴维却不说也不笑，一本正经地拾起小蛇，装进口袋里，又慢慢的坐在自己的座位上，就像刚才什么事情也没有发生一样。他越是这样一本正经，学生们就越是笑得前仰后合，而老师更是气得脸红脖子粗一句话说不出来，最后挟起讲义，摔门而去。

老师离开教室后便径直向戴维家走去。戴维的父亲正在干活，老师气呼呼地推门而入，如此这般地学说一遍，把老木匠气得两手发抖、五脏乱颤。戴维放学回来了，一进门就劈头挨了一巴掌，母亲闻声过来拖住父亲，一边心疼地喊：“你下手那么重，真要打死孩子吗！”

“这样的孽子不要也可以！”

一个要打，一个要拉，两位老人也扯缠在一起，累得上气不接下气。

“你呀……”老木匠气得一屁股跌坐在椅子上，“我这辈子算是对你没有指望了。”

发生这件事后不久，戴维的父亲便一病不起，过了一阵子便作古而去。戴维的母亲拖着五个孩子，日子实在无法维持下去，只得将他送到一家药店里当学徒，也好省一张吃饭的嘴。就这样戴维每天给人抹桌子扫地、端脸盆倒尿壶，到了月底别人都领了工资，他却分文没有。他伸手问老板去要，老板当众将他那只小手狠狠地打了一巴掌说：“让你抓药不识药方，让你送药认不得门牌，你这双没用的手怎好意思伸出来要钱！”店里的师徒也哄堂大笑，戴维满面羞愧转身就向自己房里奔去，一进门就扑在床上，眼泪刷刷地流了下来。他从前可没受过这种羞辱，可是现在不能跟学校和家里相比。现在是吃人家的，喝人家的，再说如果跑回家去吧，不也是让母亲为难吗？戴

维在学校时功课学得不怎么好，却爱写几句歪诗，他一翻身掀起自己的衬衣，撕下一块来，随即又咬破中指在上面写了几句话，便冲出门去。外面店员们正闹哄哄地向老板敬酒，不提防有人啪地一声将一块白布放在桌子中央，只见上面写着：“莫笑我无知，还有男儿气，现在从头学，三年见高低。”大伙再一细看，竟然是鲜血写成的，大家非常吃惊，只见戴维挺身站在桌旁，眼里含着泪水，脸面绷紧，显出十二分的倔强来。他们这才明白，这少年刚才自尊心受到伤害，忙好言相劝拉他入席。然而戴维却说：“等到我有资格时再来入席。”返身便走。

就这样戴维开始发愤读书了，他给自己制订了自学计划，光语言一项就有7种。他还利用药房的条件开始研究化学。果然不到3年，药铺里的伙计谁也不敢小看戴维了。我们常说的才学、才学，世上有许多人是苦学的，然而缺才；但也有很多人非常有才，却就是不肯用在学问上，所以成为歪才、废才。而戴维本是有才之人，一朝浪子回头，把才能用在治学上，其能量是不可估的。当时，恰好贝多斯教授在布里斯托尔成立了一个气体疗养院，专用新发现的气体为人治病，而戴维也被邀请去那里工作。在这里戴维发现了一种“笑气”（一氧化二氮），人一吸入这种气体便会不自觉地兴奋发笑，因此更是名声大振，第二年升为教授。第三年，他还不满25岁便又当选为皇家学会的会员。

戴维本是一个钓鱼打鸟的顽童，浪子回头，发奋读书，十年工夫便取得了如此成就是难得的。他更知时间的可贵，条件难得，因此也就更加刻苦研究新的课题。在许多研究题目中他对伏打电池的电解作用非常感兴趣。他想用电解能将水分成氢、氧，那么其他物质也一定能分解出什么新元素来。当时化学实验最常用的物质就是苛性碱，不妨拿它试一试。戴维现在搞起科研来也还保留着少年时胆大豪爽的作风，他刚有这个想法便立即和他的助手、堂兄埃德蒙得把皇家学院里所有的电池都统统集中起来，其中包括24个大电池，光是那锌、铜制的正负电极板就有35厘米宽；还有100个中等电池，其电极板都有18厘米宽；另外还有150个小电池。这真是一支电池的大军，戴维决心要让那苛性碱在他的手下分出个清清楚楚。

这天戴维和他的堂兄起了个大早，开始了这场计划已久的试验。他们先将一块白色的苛性碱溶解成水溶液，然后再将那庞大电池组的两根导线插入溶液中，这时溶液立即沸腾发热。两条导线附近马上出现了气泡，冲出水面。开始他们还以为这热闹的局面而高兴，但一会儿就发现上当了，发出的气泡是氢气和氧气，刚才被分解的只不过是水，而苛性碱却还是原封不动！这苛性碱真的就是一种元素而不能再分了吗？戴维的倔劲又上来了，他不信邪。水溶解不成，改用火攻。接着他将一块苛性碱放在白金勺里用高温酒精灯将它熔化，然后便立即用一根导线接在白金勺上，再将另一根导线插入熔化物中，果然电流通过了，在导线与苛性碱接触的地方出现了小小的火焰，颜色是淡淡的紫色，并且是从未见过的美丽颜色。戴维大叫：“埃德蒙得，快看，它出来了！”

“它在哪里？”

“就是这火，这淡紫色的火焰。”埃德蒙得也兴奋极了，他把鼻子凑近白金勺，仔细看着说：“但我们总不能把这火苗储存在瓶子里啊！”

那么，怎么收集这种物质呢？戴维又犯了愁，看来这是因为熔融物的温度太高，这东西又易燃，一分解出来就着火了。水溶不行，火熔也不是个好

办法。

1807年11月19日，是英国皇家学会一年一度举行贝开尔报告会的日子，戴维满怀希望这次能拿一样新发现的元素去轰动一番。但是时间只剩个星期了，这苛性碱却软硬不吃，水火不成，他设计了很多种方案都不奏效。这些日子戴维就像只拧紧发条的钟，一刻也不停地摆动，他一会儿冲到楼上摆弄一下电池，一会儿冲到实验桌上，墨水飞溅地在记录簿上随便涂几行字。他到底不是书香门第出身，身上还留有那海边小镇上的野风与儿时的顽皮习气。实验再紧张也忘不了享乐，就像当年上学不误打鸟一样。每晚只要有舞会宴席，每场必到，只是忙得顾不上换衣服，从实验室里出来，在外面再套一件干净外衣就去赴宴，回来后也不脱衣倒头就睡，第二天晚上去舞会时再套上一件。过几天猛然醒悟再一起脱掉。因此人们常说戴维教授常常胖几天，瘦几天，很叫人无法捉摸。他情绪极易冲动，冷静的时候不多，头脑极聪明，但又缺乏耐心，怕寂寞孤单，也爱慕虚荣，最顽强，又非常自信。对他这种风风火火的工作作风，助手们早已熟悉，而大家却极信任他的才气，因此总是每呼必应，实验室上下团结一致，倒也配合得非常默契。

戴维眼看报告会的日期就到，电解苛性碱还是水火攻不进。他焦虑地苦思苦干了十几天，比较了十几个方案。这天他忽然想出一个办法：何不把苛性碱稍稍打湿，令其刚好能导电却又不含剩余水份呢？这个点子一冒出来，他高兴地一拍大腿高喊一声：“成了！”倒把埃德蒙得吓了一跳，忙问：“什么成了。”

“不要多问，赶快拿碱块来。”

一个碱块儿放在一只大盘里端了上来。要让这东西轻轻打湿并不必动手加水。只须将它在空中稍放片刻，它就会自动吸潮，表面成了湿乎乎的一层。这时戴维和他的一群助手围着这块白碱，下面垫上一块通电的白金片，等表面刚刚发暗变湿，就一声令下：“插上去！”不等话音落地，另一根导线便“嗤”地一声穿入碱块。然后啪的一声，像炸了一个小爆竹一样，那导线附近的苛性碱便开始熔融，并且熔得越来越快。你想那小小碱块哪能经得起这数百个电池的电流的通过，一会便渗出滴滴眼泪，亮晶晶像水银珠，一滴一滴往下淌。有的刚一流出就啪的一声裂开，爆发出一阵美丽的淡紫色火焰，随即便消失得无影无踪，而有的“珠子”侥幸保存下来，却又很快失去了光泽，表面蒙上了一层白膜。

戴维看到这里突然离开了实验台，就地转了一个漂亮的舞步，如醉如狂地大跳起来，他边跳边拍着巴掌，嘴里念道：“真好，好极了！戴维，你胜利了，戴维，你真行啊。”他这样疯颠颠地在实验室里转了几个圈子，带倒了三角架，打落了烧杯、试管等，大约有五六分钟他才勉强使自己镇静下来，忙喊道：“拔掉，拔掉导线，埃德蒙得，不必要了，我们找到了，成功了！”

戴维确实成功了，他电解出来的那亮晶晶的珠子就是金属钾，接着他又用同样的方法电解出了金属钠。

作报告的日期到了。这些天来戴维已经疲劳到了极点，而且身上还时冷时热。但他怀着极兴奋的心情支撑着走上了讲台。讲演前，皇家学院的报告厅里早已水泄不通。那些上流社会的爵士、贵妇们其实根本不懂什么是科学，然而化学表演，就像魔术一般能满足他们的好奇心。这天，戴维不负众望，将自己这些日子辛苦制得的一小块金属钾泡在一个煤油瓶里，向人们介绍

说：“这是三天前世界上刚发现的新元素。我给它起名叫锅灰素（英国人叫苛性钾是锅灰）。它是金属，然而性格却真怪，既柔软又暴烈，身体还特别轻，入水不沉，见火就着。”

戴维说着就用小刀伸进煤油瓶里轻轻一划就割下一块钾来，然后把它挑出来放进一个盛满水的玻璃盆里。这时钾块立即带着滋滋的呼啸声在水面上像着了魔似的乱窜，接着一声爆响，发出一团淡紫色的火焰，接着声音越来越小，体积越来越小，慢慢消失在水里，无影无踪……

世上哪有这样的金属？台下的人简直看呆了，大家都凝神屏息看着这种奇特的新元素突然出现又突然消失。也许那玻璃盆里一会儿还会出现什么新东西，他们看到戴维伏首在桌上也不说话，头都抵住盆沿了，全场一片肃静。然而等了一会儿，盆里什么也没有，主讲人也不说话。突然有谁喊了一句：“戴维先生怎么了？”

这下提醒了人们，前排几个人立即跳上台去，将戴维扶起。一碰他的双手，早冷得像冰一般，人们狂呼着：“快送医院！快送戴维去医院！”

送到医院以后，经过尽力抢救，才保住了生命，然而已元气大伤。因而没过几年，他就因身体欠佳被迫离开了皇家研究院。

元素周期表

在门捷列夫那宽大的写字台的玻璃板下面，放着一张写满了化学元素符号的表。这就是他的法宝，是他经过多年辛勤劳动得到的一个既能总结过去，又能预示将来的法宝——元素周期表。

现在，元素周期表早已为人们熟悉了，化学和物理学教科书里，各种手册里，甚至连常用的小字典里都印着它。在这里我们先把元素周期表作一些简单的介绍。

大家一定很熟悉剧场和电影院的坐次表吧。那是一张按剧场坐位画出来的表。如果你拿到一张电影票，只要看看那张表，不用走进电影院，就能知道自己坐在哪儿，因为那张表上，把每个号码的位置都画出来了。

周期表就是化学元素的“坐次表”。每个元素该坐在哪一行，哪一列，表上都写得清清楚楚。

下面的这张表就是现在常见的一种元素周期表。为了让初学的人容易了解，我们简化了它的内容。

初见到这张表的人常常会产生这样的问题：为什么要把这张表叫做元素周期表呢？

在我们周围的世界中，存在着形形色色、各不相同的许多种类的物体。这多种多样的物体，都是由为数不多的一些元素的原子所构成。到目前为止，人们已经发现的元素（包括人造元素）一共只有 107 种。

由同一种元素的原子组成的物质，叫做单质，例如，金、银就都是单质，因为它们分别由同一种金元素和同一种银元素的原子所组成。氧气、氢气也都是单质，它们分别由氧元素和氢元素的原子组成为氧气和氢气的分子。由不同元素的原子互相化合而成的物质，叫做化合物。例如，我们每天都离不开的食盐和水，就都是化合物，食盐是由钠元素的原子同氯元素的原子互相化合而成的；水是由氢元素的原子同氧元素的原子互相化合而成的。把这 100 多种化学元素，按照它们的原子核所带的电荷的多少（即原子序数），依次

排列起来，这些元素以及由它们所组成的单质和化合物的性质，就表现出有规则的变化，并且，经过一定的间隔，就重复出现这种有规则的变化。例如，从第3号元素锂到第10号元素氖，这8个元素的单质，由典型的金属锂，经过金属性较弱的铍，过渡到非金属硼和碳，再经过非金属性越来越强的氮和氧，到典型的非金属氟，然后经过惰性气体氩便又出现了典型金属钠。从第11号元素钠，到第18号元素氩，又重复出现了上面的这种有规则的变化，依次出现典型的金属、金属性较弱的元素、非金属、非金属性较强的元素、典型的非金属，最后出现另一个惰性气体氩。类似这种周而复始的变化，共达7次之多。这种类似性质的元素之间的间隔，便叫做周期。

因此，人们把这种元素以及由它们所组成的单质和化合物的性质，随着原子序数的增大而周期地改变的规律，叫做元素周期律。

根据元素周期律，人们把107种元素按周期和族列表排出，以便于学习和应用。这种表就叫做元素周期表。

在周期表里，我们把横排叫做周期。现在周期表里，共有7个横排，就是有7个周期。纵行叫做族，就是家族的意思；族里面还有主族和副族之分。现在的周期表里共有8个主族，它们是第1到7主族和零族。还有8个副族，它们是第1到第7副族以及第8族。表的左侧标出的阿拉伯数字，代表周期的次序；表的上方的罗马数字代表族的次序；罗马数字右边的字母A代表主族，B代表副族。

