



前沿科学探索书系

元素的轨迹

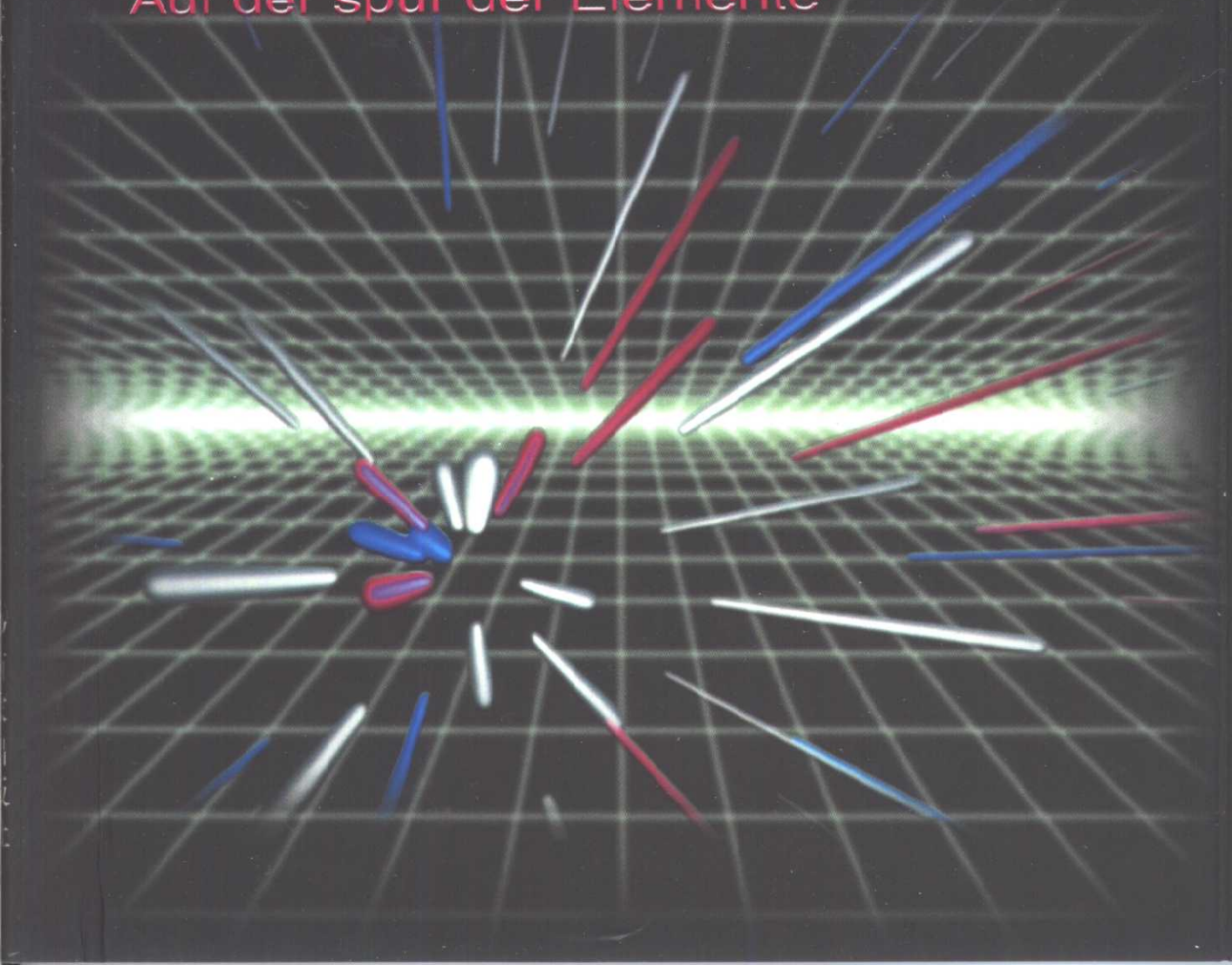
化学奇境

百家出版社

[德]乌塔·比罗 著 贾裕民 译

Auf der spur der Elemente

Auf der spur der Elemente



元素的轨迹

化学奇境

〔德〕乌塔·比罗 著
贾裕民 译



前沿科学探索书系

百家出版社

图书在版编目(CIP)数据

元素的轨迹:化学奇境/(德)比罗(Bilow, U.)著;贾裕民译. —上海:百家出版社,2001. 12

(前沿科学探索书系/(德)本钦格尔(Benzinger, O.)主编)