以前混乱的、互相间好像毫无联系的各种元素，在周期表里都整整齐齐地排好了队。它们排列得就像少先队员排队时那样整齐，横看横成列，竖看竖是行。不过，少先队员是按个子高矮，而元素排队是按它们的核电荷数的多少（门捷列夫当时是按原子量的大小）来排列的。

由于元素周期表是根据元素周期律排列出来的，因而在每一个横排也就是同一个周期里的元素的性质，从左到右呈现出有规则的变化；每一竖行也就是同一族里的元素，都具有相似的性质，并且这种性质依照从上到下的次序也呈现出逐步增强或者减弱的趋势。

通常人们都用元素的金属性和非金属性来表示这些规律。

什么是元素的金属性和非金属性呢？

一种物质如果像金、银那样闪闪发亮，人们就说它有金属光泽。金属光泽就是一种金属性。通常所说的金属性还有传热、导电等等。不过这类性质都不牵涉到物质成分的改变。所以它们都属于物质的物理性质。物质的金属性的更重要的表现，还在于它们的化学性质，也就是物质在发生化学反应的时候所表现出来的性质。一个典型的金属能和氧、和非金属、和酸等物质起化学反应。一般衡量一个元素的金属性是强还是弱，是看它的最高氧化物和水起反应所生成的化合物碱性是强还是弱。一个元素的最高氧化物的水化物如果呈碱性，那么，这个元素就呈现金属性，碱性越强，元素的金属性也越强。

比如说钠元素吧，它除了具有金属光泽，能传热导电，并能和氧、非金属、酸等物质起反应外，它的氧化物也就是氧化钠，能和水反应生成氢氧化钠。氢氧化钠是一个很强的碱（俗称火碱），因此，钠就被认为是一个金属性很强的元素。

同样的道理，一个元素的非金属性，也是用类似的方法去判断的。不过，标准正好和前面说的相反，是看它的最高氧化物水化物的酸性如何了。一个

元素氧化物的水化物酸性越强，就说明它的非金属性越强。

例如硫元素，它的最高氧化物（三氧化硫）的水化物是硫酸。硫酸是著名的三大强酸之一，因此，硫是一个具有较强的非金属性的元素。

在元素周期表里，元素的金属性和非金属性表现出明显的有规则的变化：在同一周期里，元素的金属性随着原子序数的增加而减弱，元素的非金属性随着原子序数的增加而加强。

比如，拿第2周期来说：

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | A | A | A | A | A | A | O |
| 钠 | 镁 | 铝 | 硅 | 磷 | 硫 | 氯 | 氩 |

钠元素的氧化物的水化物——氢氧化钠，是一个著名的强碱。

镁元素的氧化物的水化物——氢氧化镁，是一个中等强度的碱，比氢氧化钠要弱得多。

铝元素的氧化物的水化物——氢氧化铝则是一个典型的两性化合物，它既同酸发生反应表现出碱性，又能同强碱发生反应表现出酸性。

硅元素的氧化物的水化物——硅酸，是一个极弱酸。

磷元素的最高氧化物的水化物——磷酸，是一个中强酸，比硅酸的酸性要强得多。

硫元素的最高氧化物的水化物——硫酸，已经是一个著名的强酸了。

氯元素的最高氧化物的水化物——高氯酸，是无机酸中最强的酸。

同一个主族里的元素，具有相似的性质。比如，第1主族的元素，除氢元素外，都是金属性很强的元素，它们的氧化物的水化物都是强碱，所以，人们又把它们叫做碱金属。第7主族的元素，都是非金属性很强的元素，它们的最高氧化物的水化物都是强酸。

在同一主族里面，随着原子序数的递增，元素的金属性增强，非金属性减弱。比如，在第3主族里，最上边的元素硼的非金属性较强，它的氧化物水化物是一个弱酸，就是平常眼科医生给病人洗眼用的硼酸。硼下边的元素铝，已经说过是一个两性元素，既具有明显的金属性，也有一定的非金属性。而这一家族的最下边的成员铊，就具有较强的金属性，它的最高氧化物的水化物已经是一个典型的碱，而不具有酸性了。

在元素周期表里，元素的化合价，也就是一种元素的原了，能和他种元素的原子相结合数目，也表现出有规则的变化。

不只是金属性、非金属性和化合价，元素的几乎所有性质，在同一周期和同一族里，都是按顺序逐渐变化的。这种情况，在我们常用递变这个词来表示。

不过，当年在门捷列夫初次排出周期表的时候，那张表还不像现在这么完整。因为，当时人们只知道63种元素，许多元素还没有被发现，所以在门捷列夫排周期表的时候，曾经碰到了许多困难。要不是他对科学的信仰，要不是他有坚强的毅力，要不是他具有非凡的预见，要从当时那些杂乱无章的元素知识中找到这样的规律，并排列出这张表来，实在是不可可能的。

发现分子

通常情况下的气体，没有颜色，没有气味，看不见、摸不着，气体里面

的微粒，才是真正的分子。有什么事实来证明这一论点是正确的呢？这还得从化学的发展谈起。波义耳，是英国的化学家，同时也是一位物理学家。他研究了气体体积和压强的关系，并于1660年公布了有名的波义耳定律。100多年后，法国物理学家查理，又研究了气体体积和温度的关系。于1787年提出了有名的查理定理，这两个定律虽然只说明了气体的物理性质，但却为人们从化学变化中，去研究气体体积的变化规律创造了条件。

1808年，法国的化学家盖—吕萨克，在研究气体跟气体发生化学反应时，得出了气体体积发生变化的规律。他发现参加反应的各种气体，彼此的体积（在一定压强和温度条件下）成简单整数比。这是他通过许多实验事实证明而得出这一结论的。

在盖—吕萨克提出他的气体反应定律之前，英国的化学家道尔顿刚刚宣布了原子论。但是，如果根据道尔顿当时的原子论，却无法解释盖—吕萨克的气体反应定律。因此，当时他们这两种观点曾引起了一场争论，直到建立了分子的概念，弄清楚了原子跟分子的联系和区别之后，这场争论才结束。

他们两种观点发生争论的焦点在什么地方呢？

首先要明确的几个问题是：

第一，波义耳和查理的定律，适用于任何气体。这个事实可以设想为：在同温同压下，任何气体的体积相同时，所包含有的微粒数相同。

第二，盖—吕萨克的气体反应定律，也同样适用于任何气体。这一事我们可以设想成：参加反应的气体微粒数之间，呈简单的整数比。

但是以上的设想产生了这样一些矛盾。

首先按照道尔顿的说法，氢气、氧气和气体中的微粒是简单原子，即一个微粒只是一个原子，并且道尔顿认为原子是不可分的。那末，就解释不了2体积氢气正好和1体积氧气发生反应，生成2体积的水蒸汽这一事实；

也就是说2个氢微粒跟1个氧微粒化合，能生成2个水微粒，那么必然每个水微粒中只有半个氧微粒。道尔顿认为氧微粒（即氧原子）是不能分成两半的。然而事实上氧微粒（即氧原子）确是分开了。

其次，道尔顿坚持氧微粒（他以为是原子其实是分子）是不可分的，那就只能认为2个体积氢气中的微粒数和1个体积氧气中的微粒数相等，即2个氢微粒和2个氧微粒化合，生成2个水微粒。那么，这种体积相等的气体中，在同温同压条件下所含微粒数不一定相等的说法，不仅毫无根据，并且跟波义耳、查理两人的定律格格不入。

盖—吕萨克经过推理认为：不同的气体在同样的体积（指在同温、同压条件下）中，所含的原子（不是前面所说的那种微粒）数，彼此应该有简单的整数比。现在来看，这一推理是正确的，而道尔顿认为微粒（分子）数可以是整数比，甚至不成比例，更不会一定相等的看法是错误的。可惜在当时那场争论中盖—吕萨克未能再进一步建立起分子的概念，而道尔顿也一直认为水分子是一个氢原子和一个氧原子结合成的复杂原子。

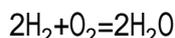
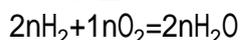
因而道尔顿的原子论中，是把原子和分子混为一谈了。道尔顿原子论的总体思想，对当时化学的发展，具有重大的积极意义，然而其中也掺杂了一些机械的主观的东西。

1811年，意大利的物理学家阿佛加德罗，参与了上述问题的讨论。他精心的研究了道尔顿和盖—吕萨克两人的全部资料，经过了认真的思考后巧妙的构思出了一个周到的设想，在道尔顿和盖—吕萨克两人的争论分歧之间，

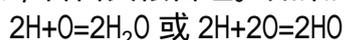
架起了一座桥梁，这便是分了，和原子不同的真正的分子。

阿佛加德罗所设想的分子，特别是单质的分子，可以由不同数目的同种原子组成。他认为氢气、氧气等单质分子中，各有两个原子。这样一来，盖—吕萨克的气体反应定律，就能得到很好的解释了。这可以用下列方程式来说明：

2 体积氢气+1 体积氧气=2 体积水蒸汽



用我们现有的化学知识，便很容易理解上面的三层关系，既能层层互相联系，各自又很合理。如果第三个式子是



那么都是说不通的。

阿佛加德罗提到的分子，是从道尔顿的原子理论中分化出来的。这种分子的概念，是阿佛加德罗根据宏观实验现象所做出的假想。是阿佛加德罗从困境中解救了道尔顿，然而道尔顿却不相信阿佛加德罗的说法。作为原子论发起人的道尔顿，坚持认为同种的原子必然互相排斥，不能结合成分子，否定 H_2 、 O_2 的存在，从根本上拒绝了阿佛加德罗的一片好心。

阿佛加德罗提出的分子假说，本身就是对的，但由于遭到别人的反对。自己却又提不出更有力的事实来作为旁证。加上当时化学学术界，还没有统一的原子量，也没有固定的化学反应式，很多认识比较片面，思想混乱。所有这些都使得阿佛加德罗的学说遭受冷遇竟达 50 多年之久。直到 1860 年，在一次国际性的化学会议上，人们还在为分子假说争论不休，毫无结果而散会时，阿佛加德罗的学生意大利物理学家康尼查罗，散发了他的关于论证分子学说的小册子。

康尼查罗在小册子的文章中，重新提到了他的老师的假说，用充分的论据明确指出：“……近来化学领域所取得的进展，已经证实阿佛加德罗、安培和杜马的假说，……即等体积的气体中，无论是单质或是化合物，都含有相同数目的分子，但它绝不是含有相同数目的原子。……阿佛加德罗和安培的学说必须充分加以利用。”（安培和杜马也曾有跟阿佛加德罗近似的设想）

康尼查罗的论文条理清楚，呈述严谨，他的要求和分析很快得到了化学界的赞许和承认。近代的原子——分子的统一理论，终于在 19 世纪的 60 年代得以确立。

气体都是以分子状态存在的，化合物的分子都是由几种不同的原子构成的。并且在同温同压下，相同体积的气体所含原子数也不一定相同，然而所含的分子数却是肯定相同的，都是 6.02×10^{23} 个，后人将这个数叫阿伏伽德罗常数。在原子和宏观物质之间由于有了分子这一概念的过渡，许多化学反应便都很好解释了。这在化学史上是一大突破。所以恩格斯指出化学的新时代是从原子论开始的，“近代化学之父不是拉瓦锡，而是道尔顿。”

惰性气体

天文学家让逊和洛克儿在观察日食时从太阳光谱中发现了一种新谱线，给物理学家出了一个难题，很长一段时间谁也无法解释清楚。人们只好猜测

太阳里可能有一种新元素，于是就把它定名为“氦”（希腊文太阳之意）。1892年，洛克尔突然收到一封信，信中提出一个无法解释的疑问，洛克尔就干脆把它发表在自己主办的《自然》杂志上：

“今有一事特向贵刊和贵刊的读者求教。我最近多次用两种方法制取氮气，但它们的密度却总不一样。既然是同一物质为什么会有两种密度呢？”

瑞利 1892年9月24日”

瑞利(1842~1919年)是谁呢？他是剑桥大学的教授，他有极好的耐心，因而他就选择了一个极需耐心的研究题目，便是测量各种气体的密度（密度是指1升气体在0和一个大气压下的质量）而他的实验室里也有一架当时极好的天平，其灵敏度可达到万分之一克。他制成了一个大玻璃球，然后用真空空泵将球内空气抽空，再称出球重，算出体积，然后充进各种气体，称出净量后，求出密度。这是一种重复枯燥的事，他却能不厌其烦。每种气体都要称几次，并且气体每次都是以不同的方法制得，如果测量的结果都一致了，他这才放心。他就这样对着那个玻璃球，抽了又充，充了又称，称了再算，从1882年开始一直干了整整10年。这工作虽然枯燥繁琐，然而那些气体在他的手中却都有了一个精确的密度，心情倒也十分愉快。不想有一次，瑞利这个办法却再也不灵了。他在测氮气密度时，第一个办法是让空气通过烧得红热的装满铜屑的管子，氧与铜生成氧化铜，那么剩下的就是氮气，密度为每升1.2572克。第二个办法便是让氧气通过浓氨水，生成水和氮气，这种氮气的密度为每升重1.2560克，比空气中的氮轻了0.0062克。瑞利百思不得其解，便向《自然》杂志写了以上那封信。信发表后，瑞利一面盼着回音，一面不停地重复这个实验。但他的信在杂志上公布了二年之久，竟没有收到一封回信。瑞利实在等得不耐烦了，便带上他的仪器直奔皇家学会。1894年11月19日，他向许多化学家、物理学家当面作了一个关于“两种氮气”的报告。这一招还真灵，报告刚完，便有一个化学家拉姆赛(1852~1916年)自告奋勇提出帮忙，他说：“两年前我看到你那封信还没有弄懂其意，今天我才明白，你从空气中得到的氮气一定含有杂质，因此密度会稍大。”这时瑞利恍然大悟：杂质不就是未发现的新物质吗？瞬间，蒙在心头的愁云早已化成了眉梢的笑意。瑞利正喜不自禁，有一个叫杜瓦的物理学家又走上前来说：“老兄，这个问题卡文迪许(1731~1810年)早在100年前就曾提出过，我建议你去查找他留下来的笔记，对您或许有帮助。”瑞利现在正是在卡文迪许实验室工作，而那些旧笔记就锁在他身边的柜子里。他一听这话更是喜上加喜，连忙收拾东西回剑桥去了。

卡文迪许是科学史上的一个怪人。他出身于贵族家庭，很有钱，然而他却一不做官，二不经商，三不交际。他把钱都用来买科学仪器和图书。他还建了一个很像样子的私人图书馆，任何人都可以来借书，但是一定要按时归还，就是他自己看书也要先打个借条，办个手续。他的穿戴全是上个世纪的打扮，因此一出门就有许多小孩跟在后面，又叫又笑。他一辈子没有结过婚，不知是缺根什么神经，他从心里厌恶女人，家里雇着女仆，却又规定不许与他见面。每天早晨，他将吩咐女仆办的事写在纸上，然后放在固定地方。吃饭时女仆便先摆好饭菜退出餐厅，他再进来用餐。等他离开后，才允许女仆进来收拾碗筷。一天，他在楼梯上与女仆偶然相遇，竟然气得发抖，返身找到管家，吩咐再造一个楼梯，男女各行其道。他思维怪异，一生的发现有很多，比如：第一个从水中电解出氢、氧，并测出比例；第一个测出地球的密

度等等。然而他却极少公开发表，宁肯让这么多成果掩藏在尘封的笔记本里。直到他死后 50 年，麦克斯韦因受命筹建卡文迪许实验室，才十分吃力地将这些“天书”一本本地整理以后发表。

瑞利赶回剑桥后，一进实验室便開箱启柜，抱出那一堆纸色变黄的笔记，终于在皇家学会 1784 年至 1785 年的年报中找见卡文迪许的一篇《关于空气的实验》，而在其笔记中还看到了更为详细的实验记录。原来这个怪人想出了这样一个怪办法，他将一个 U 形管的两头浸在两个装有水银的酒杯里，架起一个天桥，再用当时还比较原始的摩擦起电机从两头通电，U 形管中的氧气和氮气便在电火花一闪时化合成红色的二氧化氮，接着又滴进一种特殊溶液将其吸收，再通氧，再化合，如此反复多次。卡文迪许和他的助手们轮流摇动发电机，整整摇了三个星期，最后在弯管中还剩下一个很小的气泡，任你怎样通电，它也再无丝毫的表示。卡文迪许当时便断定，空气中的氮气（当时叫浊气）决不是单一物质，一定还包含有一种不与氧化合的气体，而且他还算出了这种气体不会超过全部空气的 1/120。

啊，原来如此。

瑞利看过卡文迪许的笔记本后，喜得手直发痒，立即架起仪器，重做这个 109 年前的气泡试验。由于他现在有了最新的设备，这气泡很快就得到了。他又将此事通知拉姆赛，拉姆赛用其他方法也获得了同样的气泡。看来，这东西肯定是一种还未发现的元素，并且有可能就是洛克和让逊在太阳上发现的那个氦。现在可用得上基尔霍夫发明的那个雪茄烟盒子照妖镜了。他们兴冲冲地取来分光镜，谁知不照犹可，一照心里凉了半截。原来瑞利以为这回他一定找到了那个已有 26 年没有发现得了的氦，却不想分光镜里的光谱却又是另外一种，因此浑身凉了半截。但是当他再仔细观察，发现这谱线是橙、绿两条，和其他已有元素也对不上号，心情不禁又激动起来。他没有抓住“氦”，却无意中发现了另一种新元素。瑞利便给它起了个新名字叫“氩”，这个字在希腊文里是不活动的意思。同时拉姆赛在伦敦也找到了氩。这是 1894 年 8 月的事。

瑞利和拉姆赛找见氩的消息在外界传出后，一位化学家给拉姆赛写信说，铀矿和硫酸反应会生成一种气泡，这种气体不能助燃，也不能自燃，说不定就是你的氩。拉姆赛连忙进行试验，发现这种气体的光谱竟和氩又是不同。他实在想不出这又是一种什么新玩艺儿，便连同装着新气体的玻璃管和分光镜一起送到当时最权威的光谱专家克鲁克斯处，请他鉴定。1895 年 3 月 23 日，拉姆赛正在实验室里工作，突然收到一份电报：

“你送来的气体，原来就是氩气——克鲁克斯。”

真是想不到追寻了 27 年的氩，倒这样轻易地被找到了。

然而拉姆赛脾气很倔犟，他总觉得氩这样躲躲藏藏地和他作对，虽然找到了也不痛快。并且，氩既然不轻易和其他元素结合，那么它一定能独立存在于空气中，因此他决心要在空气中直接找到氩。他知道氩、氩都有惰性，不易通过化学反应将他们分离，因此他换了一个物理的办法，便是将空气冷凝到零下 192℃，使之变为液体，然后根据它们蒸发的先后次序不同，再将他们一一分离开去。

这天上课了，拉姆赛教授走进课堂，便在桌上放了一个特制的杯状大器皿。里面装的是冷凝成液态的空气。学生们从没有见过空气会像水一样盛在杯子里。因而都瞪大眼睛看教授要做些什么，这时拉姆赛拿起一个小橡皮球

在器皿里浸了浸，再往地上一扔，球没有像往常那样蹦起来，却噼啦一声跌个粉碎。学生们惊得一个个眼睛溜圆。教授却不慌不忙，又往一只装满水银的试管里插进一根铁丝，连试管一起往器皿里一泡，再抓住铁丝往外一拉，竟拉出一根水银“冰棍”，拉姆赛又拿起一颗钉子，用这根冰棍，当当几下，就将钉子钉到墙里，这时教室里又响起一片笑声。然而不等笑声消失，教授又从口袋里掏出一块面包，当大家还没有看清是怎么回事，面包却早在器皿里打了一个滚，又捞了上来。拉姆赛说：“快将窗帘拉上！”只见室内一暗，这面包竟发出天蓝色的光。这时学生们却有点急了。那宝贵的液态空气越蒸发越少了，难道花那么多钱就为今天变一阵魔术吗？不想，拉姆赛干脆宣布实验结束，大家回家吃午饭。他将那杯液态空气大敞着口，锁上门，扬长而去。

原来拉姆赛早就有了主意。他想氦一定比氧、氮蒸发得慢，那么最后留在器皿底下慢慢来收拾也不会跑掉。到下午，拉姆赛将器皿底下那点已不多的空气经过除氧、除氮处理后，收得一个小小的气泡，然后再用分光镜一照，氦没有找见，却又出现了一种新谱线——这一定又是一种新元素了。真是阴差阳错。拉姆赛把这种新元素取名为“氦”（希腊文隐藏的意思）。这天是1898年5月24日。

没有找见氦，拉姆赛并不气馁。他想，没有留在最后就说明已先蒸发走了。这次他学聪明了，将液态空气一点点蒸发分馏，然后逐次抽样，再用分光镜检查。他首先找出一种新元素便把它定名为“氦”（希腊文“新”之意），然后终于找见了那个最难寻的氦，接着在1898年7月12日又找见了“氦”（希腊文“陌生”之意）。就这样拉姆赛用分馏法加光谱法，在不到半年内就连续发现了3种不易为人看到的惰性元素。到此为止，那个氦已经让人发现过3次了。第一次在太阳光谱里，第二次在钷铀矿里，第三次在空气里。因为找它，却又牵出了一串惰性元素。后来拉姆赛说：“寻找氦让我想到了老教授找眼镜的笑话。他拼命地在地下找，桌子上找，报纸下面找，找来找去，眼镜就在自己的额头上。氦被我们找了一大圈，原来他就在空气里。”

这些惰性气体是一个家族，由于它们在空气中的含量很少，因此也称为稀有气体。

原子序数就是质子数

原子结构的秘密被人们初步揭开以后，不少科学家都在考虑这样一个问题：元素的原子结构同它在周期表里的座位有没有什么关系？

一位年轻的英国物理学家莫斯莱，首先在这个问题上做出了重大的贡献。

在莫斯莱以前，有的科学家已经注意到，用不同的元素做成的X射线管中的靶子（对阴极），发射出来的X射线的穿透能力是不同的，原子量越大的元素，发出的X射线的穿透能力越强。这种具有特殊穿透能力的X射线被叫做特征X射线。

1913年到1914年间，莫斯莱系统地研究了各种元素的特征X射线。他借助于一种叫做亚铁氰化钾的晶体，摄取了多种元素的X射线谱。他发现，随着元素在周期表中的排列顺序依次增大，相应的特征X射线的波长有规则地依次减小。莫斯莱根据实验的结果认为，元素在周期表中是按照原子序数

而不是按照原子量的大小排列的，原子序数等于原子的核电荷数。

原子序数原来就是原子核里的核电荷数！莫斯莱的这个发现，第一次把元素在周期表里的座位和原子结构科学地联系在一起了。这个发现，给科学家们展现了一个广阔的研究领域。可惜的是，这位勤奋而又有才能的青年科学家，竟然在 27 岁的时候，就牺牲在第一次世界大战的战场上了。

后来，在发现了质子和中子以后，人们终于认识到，决定一个元素在周期表中的位置的，只是它的原子核中的质子数。

例如，氢元素的原子核里只有 1 个质子，核电荷数是 1，所以它必然就排在周期表里的第 1 位。碳元素的原子核里有 6 个质子，核电荷数是 6，因此它就应该排在周期表里的第 6 位。而钾元素的原子核里共有 19 个质子，核电荷数是 19，当然它就是周期表里的第 19 号元素了。

反过来也一样，周期表里第几位上的元素，原子核里一定有几个质子。例如，氯是周期表里的第 17 号元素，它的原子核里也就有 17 个质子，核电荷数自然也就是 17。

可以说，有了这个发现，就解开了周期表当中几个长期叫人困惑的谜！

第 1 个被解开的谜，就是那个让人大伤脑筋的问题——氢和氦之间还能不能再有新元素。

根据这个发现，人们知道氢原子核里只有 1 个质子，应该排在周期表里的第 1 位，而氦原子核里有 2 个质子，当然应该占据第 2 位，虽然在周期表上它们的中间隔着好大块空地，可是质子数在 1 和 2 之间的原子，可以肯定不会再有了。

第 2 个被解开的谜，就是几对元素的顺序倒置问题。前面已经说过，门捷列夫在发现元素周期律的时候，是按照元素的原子量大小的顺序编排元素的。按照当时大多数化学家测定的数值，钴的原子量是 59，镍的原子量是 58.7；碲的原子量是 128，碘的原子量是 127。按照原子量大小的顺序，镍应当排在钴的前面，碘应当排在碲的前面。可是，按照同族元素应该具有相似的性质这个规律（拿化合价来说，碲的最高价为+6 价，应当同硫、硒等排在一族；碘的最高价为+7 价，应当同氯、溴等排在一族），他们排列的次序就应该颠倒过来。后来，还有氩（39.9）排在钾（39.1）的前面和钍（232）排在镤（231）的前面这两个原子量的顺序颠倒的问题。

不过，当年门捷列夫对于元素的性质随着原子量的增大而发生周期性的变化这一点是深信不疑的，他始终认为一定是人们把钴和镍、碲和碘、氩和钾的原子量测定错了。所以，在他自己排的周期表中仍然是把钴放在镍的前面，把碲放在碘的前面，把氩放在钾的前面。他在生前一直在期待着化学家给钾、镍和碘增大原子量，或者给氩、钴和碲减小原子量。但是，它们的原子量确实是氩大于钾，钴大于镍，碲大于碘。所以，多少年来，这个所谓的顺序倒置问题就成了一个不解之谜。

现在，莫斯莱等人的新的发现，一下子就解决了这个难题：元素在周期表中应该按照它的原子序数，也就是按照原子核中质子数的顺序来排列，而不应当按照原子量的大小来排列。

钾原子核里的质子数恰好比氩多 1、碘比碲多 1，镍又比钴多 1。所以，氩和钾、碲和碘、钴和镍的顺序完全是正确的，并不存在什么颠倒问题。

不过，这个问题总让人觉得没有彻底解决。因为绝大多数的元素都随着原子序数的增大，随着质子数的增多，原子量也相应地增大。只有这几对元

素的原子量没有按照这个顺序增大，反而是原子量大的排在了前面，原子量小的排在了后面，这是为什么？

后来弄清楚了，这个问题的关键也是在原子核里。

原来，同一种元素的原子核里面具有相同数目的质子，也就是具有相同的核电荷数，核外的电子数目和它们的分布状况当然也完全相同，因而就具有相同的化学性质。而不同元素的质子数一定不同，核电荷数和核外电子数也一定不同，它们的化学性质也就不同了。因此，在化学上给元素下的定义是：含有相同质子数目的一类原子的总称。

可是，对于原子核的进一步研究却发现，同一种元素的的原子核里，质子数虽然一样多，但中子的数目却不完全相同。

拿氢元素来说吧，它所有的原子核里，都只有 1 个质子，可中子数却不一样。有的氢原子核里根本没有中子，有的氢原子核里有 1 个中子，还有的氢原子核里竟然有两个中子！这 3 种氢原子的化学性质几乎完全一样，很难区别。就好像一胎生下来的 3 个孪生兄弟——三胞胎，长的一模一样。中子数不同的氢原子就是原子世界中的三胞胎。