ISBN 7-80656-417-9

I. 元... II. ①比... ②贾... III. 化学元素-普及读物 IV. 0611-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 063636 号

© 1998, resp. 1999 Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG. Munich/Germany

© for the Chinese edition: 2001 Bai Jia Publishing House

版权所有,盗版必究

- 登 记 号 图字:09-2000-271 号
丛 书 名 前沿科学探索书系
书 名 元素的轨迹——化学奇境
编 著 者 [德]乌塔·比罗
译 者 贾裕民
责任编辑 唐少波 丁翔华
封面设计 张 宁 梁业礼
出版发行 百家出版社(上海天钥桥路 180 弄 2 号)
经 销 全国新华书店
印 刷 商务印书馆上海印刷股份有限公司
开 本 787×1092 毫米 1/32
印 张 3.5 插页 2
字 数 65000
版 次 2001 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
ISBN 7-80656-417-9/G·592
定 价 10.00 元

导 言

仅仅是1996年和1997年的自然科学及技术出版物的数量,就超过了自有文字传播以来到第二次世界大战为止,世界上所有学者的相关著述的总和。如此大的知识量不仅使外行望而却步,就连专家也很难了解自身学科的全貌。在这种背景下,我们该如何确认哪些知识是有价值的,它们应怎样发展,会对我们产生什么影响?就显得尤为重要。因为正是自然科学与我们生活的各个方面息息相关,即便我们毫无察觉,但我们却无时无刻地要与它打交道。

本丛书旨在作为茫茫知识海洋中的航标,导引我们遨游自然科学和技术研究的最为重要的专业领域;文笔通俗易懂,重点放在基础性、关键性的知识和理论,并且自始至终刻意地省略了艰深的细节问题。

担纲本丛书写作的是一些杰出的科普作家,他们的日常工作就是用深入浅出的语言向人们讲解复杂深奥的科技内容。我感谢他们每个人,感谢他们对这一项目表现出来的自告奋勇精神和富有创造性的合作。

与物理或天文学相比,化学是自然科学大树上相对稚嫩的一枚果实,乌塔·比罗(Uta Bilow)在这本书中描述了科学家是怎样一步一步地揭开物体的结构之谜,以及他们



是如何逐渐地认清元素的特性和它们的化学性能:从最早的古希腊和古罗马时期的自然哲学家,经过波义耳(Robert Boyle)、拉瓦锡(Antoine Lavoisier)、李比希(Justus von Liebig)、以及门捷列夫(Dimitrij Iwanowitsch Mendelejew)和迈耶尔(Julius Lothar Meyer)的化学实验,一直到如今的高科技化学实验室。在这个给人留下深刻印象的发展过程中,化学不仅成为人类的朋友,同时也常常被当作危害人类环境的同义词,“无化学”这个印章已被视作是干净食品的代号。其实在自然界中无处没有化学,然而在对化学进行评价时人们往往对此视而不见。乌塔·比罗在本书中对此作了澄清,她以非常简明易懂的方法讲述了化学的主要知识、最重要的化学方法和化学的主要研究范围等,她摒弃了意识形态中闭目塞耳的陋习,充分阐明了这一自然科学项目可能带来的机遇,以及可能带来的风险。

奥拉夫·本钦格尔

234

丙
乙
甲

丙
乙
甲

乌塔·比罗

生于1964年。在波恩学习化学，1994年被授予无机化学专业博士学位。之后她转入了新闻领域，为多家媒介撰写了许多文章。这其中有《法兰克福日报》、《新苏黎世报》和《德国电台》等。目前，她生活和工作都在德累斯顿。