原子也有多胞胎！

原子核里的多胞胎，质子数完全一样，属于同一种元素，在周期表上当然占据同一个位置，因此，人们也把它们叫做同位素。

同一种元素的几个同位素虽然化学性质相同，但在物理性质上却不完全相同。比如，它们的原子质量就一定各不相同。那些在原子核中含中子多的原子，原子质量就大些，含中子少的原子，原子质量就要小些。

在氢的同位素中，不含中子的称为氢—1，含有 1 个中子的称为氢—2，含两个中子的称为氢—3。这就好像三胞胎的妈妈把她的孩子们叫成老大、老二、老三一样。当然，这是小名。它们除了小名以外，还各有各的大名。氢—1 叫做氕，氢—2 叫做氘，氢—3 叫做氚。

氕、氘、氚虽然各自的原子质量不同，但它们的化学性质几乎完全相同。在自然界里，它们也都混在一起，难分难解。所以，平时我们所测出来的氢的原子量，就是这 3 种原子质量的平均值。

现在已经知道，绝大多数的元素都有两种或两种以上的同位素。因此，绝大多数元素的原子量，都是它的各种同位素的原子质量的平均值。

自然界的各种元素，一般来说，质子数大的，原子量也比较大；质子数少的，原子量也比较小。所以，在周期表中，大多数元素都是随着质子数的增大，原子量也同时增大。可是，有的元素，虽然质子数较小，但是在自然界，它的几个同位素中较重的同位素占的比例大，因而几种同位素的原子质量的平均值（就是这种元素的原子量）也就要大些。而有的元素虽然质子数比较大，但由于较重的同位素占的比例小，结果这种元素的原子量反倒要小一些了。

拿氙和钾这一对元素来说，氙的质子数（18）要比钾的质子数（19）小，但是在自然界中，它的重同位素占的比例大——氙-40 占 99.60%，它的原子质量为 39.96 个原子质量单位（u），氙-38 占 0.06%，它的原子质量为 37.96 %（u），氙-36 占 0.34%，它的原子质量为 35.97（u）。很容易计算，氙的原子量应该是：

$$\frac{39.96 \times 99.60 + 37.96 \times 0.06 + 35.97 \times 0.34}{100} = 39.95$$

钾的质子数虽然较大，但它的重同位素占的比例小——钾-41 占 6.88%，它的原子质量为 40.96 (u)，钾-40 占 0.01%，它的原子质量为 39.96 (u)，钾-39 占 93.08%，它的原子质量为 38.96 (u)。所以，钾的原子量就是：

$$\frac{40.96 \times 6.88 + 39.96 \times 0.01 + 38.96 \times 93.08}{100} = 39.10$$

这样一来，从原子量看，在周期表中排在后面的钾反倒比排在前面的氩要小，这就是曾经在一个相当长的时期里解释不了的顺序倒置问题。在同位素被发现以后，特别是在原子核的质子中子结构被阐明以后，这个问题就很容易理解了。钴和镍、碲和碘、钷和镧的倒置问题，也都是由于同样的原因造成的。这个谜终于被彻底解开了！

探究电子排布的秘密

人们在研究原子核的同时，也对核外的电子进行了研究。知道了核电荷数，也就是知道了核外电子数，因为这两者总是相等的。但是这些电子在原子核外的状态是怎样的呢？它们是怎样分布的，怎样运动的呢？这还是一个秘密。

从大量的科学实验的结果中，人们知道了，电子永远以极高的速度在原子核外运动着。高速运动着的电子，在核外是分布在不同的层次里的。我们把这些层次叫做能层或电子层。能量较大的电子，处于离核较远的能层中；而能量较小的电子，则处于离核较近的能层中。

人们还发现，电子总是先去占领那些能量最低的能层，只有能量低的能层占满了以后，才去占领能量较高的一层，等这一层占满了之后，才又去占领更高的一层。

第 1 层，也就是离核最近的一层，最多只能放得下两个电子。第 2 层最多能放 8 个电子。第 3 层最多能放得下 18 个电子，而第 4 层放的更多，最多能放 32 个电子，……

现在已经发现的电子层共有 7 层。

不过，当人们对很多原子的电子层进行了研究以后发现，原子中的电子排布情况，还有一个规律，这就是：最外层里总不会超过 8 个电子。

当人们把研究原子结构，特别是研究原子核外电子排布的结果同元素周期表对照着加以考察的时候，发现这种电子的排布竟然和周期表有着内在的联系。

为了说明的简便，我们只拿周期表中的主族元素同它们的核外电子排布情形对照着看一看。先从横排——周期来看：

在第一周期中，氢原子的核外只有 1 个电子，这个电子处于能量最低的第一能层上。氦原子的核外有两个电子，都处于第一能层上。由于第一能层最多只能容纳两个电子，所以，到了氦第 1 能层就已经填满。第一周期也只有这两个元素。

在第二周期中，从锂到氖共有 8 个元素。它们的核外电子数从 3 增加到 11。电子排布的情况是：除了第一能层都填满了两个电子而外，出现了一个新的能层——第二能层；并且从锂到氖依次在第二能层中有 1~8 个电子。到

了氦第二能层填满，第二周期也恰好结束。

在第三周期中，同第二周期的情形相类似。除了第 1、2 两个能层全都填满了电子外，电子排布到第三能层上，并且从钠到氩依次增加 1 个电子。到了氩，第三周期完了，最外电子层也达到满员——8 个电子。

再从竖行——族来看：

第一主族的 7 个元素——氢、锂、钠、钾、铷、铯、钫的最外能层都只有 1 个电子，所不同的只是它们的核外电子数和电子分布的层数。氢的核外只有 1 个电子，当然也只能占据在第 1 能层上；锂有两个能层，并且在第 2 能层上有 1 个电子；钠有 3 个能层，并在第三能层上有 1 个电子；……钫有 7 个能层，并且在第三能层上有 1 个电子。

由于在化学反应中，原子核是不起任何变化的，一般的情况下，只是最外层电子起变化。第一主族由于最外层都只有一个电子，因而它们表现出相似的化学性质，这当然就是很自然的事情了。

完全类似，第二主族各元素的最外能层都有两个电子，第三主族各元素的最外能层都有 3 个电子。……

当初，门捷列夫曾经在他自己编写的化学教科书《化学原理》中，用下面这句话来说明他发现的元素周期律：元素以及由它形成的单质和化合物的性质周期地随着它们的原子量而改变。

后来，由于物理学上一系列新的发现，人们对元素周期律得到了新的认识，元素以及由它形成的单质和化合物的性质周期地随着原子序数（核电荷数）而改变。

最后，在弄清了原子核外电子排布的规律以后，人们对元素周期律和元素周期表的认识就更加深入了。现在，人们可以从理论上解释元素周期律了。原来，随着核电荷数的增加，核外电子数也在相应地增加；而随着核外电子数的增加，就会一层一层地重复出现相似电子排布的过程。这就是元素性质随原子序数的增加而呈现周期性变化的原因。

如今，人们不仅知道一个元素所在的周期数就是它的核外电子排布的能层数，主族元素的族数就是它最外层的电子数，而且也能解释元素的化合价为什么也随着原子序数的增加而出现周期性的变化。就连为什么同一周期的各个元素，从左到右金属性逐渐减弱，非金属性逐渐增强，为什么同一周期的各个元素，从上到下金属性逐渐增强，非金属性逐渐减弱这一类的问题，也能够得到令人满意的解答了。

原子结构的知识像一把钥匙，打开了元素周期表里的秘密之锁，使它进入了电子时代。

破译化学密码

早在周期表发展的初期，化学密码的破译就在预言和寻找新元素的工作中发挥了惊人的威力。

20 世纪以来，科学家们甚至根据科学和生产上的需要，直接根据元素周期表，也就是那些化学密码进行了不少成功的工作。

这里举几个真实的例子讲一讲。

1925 年以前，由于电气工业的迅速发展，很需要一种金属作特殊灯丝材料，这种新金属应该比钨更优良才好。科学家按照这种金属应该具有的性质，

推测出了它在周期表上应该“坐”的位置，就是和钨处在邻居地位的第 75 号那个未知元素。人们又返过来用这个位置上的密码推测了可能发现它的途径和方法，终于在 1925 年找到了它。这就是金属元素镱。

镱是在 1925 年几乎同时被两组科学家发现的。前一组是 3 位德国科学家，他们注意到在铂矿和一种叫铌铁矿的矿石中存在着 72~74 号元素及 76~79 号元素。根据元素周期律，他们判断，未知的 75 号元素可能会在其中存在。经过长时间的工作，镱的确被他们在这些矿石中发现了。新元素的名称就是以德国著名的河流莱茵河的名字命名的。

另一组从事寻找 75 号元素的，是几位捷克斯洛伐克科学家。他们根据同族元素性质相似这个规律推断，含有锰的矿物，也会含有镱。而且由于性质上的相似，锰和镱必然很难分离，这就有可能使锰的化合物中常常带有微量的镱。于是，他们采用一种当时新发明的用来测定微量物质的方法——极谱分析法分析了许多种锰矿，终于找到了镱的踪迹，并分离出了镱。

周期表上的密码，不仅可以用来发现新的元素，也可以用来寻找新的化合物。在这方面，一个很好的例子，就是新的冷冻剂的发现。

早期致冷机中常用的冷冻剂是氨和二氧化硫等物质。它们因为有强烈的刺激性臭味和较为严重的毒性，并且对于冷冻机械有强烈的腐蚀性，早就不受人们的欢迎了。可是，新的冷冻剂又该从哪儿去寻找呢？

为了寻找新的冷冻剂，人们也来请周期表帮忙了。

人们已经知道，同一周期里的元素，非金属性越强，它的气态化合物的稳定性也会越大。而在同一主族中，却是非金属性越强，化合物的毒性越小。

根据这种规律，科学家们展开了用氟化物作为冷冻剂的研究。因为氟在第 2 周期中是最强的非金属，所以它的气态化合物是稳定的，它在第 7 主族中是非金属性最强的，因此毒性应该是最小的，或者说，氟化物应该是最理想的冷冻剂。根据这个推测，人们很快就发现了一个理想的含氟冷冻剂——氟利昂，学名叫二氟二氯甲烷。试验表明，它既稳定而又无毒性，同时，冷冻效率又很高。这个发现给工业上解决了一个大难题。

同族元素具有相似性质这个规律，在许多科学部门里发挥了作用。例如，人们在寻找新的药物时，它帮了大忙。

人们早就知道砷化合物是一种毒剂，常用的毒药砒霜就是三氧化二砷。但是，砷的化合物也有不少缺点。人们需要寻找一些新的毒剂来代替它，以便能更有效地杀灭对人类有害的动物和昆虫。应该到哪里去寻找新的毒剂呢？

从周期表上看，和砷处于同一主族的元素，上有磷，下有锑，它们的化合物也应该具有毒性而又和砷化物不完全相同。对含磷化合物和含锑化合物的研究，使人们得到了一批又一批全新的农药。

在矿物的勘探上，周期表也大有用处。

地质学家们发现，性质相似的金属，往往藏在同一种矿物中，例如铜矿中常常含有银和金，钡盐矿物中也常常是既有锶也有钙……

铜、银、金、钙、锶、钡，不都是同族元素吗！这个事实启发了地质学家，他们想到，对于那些稀有的和难于找到的金属，首先应该看看它们在周期表中的位置，看看它们的同族元素以及在邻近的位置上是些什么元素。如果这些元素的矿物中，有些是富矿或是容易得到的矿物，那就应该仔细查查这些矿物，说不定那些难于找到的稀有金属就藏在这些矿物当中呢！应用这

种方法，地质学家们曾不止一次地找到了他们要寻找的稀有金属。

还有，在发展无线电电子学方面，周期表也曾建立过卓越的功勋。人们就是在周期表上从铝到砷那一条斜线上，找到了一个又一个介于金属和非金属之间的两性元素，它们都是良好的半导体。

不仅如此，周期表还帮助人们发展了新的学科。例如，具有重要军事意义的有机硅化学，就是在同族元素性能相似这个规律启发下，以含碳有机物为“模板”发展起来的。

应用周期表在各门学科中解决难题的事例，应用周期表发展新学科的事例，还有很多很多，在这里就不再一一列举了。

月亮元素

贝采利乌斯是瑞典著名化学家。他一生中发现了硒、钷等化学元素，并测定了 43 种元素的原子量，提出了现代原子符号，并且第一次排列了当时已经知道的元素的原子量表。

在距斯德哥尔摩西北约 60 公里的地方，有一个叫法龙镇的地方。

法龙镇是瑞典历史悠久的一个矿区。它从 13 世纪起就是一座重要的铜矿，同时还有黄铁矿的开采。瑞典的一些重要的硫酸工厂，都从这里获取黄铁矿的原料。

1817 年，化学家贝采利乌斯曾参加了一家硫酸工厂的经营。这家工厂所用的原料就是来自法龙镇的黄铁矿。工厂的老板毕尤格林先生发现，利用法龙镇的黄铁矿所得的硫磺，在制取硫酸过程中，总会在铅室的底部凝结有红色粉末状物质：如果改用别处的硫磺为原料，在铅室的底部就没有这种现象发生。后来，毕尤格林就找了几位化学家一起去研究探讨这一现象。他们认为，在铅室底部沉积的物质中，可能含有砷。毕尤格林害怕烧灼砷会造成毒害事故，因此就不再采用法龙镇出产的黄铁矿了。

贝采利乌斯以一个化学家所特有的敏感，预见到这里面一定有在科学上值得探讨的内容。于是，他放弃了正在写的一册化学教程的工作，立即转入到分析这“红色物质”的工作中来。他首先燃烧了 250 千克法龙镇出产的黄铁矿，便得到了一定数量的硫磺。所沉淀的红色粉末，却只有 3 克左右。他仔细地分析了这 3 克物质，发现其中最主要的成分仍然是硫磺。贝采利乌斯把燃烧后的灰烬收集起来，再将它用试管加热。哎呀！这是什么味道？一股腐败蔬菜的臭味，直冲鼻子。贝采利乌斯被呛得有点受不了，头也痛起来了。他马上打开了实验室的窗户，苦苦地思索着。在他所熟悉的物质中，哪种元素燃烧后的味道是这样的呢？难道这正是“地球”？

贝采利乌斯在激动之余立即挥笔写信给在英国的友好——伦敦的马塞特博士。告诉对方，被德国化学家克拉普罗兹命名为“地球”（拉丁文愿意）的元素碲也在这里发现了。信刚刚寄出去，他却又疑惑起来了。红色粉末燃烧的气味虽与克拉普罗兹实验时发现的气味相同，但并没有分离出碲的单质来。怎么能肯定里面一定是碲呢？于是，他开始深深地责备自己的不慎重。下一步的工作应该是找到碲单质，“以便对这种物质有一个较准确的概念”。

于是，贝采利乌斯便把铅室底部所沉积的红色粉末全部取出来，不厌其烦地进行了反复实验。经过多次认真分析、比较，认为这发出臭味的果然不是碲，而是一种从未被人们所认识的新的元素。1818 年 2 月 6 日，贝采利乌

斯写了一封信给马塞特博士，在信中他纠正了前次信中的错误，并把自己的新发现告诉给这位英国化学家。

“能够放出一种特殊臭味的那种物质，据我审慎研究之后得出结论，它是一种不溶于水的棕色物质……是一种具有燃烧性的单质，以前无人发现过，因此我特命名为 Selenium(硒)。此字系由 Selene(月亮)变化而来，以表示此种物质与碲的性质相似。硒的化学性质，介于硫与碲之间；如再仔细加以比较，则与硫相近之点比碲更多些。”

自硒这个元素问世之后，很快就在人类生产和生活上发挥出它的重要作用。在城市马路的十字路口，都安装有指挥车辆行驶的红绿灯。而所谓“红灯”，就是在无色成分的玻璃里加一定量的硒制成的。在一些高大建筑物如博物馆、剧场的顶端也常常安装含有硒的玻璃制着的五角星，夜间看去，它像宝石似的闪闪发光。另外，硒对光非常敏感，在充足阳光的照射下，它的导电效能要比黑暗时大 1000 多倍！科学家就利用硒对光敏感的特殊功能，制成了光敏电阻、光电管、光电池等，用在自动控制、电视等技术上。硒的半导体功能更不能忽视，用它做成的用于无线电检波和整流的硒整流器，具有耐高温、电稳定性好，轻巧，能经受超负荷等优点。硒还被应用于橡胶工业、染料工业方面。

贝采利乌斯为我们找到了一种多么重要的元素啊！

在这位化学家的一生中，除了发现月亮元素硒之外，还在他那间厨房兼“实验室”中，先后发现了硅、钽、铈、锆等 4 种元素。

一个化学家，在他一生中能做出这样多的贡献，这在化学史上也是很少见的。后人为了纪念他为人类所做出的成就，在他的墓地建立了大理石的墓碑，并且把他在瓦浮松达的旧居重新进行修整，按原样保存下来，以供后人瞻仰。

锂盐治病

锂虽然是一种人们不太熟悉的元素，然而它却普遍地存在于地壳之中，几乎在所有的火成岩中都能找到锂盐的痕迹，在许多矿泉水中也都含有锂盐。早在锂元素发现以前（1817 年由阿尔费德森发现），含锂盐的矿泉水具有治病的作用就已经为人们所认识。近代，锂盐在医疗上的应用也有了较大的发展，一个比较突出的例子就是碳酸锂 (Li_2CO_3) 可以用来治疗某些精神性疾病——癲狂症和精神压抑症。患有这种精神失调症的病人往往过分兴奋和过分压抑（交替发生），并且这种病在开始时往往没有任何发病的征兆。

一位澳大利亚的精神病学家卡特便是第一位试验利用锂的化合物来控制这种精神病的医生，卡特还汇编了一些医学科学上的难题，并指出锂的化合物在医学界的应用可能达到一个全盛的时期。当时，人们便已经知道用锂盐制成的药片可以用来减轻痛风病。1944 年卡特又发现，从某些英国的水井中取出来的水有助于治疗精神病，经过化验发现，这些井水中恰恰含有锂的化合物。

在寻找癲狂症——精神压抑证病因的过程中，卡特发现，由于甲状腺的过分活化或者过分不活化，则会引起这种精神失调症；在对患者进行临床观察时，卡特曾推测，有一种存在于尿中的物质可能是造成癲狂症和精神压抑症的主要原因。于是他就将某些癲狂病人的尿的试样有控制地注射到猪（医

学上的试验动物)的腹腔中去,结果发现猪果然中毒了。他猜测这种毒性分子可能就是尿酸。然而当卡特进一步想用尿酸做试验时却碰到了具体的困难,因为尿酸在水中的溶解度低(每15000克水中只能溶解1克尿酸),于是他又考虑用尿酸盐来代替,其中尿酸锂的溶解度比较大(在380克水中就能溶解1克尿酸锂,是尿酸溶解度的40倍)。当给试验过的猪注射尿酸锂溶液以后,卡特出乎意外的发现这种试验动物中毒性现象大大减低。这就说明锂离子可以抵御尿酸所产生的毒性。于是卡特进一步用碳酸锂代替尿酸锂,试验取得了更好的效果,这便有力的证明了锂盐具有治疗癫狂症和精神压抑症的作用。当用大量的0.5%碳酸锂水溶液对试验用猪进行注射后,这种试验动物大略经过2小时的潜伏期以后,变得非常的无生气且感觉迟钝。只有当再用其他的药物对它刺激1~2小时后,这些试验用猪才恢复了正常的活力。

1948年后,卡特便开始把他的成果应用于临床试验,即用碳酸锂来治疗到他那儿就医的、有限的、比较合适的病人。在取得成功的那些病例中,有一个也是最引人注目的例子。这位患者已经51岁,他处在慢性的癫狂性的兴奋状态足足已有5年。他不肯休息一下,有时还要胡闹和捣乱,经常妨碍别人休息,因而成为被长期监护的对象。但是这位患者经过卡特医生三周的锂化合物的治疗以后,便开始安定下来,并且很快成为恢复期的病人。在以后,他又经过一段时间的观察,并继续服用了两个月的锂药剂,就完全康复了,并且很快地回到了原来的工作岗位。

自从1949年以来,许多科普和技术性刊物对卡特的工作给予了高度的评价,认为锂盐疗法可能帮助10万的患者从癫狂——精神压抑症的痛苦中解脱出来。并且很多制药工厂也相继生产出了碳酸锂。

从卡特的研究取得成功以后,一直到今天为止,锂盐已经广泛地被用来治疗精神失调症,虽然锂的作用机理还有待于进一步探讨研究,但是它的治病效果却是肯定可靠的,并且也是非常惊人的。卡特的工作成果是十分宝贵的,因为他仅仅是用了一种简单的无机化合物,便能控制住难治的精神失调症,这在历史上也是一个奇迹。

从一个小气泡说起

科学家都有许多优秀的品质,明晰的洞察力,敏锐的思考秉性,是他们成功的要素之一。因此,科学家从来不会放过任何蛛丝马迹,一定要寻根究底,弄它个水落石出。

现在我们来说一个关于小气泡的故事。

18世纪,有一个英国人,他叫卡文迪许,是一位特别擅长研究气体的化学家。他曾详细的研究过氢气,并采用排水银集气法收集和研究了二氧化碳。他还研究了氢气和氧气化合的体积比,并确认大约2体积氢气和1体积氧气化合,生成物只有水等等。他的这些实验成果和研究的结论,都为发现氢是一种元素,否定水是一种单质及推翻当时的伪学说“燃素说”,提供了科学根据。

既然卡文迪许成天跟气体打交道,他必然也要拿空气、氮气(比确认氢气晚6年,比确认氧气早6年的时间确认的)等气体做实验。一次,卡文迪许利用放电的方法研究氢气、氧气和空气。结果,他发现了用空气做实验时,

当其中的氢气、氧气和氮气（未被确定前叫“浊气”）及二氧化碳无可怀疑的都被消耗完了时，总会剩下一个小气泡，它的体积小得不足原有空气体积的 1/120。

卡文迪许和他的助手，当时做这个实验是十分艰苦的，由于他们用的是手摇静电起电机（不是现今的发电机），摇一阵子才能有一次火花放电，就在这一条件下，一次实验要不断的用手摇，经过 20 多天，方有结果。为了证实的确最后会剩留下一个小气泡，仅有一轮实验是不足为凭的。科学家就是那样的认真，绝不放过那一丁点的蛛丝马迹。

我们现在知道，空气中所含的不足百分之一的气体，是稀有气体（氦、氖、氩、氪、氙）。

可惜的是，那时卡文迪许还没有从燃素说的影响中解脱出来，认为那是不同于“浊气”（氮气）的另一种“浊气”。

卡文迪许本人还有一个怪脾气，就是非常不擅于在社交活动中跟人交谈，几乎整天呆在实验室里。就这样，他不仅能把实验做得很精确，而且实验的记录都写得详细，但却很少发表。他拿不准的事（诸如那个小气泡）更不会轻易的公开了。卡文迪许的实验记录，是他死后 50 多年，由别人整理发表的，这个小气泡的问题（它到底是什么？）也就被积压到 100 多年后的公元 1894 年，才又引起了人们的注意。

稀有气体在空气中的含量实在太少了，它的性质又是那样的特别，要让从来不知有其物的人发现它，真是一件难以开始事。后来又是由于一点蛛丝马迹，才让人又想起了卡文迪许的发现。这还是从研究气体（包括空气）旧事重提的。

19 世纪，继任剑桥大学卡文迪许实验室主任的英国物理学家瑞利，决定重新测定各种气体的密度，前后用了 10 多年的时间。由于他工作十分认真，加之有比过去更为精密的实验仪器，很多数据，经他之手而得到修正。瑞利测定的气体样品，总是每种都从各种途径来制取，分别提纯，分别测定，直到结果完全一致，才确认是可取的数据。

瑞利测定氮气密度时，一种方法是从空气中提取氮气。他用化学方法除掉了空气中的氧气、二氧化碳等气体后，剩下的气体（氮气）密度是每升 1.2572 克。另一种方法是用氨气（ NH_3 ）分解（实际做法是氧化去氢）制氮气，但这一氮气的密度是每升 1.2508 克。两个数据相差只有 0.0064 克。几次重做，结果都是如此。

瑞利在这只有千分之五的微小差别面前，从头检查实验过程，确认无误，又用化学方法测定两种来源不同的氮气，并没有发现其中含有杂质。尽管瑞利对此百思不得其解，但他仍不放过这一问题，他写信给一家科学杂志社，介绍了实验情况，征求读者的解答，又在英国皇家学会的一次会议上，宣读了他的实验报告。

这种事情，放在常人眼前，会被看作微不足道的，而瑞利却如此严谨认真，终于在科学上有了重大的发现。

1894 年，就在瑞利宣读了实验报告后，苏格兰的化学家莱姆塞，以过人的想象力告知瑞利说，这种由空气而得到的氮气里，一定含有一种未知的密度较大的气体。与此同时，他们又从别人那里得到了一个重要线索，那就是 100 多年前卡文迪许发现了的小气泡。

很快他们找出了卡文迪许的实验记录，瑞利照着做了，没用多久，果然

得到了卡文迪许所说的那个小气泡。莱姆塞则用赤热镁粉吸收氮气的方法，也从空气中得到一种密度是氢气的 19.086 倍的气体。他们坚信，这是一种新的特殊气体，在各种条件下，跟所有金属、非金属都不发生化学反应。由此可以肯定它是一种元素，是跟以往所发现的元素不同，不是金属也不是非金属的新元素。

1894 年的 8 月 13 日，他们在英国的科学城牛津召开的自然科学家代表大会上，正式宣布发现了一种奇怪的新元素并由大会公认给这种气体元素起了个名字，叫做“迟钝者”，用中文汉语音译叫“氩”。

其实 1894 年所发现的氩气，并不是纯净的氩气，而是五种稀有气体元素氦、氖、氩、氙、氡的混和物，只是其中氩的含量最多，它占空气中全部稀有气体体积的 99.74%。

后来，莱姆塞的助手在莱姆塞的指导和委托下，终于又从空气中发现了另外四种稀有气体元素。

碱金属名称的由来

几乎所有的金属都有氢氧化物，金属的氢氧化物，在化学上都叫做碱，它是无机化合物中一个重要的物种，叫做碱类。

古时候，曾一度把所有碱性的物质都叫做碱。我国远古时代，人们在生活和生产实践中，早就使用有碱性的物质来进行一些特殊的反应了，如给陶瓷制品上釉，配料时多用生石灰，跟瓷土调成浆后，实为氧化钙的生石灰会跟水反应生成氢氧化钙，干后烧成时，氢氧化钙在高温下分解为氧化钙的同时，就跟瓷土中的二氧化硅反应生成熔点较低的硅酸钙，它冷却后便形成光滑不透水的釉。这就是利用氧化钙这一种碱性氧化物的碱性，跟二氧化硅这一酸性氧化物的酸性，从而能够化合生成盐（硅酸钙）的关系来造釉的，只是他们在做时，头脑里还没有酸和碱的概念。