前沿科学探索书系

蓝色的星球——人与生态

生命的分子——神奇的遗传学

知识与感知——探究人类的大脑

薛定谔的猫——玄奥的量子世界

关于鹦鹉螺和智人——进化论的由来

混沌及其秩序——走近复杂体系

超弦的音响——自然中之最小

$E=mc^2$ ——相对论入门

物质的最深处——核物理学导引

黑洞与彗星——天文学大观

逻辑的语法——数学漫谈

元素的轨迹——化学奇境

目 录

导言	1
一个圆的物体——富勒烯的发现	1
早期的化学	6
从炼金术开始	6
什么是化学	11
原子	14
分子和固体物	33
化学反应	44
物理特性	57
化学种类	63
应用化学	82
化学的各种用途	82
机遇和风险	88
附录	99
术语释义	99
其他文献	104

一个圆的物体——富勒烯的发现

1985年9月的一个晚上,五位科学家(三位教授和两位研究生)在美国得克萨斯州休斯敦的赖斯大学(Rice University)互相告别,眼下他们为着一个共同的假设再也干不下去了,因此他们都想以自己的方法去寻找解开这个谜的正确答案:在极高的温度下他们采用功率极大的激光射线使石墨(这是碳的一种形态,它的原子呈平面排列,看上去就像蜜蜂的蜂房)汽化,但汽化后的残余物十分稳定,这就成了一个不解的谜,它总是呈现出极精确的60个碳原子结构。即使在构作一个未知物体时,石墨的碳蜂房六角形也无时不在,那么蜂房为什么不再扩展下去呢?60个碳原子又是怎样形成稳定的分子结构的呢?

希思(James Heath)(两位研究生中的一员)买来了水果汁冻糖果,并和他的妻子卡尔门(Carmen)一起使用牙签将它们像试验的残余物一样互相连接起来,但是直到他们把手指弄破,得出的结论还是互相接缝的六角形能产生一个平面,它们的边缘能不断地扩展下去,也就是说只有采用某种方法阻断其边缘后,它们才不扩展下去,这只有一种可能,那就是其表面成拱形,并互相连接成一个鸟笼形状。因此,这60个碳原子只能是一个具有封闭



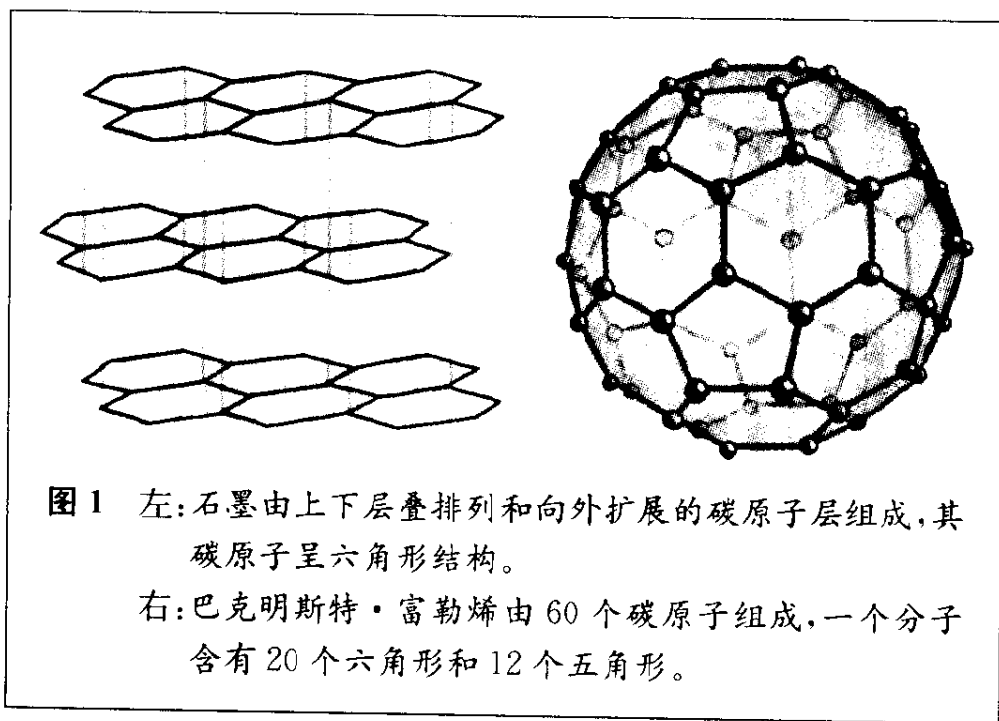
外壳的物体。

克罗托(Harold Kroto),一位来自英国的化学教授,回忆起巴克明斯特·富勒(Buckminster Fuller)的建筑结构,在1967年的加拿大蒙特利尔万国博览会上,富勒建造了一个巨大的半球形屋顶展览馆,它是由各种多边形材料组合而成。同样克罗托还记起了他的孩子用硬纸制作的星状球结构,这个物体不仅有六角形,其中还包括五角形,它们呈拱形互相连接。显然六角形网结构只能弯曲,才能插入其他形状。但是,碳原子物体呈怎样的形状,才能将不同的多边形互相连接起来呢?

赖斯大学研究室的负责人斯莫利(Richard Smalley),从图书馆借来了一本介绍巴克明斯特·富勒工作的图书,并细心地开始阅读。晚上他坐在工作台旁,摆弄起六角形的硬纸片,并用胶水把它们一一粘贴起来。后来他回忆起克罗托的提议,将五角形也掺入了他的作品,这一下事情变得简单了:斯莫利在一个五角形的周围粘上5个六角形,并使它们的边缘相接,这样就形成了一个平坦的拱形壳,他将纸片继续粘贴,这时他得到了一个半球形物体,然后将两个半球体合拢,组成一个圆球体。这个物体由12个五角形和20个六角形组成,看上去就像一个黑白相间的足球,而这个“圆球”有60个顶角!这肯定是试验残余物的60个碳原子!在这个夜晚斯莫利第一次有意识地获得了这个分子的模型,作为纪念,后来他和他的同事将这个分子命名为巴克明斯特·富勒烯(Buckminsterfulleren)。当时,虽然还没有任何证据能证明这



些原子的排列呈球形状,但研究者却非常相信他们的想法,因为只有这种模型才能解释他们的实验结果。他们的想法是对的,11年后,也就是1996年的12月,克罗托(Harold Kroto),斯莫利(Richard Smalley)以及参加这一实验的化学教授柯尔(Robert Curl),由于他们开创性的工作在斯德哥尔摩获得了诺贝尔化学奖。



1985年11月克罗托、希思、奥布赖恩(Sean O'Brien, 研究小组两位研究生中的另一位)、柯尔和斯莫利在著名的科学杂志《自然》上发表了他们的论文,这标志着富勒烯的研究进入了实质性的起步阶段,并由此开始了复杂而浩大的实验论证工作。所有的研究都表明碳原子呈球形排列,虽然柯尔、克罗托和斯莫利只能制作相对少量的巴克明斯特·富勒烯,但是在科学家们的心中却充满着



似淘金者的喜悦。1985 年至 1990 年间发表的大约 750 多篇关于富勒烯的论文都坚信,最终一定能发现会特别引起轰动的物质:纯净的碳。当时人们只知道有金刚石和石墨形态,现在显然还存在着其他形态,在高温汽化时它们会自动净化成稳定的 60 个碳原子结构,如果这已经出乎意外,那么呈圆球笼子状排列的不寻常结构给科学家们带来的则是更大的惊喜。

在这个领域中其实早已有很多其他研究者制作出了富勒烯,或者以其他方式发现了它们的踪迹,比如德国海德堡的马克斯-普朗克物理研究所(Max-Planck-Institut)物理学家克拉茨奇默(Wolfgang Kratschmer)和美国图森市亚利桑那大学(University of Arizona)的物理学家霍夫曼(Donald Huffman),早在 1982 年秋,他们就将石墨放在一个电弧装置中,并在氦气下进行汽化,并对实验所产生的碳灰进行研究,他们对碳灰是怎样吸收紫外光的过程进行了测定,在这两位物理学家面前,试样总是呈现出不规则性,他们把它称为“骆驼的驼峰”,这是因为这种吸收谱总是突出成两个大峰,当时克拉茨奇默和霍夫曼对这个“驼峰”没有能作出合理的解释。