我国古人用碱虽早，而认识碱较晚。大概在东汉末代，约为公元 200 年，已有一本叫做《神农本草经》的书上，就写有一种名为“卤碱”的药物。但时隔 300 多年后，南北朝时的大药物学家陶弘景，还不知道它是什么，又过了 1000 多年，明朝的大药物学家李时珍才解释说，由盐碱土浸出的汁液，经熬浓析盐后，冷下来卤水中会出现凝结如石的东西，就是卤碱。根据现在推测，它可能是氯化镁，碳酸钠等。碱字在我国古代有多种写法，从字的偏旁可知，它是出于卤、土、石，而状如石的物质，近年来才统一用碱字表示，它的内容也由原来泛指碱性物质改为专指化学上的碱了。

在西欧早些时候，也是把所有的碱性物质泛指为碱，后来又把碱性物质分为温和碱、苛性碱，并掌握了由温和碱（即碳酸钾、钠）制苛性碱（即氢氧化钾、钠）的方法。直到公元 1754 年，由英国化学家布拉克通过实验，探明了温和碱、苛性碱和二氧化碳的关系后，仍然没有弄清这两种碱的化学成分。甚至当时的化学大师还把苛性碱当成金属氧化物，他就是英国的化学家拉瓦锡。他的根据是这些物质都有跟酸能反应的化学性质，既然其中的某些物质和氧化汞（当时另有一个名称）会分解成汞和氧气，那末其他物质虽然当时无法能够分解，也必然是含有一种金属和氧了。

拉瓦锡在他的看法没有得到改变之前就死了，另一位英国化学家戴维接受了拉瓦锡的观点，并想用实验的方法来加以证实。这时正好是意大利物理

学家伏打发明电池（由铜片锌片和稀硫酸组成的简单电池）后不久，已有人用电流电解水获得成功，戴维就想用电流去分解苛性钾，开始他电解了它的水溶液，结果只在阴阳电极上产生氢气和氧气，他意识到这是水被电解了，便改用加热使苛性钾熔化后电解的方法，他终于得到了金属钾，不久又用同样的方法制出了金属钠。钾、钠都是在 1807 年发现的。

10 年后，瑞典的化学家阿尔费德森研究一种矿石时，发现其中含有一种类似于钾、钠的元素，就想把它制成金属，但没有成功。戴维得知这一消息后，用了极强大的电流，才制出极少一点金属，后来它被起名叫“石头中的隐士”（大意），汉语的音译名称叫“锂”，直到 1855 年有人（德人本生和马提生）用熔融的氯化锂电解，才得到了较多的金属锂，方有条件来研究它的性质。

1859 年，本生和另一位德国物理学家基尔霍夫发明了分光镜，人们开始用它来寻找未知元素，本生就用了这台仪器，于 1860 年发现了元素铯，数月之后又发现了元素铷。用分光镜看铯在火焰光中线条是蓝色，铷的光亮线条是深红色，就分别用“色如蓝天”和“红色超群”的意思来命名，中文完全是音译，“铯”、“铷”两字，就再也看不出它们蓝、红的特色来了。

锂、钠、钾、铷、铯五种性质相似的金属元素，前后用了 50 多年的时间，都被相继的发现了。它们的化学性质极为相似，它们的原子量一个比一个大，化学活动性一个比一个强，以及根据原子量大小和性质上的差别，跟别的元素进行对比，都给科学家为元素的分类，提供了极有价值的材料。

1829 年，德国人德贝莱纳首先对元素原子量和化学性质之间的关系进行研究，从当时已知的 54 种元素中，找出了性质相似的元素组，每组包括有 3 种元素，而在这 3 种元素中位置在中间的元素的原子量，差不多是前后两元素原子量的平均值，而化学活泼性也正好位于两者之间。他就以氧原子量为 100 做标准，列出了锂、钠、钾三者的这一关系是： $\text{Li}=95.310$ $\text{Na}=290.897$ $\text{K}=489.916$

$$(\text{Li}+\text{K}) / 2 = (95.310+489.916) / 2 = 292.631 \quad \text{Na}$$

后来，又有人找出多种元素的原子量和元素性质的关系。直到 1869 年，俄国化学家门捷列夫发表了他所编制的第一张元素周期律表里，就把锂、钠、钾、铷、铯排在一行中了。这种元素分类系统表，几经补充和修改，成了举世皆知的元素周期表，锂、钠、钾、铷、铯、位居其中的第一个纵行，最下面又加上一种放射性元素钷，这六种元素，除了化学性质一个比一个更活泼外，它们的氢氧化物都是易溶于水，苛性最强的碱，所以把它们统称为碱金属，而对元素周期表来说，这一纵行的名称叫做碱金属元素族。

有发现才有发展

科学家都是对其身边的事物和现象十分注意和敏感并有所发现的人，他们又是勤于思考善于分析的人。科学是客观存在的，经过人们的发现、思考和分析，才能成为人类文明的象征，给社会带来物质的和精神的财富。下面我们来说说说有关化合价的故事。

化学上在建立了原子、分子和原子量的初步概念之后，随即在测定物质组成的实验基础上，确立了大量化合物的化学式。即便是当时的实验手段粗陋，原子量的数据不准确，写出化学式有不少是错的。科学家们就注意到化

合物中各元素原子间，相互结合的数目，存在某些有趣的关系。这一事件是从 19 世纪 50 年代后开始被人们观察到的。

1852 年，英国化学家富朗克兰德（1825 ~ 1899）先研究了有机化合物接着又研究了很多无机化合物的组成化学式之后，在一篇文章中写道：“无机化合物的化学式被承认以后，甚至从表面可以看出，它们在结构上存在对称性，……”他在这里所说的“结构上的对称性”，不是我们现在所知的诸如分子中原子排列的结构对称，而是指不同元素的一个原子，有些只能跟另一元素一个原子相结合，有些则能与另一元素的两个原子相结合，还有能跟三个原子、四个原子相结合的等等。当时他举氮、磷、砷、锑有 NH_3 、 PH_3 、 AsH_3 、 SbH_3 等化合物（另外还有一些化学式是错的）后指出：“在这样的比例下，它们的亲合力得到满足”。

所谓的亲合力，是西欧十三、十四世纪时的炼金术士们，从主观的唯心主义出发，提出来的拟人化了的说法。他们认为两种物质间，像人一样，只有相亲、相爱才能结合。富朗克兰德在借用这一词时他还说：“一切化学元素，当生成化合物时，与之相化合的原子（如 H、O、I、Cl），在性质上尽管差别很大，但它吸引这些元素的‘化合力’（即亲合力），却总是要求结合一定数目的原子为满足”。他用“结合一定数目的原子”解释亲合力，已经有了较明确的化合价概念。

1857 年，德国著名的有机化学家凯库勒根据当时的事实和理论上的成就，指出：“不同元素的原子相化合时，总是倾向于遵循亲合力单位数是等价的原则。”在这位化学家的说法中，“亲合力”发展成为“亲合力单位”而量化了，这样在他看来，元素氮、磷、砷的亲合力是等价的，即它们的亲合力单位都等于 3，它们所结合的氢原子都是 3 个，按亲合力等价原则，三个氢原子亲合力单位总和也是 3，那么，氢原子亲合力单位应该等于 1。这样的推理，跟我们现在有关化合价的计算方法是一致的。

但是，当时凯库勒对“亲合力”有一个片面的认识，他认为一种元素只有一个固定的亲合力单位，如磷元素，他认为只有 3，因此有固定的化合物 PH_3 和 PCl_3 。而实际上磷还有 5 价的氯化物 PCl_5 ，他则辩解说成化学式是 $\text{PCl}_3 \cdot \text{Cl}_2$ 。

1864 年，德国科学家迈尔建议用“原子价”一词来代替原子的“亲合力单位”，由此“原子价”成为定型的学说，并逐步发展成为化合价理论。

有趣的是在原子价概念形成和发展的同时，有些还要更早一些，有关的化学学说已经或正在提出了定比定律（1799 年正式提出到 1860 年辩论结束）、分子学说（由阿佛加德罗提出于 1811 年，到 1860 年才被人承认）以及干扰和阻碍科学发展的亲合力说。就已经从各个方面预示着要产生有关原子间相结合的统一新概念，即原子价的概念了。由此可以看出，科学概念都不是孤立发生发展的，原子价概念的建立也是这样，而且由于原子价能反映各种元素的一种化学性质，使不同元素之间，有了可比的量化标准，（另外还有原子量），为化学元素周期律的形成，提供了重要的素材。

本世纪以来，物理学家和化学家们的共同努力，发现了原子内部的秘密，用原子的价电子理论很好的解释了古老的化合价概念，并发展形成了物质构成的价键理论。科学家以更新的理论为武器，对物质性质的认识，对合成新物质的尝试，对未来科学的预见，对伪科学的甄别判断，都能做到心中有数，情理在握了。

科学的发展是了不起的，但是不断的发现，才能为科学的发展提供连续的落脚点。而这些落脚点，既可能是旧问题的终点，也可能是新问题的起点。科学的进步史，就是从发现中有发展，从发展中又有新发现的历史。

解开元素天书之谜

我们现在都知道，在化学元素周期表中，除了第七周期的后面以外，其他的位置上，都已经各就其位，被已知的化学元素排满了。它们的顺序是严格的，不能任意的调换位置，更不可能在它们之间，插入一种新的元素。要有新元素出现，它也只能理所当然的，接着第七期的元素往后排。而且是只依其本身的特征，不依其发现的早晚，该排在什么位置，就固定的排在什么位置上。

人类掌握了自然界的奥秘，没有比元素周期表所反映的事实，更精彩、更天衣无缝的了。

下面我们就来简要的介绍有关元素周期律的创立及元素周期表的产生和发展的故事。

远古时期的人，不知什么是元素，对单质和化合物也不会加以区分。但他们从哲学的观点，有类似元素的所谓“原质”的概念，认为水、土、气、火、金、木等，按不同的比例组合，就能构成宇宙万物。到了16世纪，炼金术士和医药学家们，又增加了硫磺、水银、盐、油等物。直到17世纪中叶，由于科学实验的兴起，积累了一些物质变化的具体事实，才初步认识到，有解决关于元素概念的必要。

1661年英国学者波义耳提出了元素的概念，他说“……那些原始的和简单的，或是完全未混合的物质。这些物质不是由其他物质所构成，也不是相互形成的，而是直接构成称为完全混合的物体的组成部分，而它们进入物体后，最终也会分解。”这个概念被他叙述得如此费劲，现在的科学概念，几乎找不到这样长的文字描写。这在当时还没有原子、分子、单质、化合物等的概念，波义耳也就只能如此了。

就在波义耳建立了元素概念后的100多年中，人们发现了一些新元素，特别是燃素说兴起和死亡，元素概念才逐渐广泛的被人们所接受，从而出现了由拉瓦锡编制的第一张元素分类表。

1789年拉瓦锡在他发表的著作中，对波义耳所下元素的定义表示赞同以外，还补充说元素是“化学分析所达到的终点”。这样说就比波义耳的长篇大论更加确切了。同时他列出了一张元素分类表，包括有气体、非金属、金属和土质四类共33种。但其中光、热、石灰等也被他当成元素。可见他只是从物质外观去分类，并没有而且他当时也不可能，把各种元素按本质上的区别来加以分类。

由表及里揭示元素的本质，是从测定了元素的原子量之后，逐渐有了头绪的。

19世纪初，英国学者道尔顿提出了原子论，并认为原子应有一定的重量。他知道原子很小，无法测出绝对质量，就采用对比方法，人为的定出一个原子为基准，其他原子的质量就能以最简比的方法得到一个相对数。

最早道尔顿把氧的原子量定为5.5，后又修改为7。接着，瑞典化学家贝采里乌斯，分析他人的实验成果，自己再进行精密测定，通过思考，在1826

年发表的原子量表，氢的原子量为 1，氧的原子量为 16.02，还有碳、硫等其他共 40 多种元素的原子量。那些数据跟现代原子量表上所列的基本上是接近的。

元素有原子量，尽管其数值不够精确时，就有人开始注意到，元素性质跟其原子量之间，必有某种联系，并尝试着据此对它们进行分类。从 19 世纪的第 2 个年代（1819）起，整整经过 50 年，元素的分类，终于以一张周期表的形式固定下来了。

这里说一张周期表，并非指仅此一页纸上，某人所编的表。这一张表是无数科学家的心血结晶。1869 年前后起有了它，我们现在化学课本中还是它，它的基本结构是谁也改变不了的。过去，科学家们发现了它，现在科学家们在运用它所反映的万物之本的规律时，还在不断的发展它。

人们一说到元素周期表，就要提到俄国化学家门捷列夫。其实，早在门氏之前，德国人德柏莱纳在 1819 年，发现钙、锶、钡三种氧化物的式量（当时也没有分子及分子量的概念，用他自认为是原子量的数值），大者与小者的平均数，接近于居中者。后来他又发现了一些别的元素也有类似的情况，进一步扩大了“三元素组”的组数。

1850 年德国人培屯科斐把已知的“三元素组”并列，发现性质相似的元素，并不只限于三种。此后的几年里，又有美国人库克，法国人杜马和德国人本生等，在研究了三元素组的基础上提出了在同组元素原子量之间，有一定的数学计算规律的初步看法。

1862 年，法国矿物学家陈库尔杜斯，提出了关于元素的性质就是数的变化的论点。他把当时认为的元素 62 种，按原子量（并不精确而且有错）大小，标记在一个绕着圆柱体上升的螺旋线上。从中可以看到某些性质相似的元素；都基本上各处在一条条由上到下的垂直平行线上。他把论文、图表和模型交到了巴黎科学院，遗憾的是被积压了将近 30 年后才发表。

其后，还有德国人欧德林和迈尔分别发表了原子量（1864 年）、原子符号（即元素符号）表和六元素表，英国人纽兰兹发表了元素的“八音律”表（1865 年）。

在 1869 年以前，人们对元素的知识进行总结和归纳，出现了形形色色的“图”、“组”、“律”等，有几十种之多。他们的研究工作，一步步的向真理逼近，为发现元素周期律创造了条件。

同时，由 1819 年到 1869 年的这 50 年间，化学上相继发现新元素，改进了测定原子量的方法，有了元素化合价概念，等等。这些又都为更科学、更完整、更严密的编制元素周期表提供了丰富的素材。

门捷列夫本人的工作成果，无疑具有划时代的伟大意义。

由于原子内部构造的秘密，被现代科学技术所揭露，元素周期律和周期表，有了更新的含义。化学科学和原子物理学，从周期表中得到营养，又为周期表的存在补充了生命力。

元素的身份证

化学上靠着五光十色，竟能发现新的元素，或探索已知元素的踪迹，似乎令人费解。

原来元素天生的都各有一张身份证，上面印有五光十色的线条，谁也不

能伪造。凭着这一身份证，无论元素藏在哪里，或含量极其稀少，科学家们都能把它识别出来。

光，一般人常称为光线，一般的人和动物都能感受到它的存在，绿色植物也能对它做出相应的反应。在阳光普照下，人们习以为常，不以为奇，但光在物理学家们眼里，长期对之感到普通而可见，神秘而莫测，特别是在1666年，物理学家牛顿，发现一束白光在三棱镜片下，竟然成为一条彩色带，其中红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫，就像雨后转晴的天空，出现的彩虹那样，从此物理学中，就兴起了光谱学这一个分支。

不同的光源发出不同颜色的光，本是很平常的事，自从有了光谱学，物理学家和化学家们，开始研究不同色光的光谱有什么不同，由此发现，不同元素有不同的光谱，并明确提出观测光谱，可以简便地检出某种元素，甚至可以将其他星球上的元素检验出来。

人类古代所使用和发现的元素，如碳、硫、金、银、铜、汞、铅、铁、锡、锑等，有的是自然界天然就有的，有的简单加热或用炭还原就能从矿石中得到，人类仅知道有这些元素（当然当时不会称它们为元素）的状况，一直维持到公元纪年开始，接着由于流行炼金和炼丹以及制药等实验活动，在1000多年的时间里，又相继发现了一些元素，如锌、砷、磷等。18世纪初，欧洲兴起了燃素说，促进了实验化学的发展，相继又发现了不少的元素，氢、氧、氮、氯、氟、锰等。但在这一世纪100年的时间里，发现的元素也只有18种。

到了18世纪后期，拉瓦锡把当时已知的33种元素做了分类，分为气体元素，非金属、金属等，但他在这一分类的体系中，把光也当成一种气体元素，热也被他当成一种气体元素。而对发现了十多年之久的氯，因有些争议，就被排除在气体元素之外，错误的称它为“盐酸基”。毕竟这是元素分类工作的起点，对当时理解元素，是由于理论和技术水平所限，或是弄不清它们的本质，或是不能使它们再分解罢了，而他的基本观点是正确的，这在当时，已是十分难能可贵的了。

18世纪末期，意大利物理学家伏打在1792年~1796年间，发明了铜片、锌片在稀硫酸中组成的简单电池，这种简单的化学电源，被化学家们纷纷采用，做了许多电解的实验。弄清楚了许多物质的组成；并发现和制出了多种金属元素的单质。其中首推英国化学家戴维所取得的成果最大。

戴维生于1778年，17岁时到一家药房当学徒，这期间他自学化学，特别爱做化学实验，酒杯、烟斗等物，都被他用来当作化学仪器。23岁的戴维，就被推荐到英国化学皇家学院，担任化学助教和实验指导，他在英国皇家学院任职期间，突出成就之一，是他用电解的方法发现和分离出钾、钠、钙、镁、钡和锶等6种金属元素，在很短而不到两年时间里，由一个人发现五、六种元素，这在化学元素发展史上，是绝无仅有的事，戴维的成就在于他使用的方法得当，同时也是他对这元素的存在，都已有了先见之明。

真正能够使人对某元素的是否存在，能够有所发现的，还靠了各种元素的特殊光谱。

1860年德国科学家本生和基尔霍夫两人合作，研制发明了分光镜，它的构造是将被测光源，已知光源和目测镜，从可旋转位移的目测镜中观察，将被测光谱对照，就能准确无误的检查发出被测光源的物质中含有什么元素，从而也可以发现人们未知的新元素。1860年和1861年，他们两人就是从光

谱分析中，相继发现了铯（Cs）和铷（Rb）两种新元素。铯和铷是比钾还活泼的金属元素，可用电解的方法制出单质，但必需有大量含铯或铷的某种纯净的化合物，进行操作才是可行的，本生和基尔霍夫虽然没有制出铯和铷单质，但他们的发现是被公认的，并被载入了化学元素发现史册。

有趣的是稀有气体氦，最初是用分光镜观察日食时，发现月球上有它，27 年后的 1895 年，同是用了分光镜，发现了地球上也有它。地球大气中氦的含量占大气总体积的百万分之五点二（5.2ppm）。要从大气中直接发现氦的存在，几乎是不可能的。而从空气中提取并制得纯氦，则更是近几十年，有了精密分馏空气设备以后的事情了。

元素的光谱，又叫发射光谱，实在太有用了，如果仅把它当着元素的身份证，那就太低估了它的科学价值。

人们研究了氢光谱，计算了光谱中各线条所在位置的相应波长，创立了行星系水平的原子结构学说，从理论上推导出氢原子核外电子离核所在的位置和运动规律。这是本世纪初，物理学的巨大成就之一。后来，原子结构理论，仍是根据光谱的这一事实，又有了新发展，而且跟化学结合得更紧密。其中的基础知识、主要结论及联系化学实际的一些情况，在中学化学里都有介绍。

原子核的加法

早在 2400 多年前，古希腊著名哲学家德谟克利特提出“原子”这一概念时，“原子”的希腊文原意是“不可再分割”的意思。

但放射性元素的发现，却说明原子并非“不可分割”。

前苏联科学文艺作家伊林，曾用非常通俗的比喻，说明了原子核裂变的原理：“就好像你把 3 枚 5 分的铜币锁在抽屉里。过了几天，你发现抽屉里的 5 分铜币不是 3 枚，而只有 2 枚了。那第三枚 5 分铜币自己说成了 3 分的和 2 分的铜币了”。这就是说，原子核的分裂，就好像 5 分铜币兑成 3 分、2 分的铜币。

随着人们对放射现象的深入研究，也就逐渐认清了化学元素的真面目。

在 1911 年~1913 年，科学家开始弄清楚原子是由原子核和电子组成的。电子围绕着原子核飞快地旋转。

那么原子核又是由什么组成的呢？放射现象说明了，铀、镭等放射性元素的原子核会不断分裂。那么也就是说，原子核是可分的，它是由更小的微粒组成的。

在 1932 年，人们终于揭开了原子核的秘密：即原子核是由质子和中子组成的。质子、中子都比电子要大得多，质子的质量是电子质量的 1836 倍，中子的质量是电子质量的 1839 倍，质子是带正电的微粒，而中子不带电，是中性的微粒。

自从揭开了原子核的秘密之后，人们便开始认识了元素的本质：氢是第 1 号元素，它的原子核中含有 1 个质子；氦是第 2 号元素，它的原子核中含有 2 个质子；碳是第 6 号元素，它的原子核中含有 6 个质子……铀是第 92 号元素，它的原子核中就含有 92 个质子。也就是说，元素的原子核中的质子数，就等于它在元素周期表上的原子序数。

这样一来，关于错综复杂的种种化学元素之间也变得非常简单：化学元

素的不同，便在于它们的原子核中质子的个数不同！原子核中质子数相同的一类原子，便属于同一种化学元素。

由此看来，在原子核中举足轻重的质子，它的多少决定了原子的命运，原子的性质。然而，中子起什么作用呢？

人们经过仔细研究，发现同一元素的原子核中，虽然质子数相同，但中子数有时却不一样。比如，普通的氢的原子核，只含有 1 个质子；有一种氢原子的原子核，除了含有 1 个质子外，还含有 1 个中子，叫做“氘”或“重氢”，还有一种氢原子的原子核，含有 1 个质子和 2 个中子，叫做“氚”或“超重氢”。氢、氘、氚都属于氢元素，但它们由于原子核中的中子数不相同，因而脾气也不一样，被叫做“同位素”。

开始，人们对放射性元素，会变成铅和氦，感到不可思议。这时，就可以得到正确地解释：镭是 88 号元素，它的原子核中含有 88 个质子。它的原子核分裂后，变成 4 块碎片。在那块大的碎片中，含有 82 个质子，也就是 82 号元素——正好是铅；在那 3 块小的碎片中，含有多少个质子呢？用 88 减去 82，剩 6 个质子，而 3 块碎片是一样大小的，也就是各含有 2 个质子——2 号元素，正好是氦！

这样一来，放射现象即原子核分裂，无非是一种特殊的“减法”罢了。

这就给了人们一个重要的启示：可不可以进行特殊的“加法”呢？比如说，那个 43 号元素，一直找不到，而 42 号元素——钋是人们熟知的。能不能运用“加法”，往钋的原子核中“加”上一个质子，岂不就可以人工地制造出 43 号元素吗？

这种原子核的“加法”，又燃起了人们寻找失踪元素的热情，于是，人们又继续探根求源，千方百计去找寻失踪元素。

填补空白

要想往一个原子核里加一个质子或别的什么东西，并不是那么容易的事。

从 1925 年起，整整经过 9 个年头——直到 1934 年，法国科学家弗列特里克·约里奥·居里和他的妻子伊雷娜·约里奥·居里（即镭的发现者居里夫人的女儿）才找到了进行原子“加法”的方法。

当时，他们在巴黎的镭学研究院里工作。他们发现，有一种放射性元素——84 号元素钋的原子核，在分裂的时候，会以极高的速度发射出它的“碎片”——氦原子核。在氦原子核里，含有 2 个质子。

于是，他们就运用这氦作为“炮弹”，去向金属铝板“开火”。出现了奇迹，铝竟变成了磷！

铝，银闪闪的，是一种金属，磷，却是非金属。铝怎么能变成磷呢？

用“加法”一算，事情就很明白：

铝是 13 号元素，它的原子核中含有 13 个质子。当氦原子核以极高的速度向它冲击过来时，它便吸收了氦原子核。氦核中含有 2 个质子。

$$13+2=15$$

于是，形成了一个含有 15 个质子的新的原子核。那么 15 号元素是什么？

15 号元素便是磷！

就这样，铝好像变魔术似的，变成了另外一种元素——磷！

不久美国物理学家劳伦斯发明了一种很神奇的装置——回旋加速器。在这种加速器中，可以把某些原子核加速。这些原子核便像“炮弹”似的以极高的速度向另外的原子核进行轰击。这样一来，为人工制造新元素创造了更加有利的条件，劳伦斯因此而获得了诺贝尔物理学奖金。

1937年，劳伦斯在回旋加速器中，用含有1个质子的氘原子核去“轰击”42号元素——钼，结果制得了第43号新元素。

鉴于以前人们接连宣称发现失踪元素，而后来又一一推翻，因此劳伦斯这一次特别慎重。他把自己制得的新元素，送给了著名的意大利化学家西格雷，请他鉴定。西格雷又找了另一位意大利化学家佩里埃仔细地对其性质进行分析。最后，由这两位化学家向世界郑重宣布——人们寻找多年的43号元素，终于被劳伦斯制成了。这两位化学家把这新元素命名为“镅”，希腊的原意是“人工制造的”。

镅，便成了第一个人造的元素！

当时，他们制得的镅非常少，总共才一亿分之一克。后来，人们进一步了解到：镅并没有真正的从地球上失踪。其实，大自然中，存在着极微量的镅。

1949年，美籍华人女物理学家吴健雄以及她的同事从铀的裂变产物中，便发现了镅。据测定，1克铀全部裂变以后，大约可提取26毫克镅。

另外，人们还对从别的星球上射来的光线进行光谱分析，发现在其他星球上也存在着镅。

这种元素的真面目，终于被人们弄清楚了：镅是一种银闪闪的金属，具有放射性。它十分耐热，熔点可高达摄氏2200度。有趣的是，镅在摄氏零下265度时，电阻便会全部消失，成为一种没有电阻的金属！

自从镅被发现以后，元素周期表上便只剩下三个空白了。人们又继续寻找那失踪了的61号、85号、87号元素。

1939年，法国女化学家佩雷在仔细地研究89号元素——锕。锕是一种放射性的金属。佩雷想要提取纯锕，结果在剩下的残渣中发现了另一种具有放射性的物质。她仔细一检测，发现这是一种新元素：它是89号元素锕的原子在分裂时，失去了一个氦原子核，也就是失去了2个的质子，变成了一个含有87个质子的原子核——87号元素。

这87号元素，正是人们苦苦追踪的一个失踪元素！

佩雷使用她祖国的名字——“法兰西”来给这一个新元素命名。译成中文，就是“钷”。

钷是一种寿命很短的放射性元素。如果有100个钷的原子放在那里，经过21分钟之后，只剩下50个了——那50个钷原子已经分裂，变成了别的元素。正因为如此，人们费了九牛二虎之力，才找到这位“短命”的“隐士”。

1940年，曾经给镅进行鉴定的意大利化学家西格雷迁居到美国，与美国科学家科森、麦肯共同合作，着手进行人工制造86号元素的工作。

起初，他们想用84号元素——钷作为“材料”，往它的原子核中加入1个质子，制成85号元素。可是，钷在大自然中很少，价格又比较昂贵。他们就改用83号元素——铋作为“原料”。铋比钷要便宜点。