直到 1988 年,在富勒烯被发现 3 年后,霍夫曼才想起,他的试样(即驼峰试样)也可能含有巴克明斯特·富勒烯分子,因此他和克拉茨奇默又重新开始合作,采用他们的专用装置再进行试验,终于他们又能制造出“驼峰试样”了。这位海德堡人采用红外线光谱法分析这些试样,试验的结果与球形分子的理论计算值完全吻合,因此可



以肯定巴克明斯特·富勒烯也可以通过电弧法对石墨电极进行汽化而得到,并且得到的数量要比斯莫利采用激光汽化所得的要多得多。

又过了几年,克拉茨奇默和霍夫曼才真正得到了一直渴望的全碳分子。在很长一段时间里,他们不知道怎样才能从石墨汽化后的碳灰中分离出这种物质,直到1990年他们才真正成功。他们将一种叫苯的溶剂滴在碳灰上,液体被染成红色,并从碳灰中分离出来,当人们继续从过滤出来的溶液中将苯再汽化,就得到了褐黄色的结晶,这就是纯净的巴克明斯特·富勒烯。积累到一定的数量后他们继续进行X-射线的结构分析,分析的结果表明,极小的晶体是由直径大约为一纳米的球形分子构成,这与巴克明斯特·富勒烯的特征完全相符。

1990年9月克拉茨奇默和霍夫曼又一次在《自然》杂志上公开了他们的研究成果,这给世界上许多其他工作小组指明了方向,使人们知道怎样才能通过一种相对简单的实验过程获得这种渴求的物质。从此以后,这种小碳球就经常被用来进行实验,人们测试它是否适用于作“分子滚珠”,制成润滑剂;或者是否适用于作超导粒子;以及它们是否具有特别的电子或电磁性能;在巴克明斯特·富勒烯中充入气体原子并将它的外表进行化学改变等。但这些实验的成果远远没有比富勒烯本身的发现更具有轰动效应。

早期的化学

从炼金术开始

“通常都认为化学是一门很年轻的学科,其实那是个错误,它的产生源于偶然的事件,它属于最古老的科学之一”,李比希(Justus von Liebig)的这个论断使许多人感到很惊讶,因为一直到 400 年前人们才对化学的规律有所了解。其实早在史前时代,化学知识和技能已经对人们在获取食品、衣物以及改善住房等方面有了极大的帮助。大约在 8 000 年前,人们就渐渐地学会了从矿石中提炼铅、铜、金、银、锌、铁及其合金,如青铜和黄铜等,使用金属对于人类的发展具有极其深刻的意义,这从我们把人类的各个历史时期划分为铜器时代,青铜器时代和铁器时代可见一斑。在古老的埃及,人们已经使用某些色素比如蓝色的矿物天青石(Lapislazuli)作染料,如今为了能使它应用于更多的领域,我们采用化学的方式进行合成和改变其特性。

在这些历史时期中,人类虽然掌握了一些化学知识,但并没有作进一步的分析,相对而言,古希腊和古罗马文化则别具特征,它通过宗教神话学思想向着理性的思想



演变。自然哲学家恩培多克勒 (Empedokles, 公元前 5 世纪) 进行了人类历史上的第一次化学分析, 通过观察木料在燃烧时的变化, 他认为世上万物都由四种基本物质构成: 即火、水、气 (空气)、土, 它们的不同组合造成了物质的多样性。大约在同一时代, 德谟克利特 (Demokrit) 引入了“原子”这一概念, 虽说当时根本就没有任何实验证明原子的存在, 但德谟克利特认为原子是不可再分的粒子, 它们互相区别于外形和大小, 通过它们的不同组合产生了整个物质世界。亚里士多德 (Aristoteles, 公元前 384—322) 提出了基本元素学说, 这几乎是在 2000 年后才被人们所证实: “世间万物都是元素或由元素所组成”, 但也正是由于他提出的延续很长时间的一种错误学说: “所有物质原则上都是可以互相转换的”, 导致了在这以后的无数炼金术士徒劳地去寻找“点金术”, 试图将非贵重金属转换成金或银。正如我们今天所知, 这些努力都以失败而告终, 然而却因此而积累了丰富的经验。通过新的仪器和实验技术, 实验室中的实验得到了不断发展。特别是著名的炼金术士伯特格尔 (Johann Freidrich Böttger, 1682—1719), 他炼金的徒劳努力的最终结果是第一次在欧洲 (1708 年) 制造出了瓷器。