他们在美国加利福尼亚大学用回旋加速器将氦原子核加速，去轰击金属铋，从而制得了85号元素。

这又是原子的“加法”——铋核中含有83个质子，氦核中含有2个质子：

$83+2=85$

正当他们的研究工作获得了初步成绩时，由于发生第二次世界大战，不得以而中断了工作。在战后，他们又重新开始进行研究，终于在 1947 年发表了关于发现 85 号元素的论文。西格雷把这一新元素命名为“砹”，希腊文的原意是“不稳定的”意思。

砹是一种非金属物质，它的性质跟碘很相似。砹确实很不稳定。当西格雷制成了砹以后，只过了 8 个多小时，便有一半砹的原子核已经分裂，变成别的元素了。

后来，人们在铀裂变后的产物中，曾找到了极微量的砹，这说明在大自然中，还是存在天然砹的。

正因为砹在大自然中又稀少又不稳定，因此很不容易找到它。

只剩下最后一个失踪元素 61 号了。

起初，有人想用 60 号元素钷或者 59 号元素镨作“材料”来人工地制造 61 号元素。虽然他们在 1940 就宣称制成了 61 号元素，然而没有把它单独地分离出来，因而没有得到世界的公认。

直到 1945 年，美国橡树岭国立实验室的科学家马林斯基、格伦德宁和科里宁从原子能反应堆中铀的裂变产物中，分离出 61 号元素。他们认为，61 号元素的发现和原子能的应用是分不开的，因此就用希腊神话中从天上盗取火种的英雄普罗米修斯的名字来命名它——当初，普罗米修斯盗来了天火，使人类开始进入取火、用火的时代；如今，61 号元素的发现，则象征人类进入了原子时代。

直到 1949 年，国际化学协会才正式承认了马森斯基等的发现，并同意了他们的命名。“普罗米修斯”译成中文的元素名称便是“钷”。

钷是一种具有放射性的金属。钷的化合物经常会射出浅蓝色的荧火，被用来制造夜光表上的荧光粉。用钷还可以制成只有钮扣那么小的原子能电池，它能连续工作达 5 年之久，是人造卫星上必需的体积小、重量轻、寿命长的电源。

自从人类发现了钷之后，失踪元素就全部找到了，元素周期表上的空白也就全部填满了。

铀不是最后的元素

自从发现钷以后，人类认识化学元素的道路，是否到达终点了呢？

有很多的科学家并不满足。他们想虽然从第 1 号元素氢到第 92 号元素铀，已经全部被发现了，可是难道铀会是最末一个元素？谁能担保，在铀以后，不会有 93 号、94 号、95 号、96 号……

这么看来，周期表上的空白，并没有真正的全被填满——因为 92 号元素铀以后，或者还有许许多多的元素等着发现呢！

早在 1934 年，意大利的物理学家费米就认为周期表的终点不在 92 号元素铀，在铀之后应该存在“超铀元素”。

费米试着用质子去冲击铀原子核，宣布自己制得了 93 号元素。费米把这一新元素命名为“铀 X”。

然而，过了几年，费米的试验却被人们否定了。人们仔细研究了费米的试验，认为他并没有制得 93 号元素。因为当费米用质子攻击铀原子核时，把

铀核撞裂，裂成两块差不多大小的碎片，并不像费米所说的变成一个含有 93 个质子的原子核。

直到 1940 年，美国加利福尼亚大学的麦克米伦教授和物理化学家艾贝尔森在铀裂变后的产物中，才发现了 93 号新元素！他们俩把这新元素命名为“镎”，镎的希腊文原意是“海王星”，这个名字是跟铀紧密相连的，因为铀的希腊文原意是“天王星”。

镎是银灰色的金属，也具有放射性。它的寿命很长，可以长达 220 万年，并不像砒、钋那样“短命”。在铀裂变后的产物中，含有微量的镎。在空气中，镎很易被氧化，表面上蒙上一层灰暗的氧化膜。

镎的发现，充分说明了铀并不是周期表上的终点，说明化学元素大家庭的成员不只有 92 个。

镎的发现，还有力地说明了镎的本身也并不是周期表上的终点，在镎之后还有许多化学元素。

镎的发现，鼓舞着化学家在认识元素的道路上继续前进！

继续追寻

就在发现 93 号元素镎的时候，麦克米伦便认为，可能还有一种新的超铀元素与镎混在一起。

不出所料，过了没多久，美国化学家西博格、沃尔和肯尼迪又在铀矿石中，发现了 94 号元素。他们把这一新元素命名为“钚”，希腊文的原意是“冥王星”。这是因为镎的希腊文原意是“海王星”，而冥王星是在海王星的外面，是太阳系中离太阳最远的一个行星。

最初，西博格等人只获得了极微量的钚，总重量还不到一根头发重量的千分之一。这样稀少的元素，在当时根本没有引起人们的注意，人们只是把它看作一种新元素而已，谁也没有去研究它到底有什么用处。

但在后来，当人们发现了原子弹之后，钚就一下子青云直上，成了原子舞台上非常难得的“明星”！

原来，原子弹中的主角是铀。在大自然中，铀有两种不同的同位素，一种叫“铀 235”，一种叫“铀 238”。在铀 235 的原子核中，含有 92 个质子、143 个中子，加起来便是 235 个，所以叫“铀 235”；在铀 238 的原子核中，含有 92 个质子、146 个中子，加起来是 238 个，所以叫“铀 238”。铀 238 跟铀 235 不同，是因为它的原子核中多了 3 个中子。

铀 235 与铀 238 的性质不一样：铀 235 非常活跃，铀 238 却要差多了。当铀 235 受到中子攻击时，即会迅速发生链式的反应，在一刹那间释放出大量原子能，形成剧烈的爆炸。在原子弹里，就装着铀 235。但是，铀 238 在受到中子攻击时，却不动声色地把中子“吞”了进去，并不会发生爆炸。

在天然的铀矿中，绝大多数都有铀 238，而铀 235 仅占千分之七（重量比）。人们总是千方百计地从铀矿中提取那少量的铀 235，用它来制造原子弹，而大量的铀 238 却被废弃了。

铀 238 难道真的不能利用起来吗？

人们经过仔细的研究后，结果发现，铀 238 可以作为制造钚的原料，而钚的性质跟铀 235 差不多，也是个活跃分子，也可以用来制造原子弹！

本来，在天然铀矿中，只含有一百亿分之一的钚。如今，人们用铀 238

来作原料，大量的制造钚。于是，钚的产量迅速增加，从只有一根头发的千分之一那么少猛增到数以吨计。不久，人们不仅制造了以钚为原料的原子弹，并且还用它制成了原子能反应堆，用来发电。

这样一来，钚一下子便成了原子能工业的重要原料。

钚是一种银灰色的金属，很重。在空气中也很易氧化，在表面形成一层黄色的氧化膜。

钚的发现及广泛应用，使用人们对元素的认识，进入了一个新的阶段：原来，世界上还有许多很重要的未被发现的新元素哩！

钚的寿命也是长达 24360 年。

人们继续努力，要寻找 94 号以后的“超钚元素”。

在 1994 年底，钚的发现者——美国化学家西博格和加利福尼亚大学教授乔索合作，用质子轰击钚原子核，最先是制得了 96 号元素，紧接着又制得了 95 号元素。

他们将 95 号元素和 96 号元素分别命名为“镅”和“锔”（过曾译成“锯”，因与锯子的“居”字相同，容易误会，改译为“锔”），用以纪念发现地点美洲（“镅”的原意即“美洲”。镅在元素周期表上的位置正好在 63 号元素镎之下，镎的希腊文原意为“欧洲”，所以就“美洲”命名镅。）和居里夫妇（“锔”的原意即“居里”）。

镅和锔都是呈银白色的金属。镅很柔软，可以将之拉成细丝，也可以压成薄片。镅有 10 种同位素，绝大部分都是“短命”的，很快裂变成其他元素，只有一种“镅 243”的寿命很长，达 8000 年左右。

锔是一种很有意思的放射性金属，它辐射出来的能量非常大，可以使锔变得很热，温度高达摄氏 1000 度左右。如今，人们已把锔用于人造地球卫星和宇宙飞船中，以此作为不断发热的热源。

西博格和乔索继续努力，在 1949 年又制得了 97 号元素——锿；在 1950 年制得了 98 号元素——镅。锿的原意是“柏克立”。因为它是在柏克立城的回旋加速器帮助下制成的；镅的原意是“加利福尼亚”，因为它是在加利福尼亚州的回旋加速器帮助下制成的。

锿和镅都是金属元素，也都具有放射性。锿在目前还没有得到应用，镅可用作原子能反应堆中的原子燃料。另外，由于镅能射出中子，现在已经被用来治疗癌症。

接着，人们又开始寻找 99 号元素和 100 号元素。

当人们准备用回旋加速器制造出这两种新元素之前，却在另一个场合无意中发现了它们。

那是在 1952 年 11 月，美国在太平洋上空爆炸了第一颗氢弹。当时，美国科学家在观测这次爆炸产生原子“碎片”时，发现竟夹杂着两种新元素——99 号和 100 号元素。

1955 年美国加利福尼亚大学在实验室中制得了这两种新元素。为了纪念在制成这两种新元素前几个月逝世的著名物理学家爱因斯坦和意大利科学家费米，分别把 99 号元素命名为“镱”（原意即“爱因斯坦”），把 100 号元素命名为“镥”（原意即“费米”）。

1955 年，就在制得镱以后，美国加利福尼亚大学的科学家们用氦核去轰击镱，使镱原子核中增加 2 个质子，变成了 101 号元素。他们把 101 号元素命名为“镭”，以纪念化学元素周期律的创始人、俄罗斯化学家们捷列夫。

然而，最后制得的镱竟如此之少——只有 17 个原子！但正是这 17 个原子，从而宣告了一种新元素的诞生。

紧接着，在 1958 年，加利福尼亚大学与瑞典的诺贝尔研究所合作，用碳离子去轰击镉，使镉这个本来只有 96 个质子的原子核一下子增加了 6 个质子，制得了极少量的 102 号元素。他们用“诺贝尔研究所”的名字来命名它，叫做“镱”。然而，他们的研究成果，在开始并没有得到人们的承认。直到几年以后，有人用另一种办法也制成了 102 号元素时，这才获得国际上的正式承认。

人们对新元素探索不息。1961 年，美国加利福尼亚大学的科学家们着手制造 103 号元素。他们用原子核中含有 5 个质子的硼，去轰击原子核中含有 98 个质子的镉，进行原子“加法”：

$$5+98=103$$

从而制得了 103 号元素。这个新元素被命名为“镭”，以纪念当时刚去世的美国物理学家、回旋加速器的发明者劳伦斯。

镭是一个极不稳定的元素。每经过 3 分钟，镭的原子中便有半数自动分解掉了。

在 1964 年、1967 年，前苏联弗列罗夫所领导的研究小组，分别制得了 104 号和 105 号元素。其中 104 号元素被命名为“铼”，用来纪念于 1960 年去世的前苏联原子物理学家库尔恰托夫。

与此同时，美国乔索领导的小组用另一种方法制得了 104 号、105 号元素，并分别命名为“铼”、“铼哈”，分别用来纪念著名物理学家卢瑟福和德国物理学家哈恩。

然而到现在，关于 104 号、105 号元素的命名，仍争论不休，没有得到统一。

104 号和 105 号元素也都是“短命”的元素，只能活几秒钟，很快就裂变成其他的元素。

1974 年前苏联弗列罗夫等人用 24 号元素——铬的原子核去轰击 82 号元素——铅的原子核，进行原子加法：

$$24+82=106$$

于是，制得了 106 号元素。

与此同时，美国乔索及西博格等人却用另外的“算式”进行原子“加法”：拿 8 号元素——氧的原子核去轰击 98 号元素——镉的原子核。

$$8+98=106$$

于是，也制得了 106 号元素。

与 104 号、105 号元素结果一样，这一次又引起了争论。双方都说是自己最早发现了新元素，争论不休。

1976 年，前苏联弗列罗夫等人着手试制 107 号元素。他们用 24 号元素——铬的原子核，去轰击 83 号元素的原子核。

$$24+83=107$$

就这样，107 号元素被制成了。

107 号元素是一种寿命非常短暂的元素，它竟然只能活 1 毫秒！

到目前为止，得到世界各国科学家公认的化学元素，总共有 107 种。

然而，世界上到底存在有多少种化学元素？人们会不会无休止地把化学元素逐个制造出来呢？

这个问题引起了激烈的争论。

有人认为，从 100 号元素镭以后，人们虽然合成了许多新元素，但是这些新元素的寿命却越来越短。像 107 号元素，只能活 1 毫秒。照此推理下去，108 号、109 号、110 号……这些元素的寿命可能更短，因此要人工合成新元素的希望将越来越渺茫。他们预言，即使今后人们还有可能再制成几种新元素，但却已为数不多了。

但是，很多科学家认真研究了元素周期表，并推算出在 108 号元素以后，可能又会出现几种“长命”的新元素！

经过科学家推算，认为当元素的原子核中质子数为 2、8、20、28、50、82，或者中子数为 2、8、20、28、50、82、126 时，原子核就比较稳定，寿命比较长。他们根据这一理论，曾预言 114 号元素，将是一种很稳定的元素，寿命可达 1 亿年之久！也就是说，人们如果发现了 114 号元素，这种元素将像金、银、铜、铁一样“长寿”，并且可以在工农业生产中得到广泛的应用。

科学家甚至根据元素周期表，预言了 114 号元素的一些特征：

它的性质类似于金属铅，目前可称它为“类铅”。

是一种金属，密度为每立方厘米 16 克。

其沸点为摄氏 147 度。

熔点摄氏 67 度。

可以用它来制造核武器，并且这种核武器体积非常小，用 114 号制成的一颗小型核弹，甚至可以放在手提包中随身携带。