除了这些成果外, 中世纪以及近代炼金术士的手工艺主要集中在获取动、植物体内的芳香物质以及颜料等, 如: 紫色颜料、(从散沫花叶中提炼的) 红色颜料、靛蓝, 以及玻璃和建筑材料等, 随着工业化的进程, 迅速发展的采矿业和冶金业成了化学的重要标志。



经过几千年的努力,化学的经验知识不断增加,而化学理论的空白却一直持续到 17 世纪,波义耳(Robert Boyle, 1627—1691)所作的努力使化学产生了一个质的转变,他以新的方法定义了“元素”的概念,他认为元素应是一种物质,在化学变化中它的重量会不断增大。他敦促研究者去寻找用化学方法不能再分解的基本材料。事实上化学家们更加强了对纯化学反应物建立标本及其描述的研究,并试图将它们分解成元素。

医生和化学家施塔尔(Georg Ernst Stahl, 1659—1734)在寻找冶金学化学反应的原因时,提出了“燃素说”:1702 年他拟定了各种可燃物质含有燃素的法则,他认为这一法则应是燃烧过程和腐烂过程相一致的原因。根据施塔尔的理论,金属是由“金属钙”以及燃素构成,在加热时燃素消失了,剩下的金属钙(实际是金属氧化物)可通过含燃素的木炭再重新转变成金属,因此施塔尔把同氧气进行的反应(氧化作用)看作是燃素的损耗,而还原作用(也就是释放出氧气)则相反是接受燃素,但在回答燃素损耗时为什么重量总会增加这一质疑时,他以其很纯朴的理由而对此不屑一顾:“燃素比空气轻,它与一种物质进行化学反应时,会使这一物质重量增加”。

直到大约 1775 年,燃烧过程都一直在采用燃素说这一幻觉进行解释,在实验室里,人们则根据燃素供体和燃素受体进行试验。即使在 1771 年,当人们已经发现了氧,可开始时人们还是将这种气体认作是非燃素化的空气。后来,法国学者拉瓦锡(Antoine Lavoisier, 1743—



1794)对燃烧过程作了新的解释,他认为可燃物在燃烧时接受了氧,因此会出现重量增加,他第一次将质量视为化学反应时的基本尺度,而这一点在此之前一直被疏忽,因为气体的形状以前一直被认为是“空”的,只是到了 1760 年才证实了各种类型的气体存在,当时科学家们把二氧化碳以及元素氯和氧都叫做“空气”。

拉瓦锡后来在断头台下结束了生命(当时人们喊出了“革命不需要化学家”的口号),他的思想是在经过与传统燃素说进行多年的斗争后才被认可,他的论点宣布了从单纯质的观察到量的观察的飞跃。不久以后人们明白了,元素在化学反应中始终保持相同的、固定的相互比例。然而事实又一次把人们给弄糊涂了,在两种元素之间可能有多种化合方式,比如对氮氧化合物的研究发现,它含有的氧元素质量不相同,由于人们还不知道化学公式,因此当时几乎无法理解 NO 、 NO_2 和 N_2O (一氧化氮、二氧化氮和一氧化二氮)之间的差别。

19 世纪初,道尔顿(John Dalton, 1766—1844)在他的原子论体系帮助下,将化学实实在在地向前推进了一大步。经过 2000 多年,德谟克利特提出的原子理论在睡美人似的长期沉睡后又被唤醒了,道尔顿把原子看作是元素最小的粒子和化学反应中的基本单位。虽然如此,不同元素的原子还具有不同的质量以及不同的化学特性,它们互相间的化学反应只是在简单整数时才有可能发生。道尔顿的“倍比定律”终于对氮氧化物中不同氧含量作出了解释。道尔顿把氢的质量当作起始数值为 1,