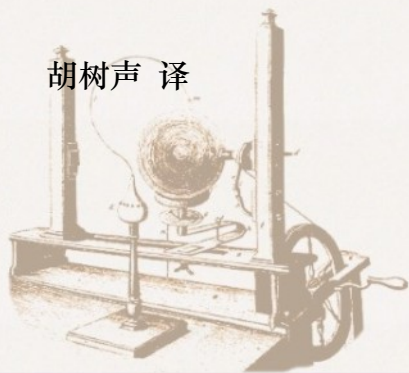


# ASIMOV ON CHEMISTRY

## 阿西莫夫 论化学

[美] I·阿西莫夫 著 胡树声 译



科学普及出版社

# 阿西莫夫论化学

[美] I·阿西莫夫 著

胡 树 声 译

科 学 普 及 出 版 社

## 内 容 提 要

美国著名科普作家阿西莫夫笔触所至，涉及的领域很广泛，但他最熟悉应该算是化学，因为他专攻过这门学科。本书选择了《阿西莫夫论化学》中的无机化学部分。在这部分，作者以他独有的风格，介绍了原子量概念的形成和测定，燃烧的本质，氮、氩及氩化物、氟及氟化物等的发现、性质及其它。本书文字生动、说理清楚，既是一本供广大青年与化学工作者阅读的知识性读物，又可供我国科普作者从事创作时借镜。

## Asimov on Chemistry

Isaac Asimov

Mercury Press, Inc.

\* \* \*

## 阿西莫夫论化学

[美] I·阿西莫夫 著

胡 树 声 译

封面设计：窦桂芳

\*

科学普及出版社出版（北京白石桥紫竹院公园内）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京印刷一厂印刷

\*

开本 787×1092 毫米 1/32 印张 2 7/8 字数 62 千字

1981 年 10 月第 1 版 1981 年 10 月第 1 次印刷

印数：1—10,000 册 定价：0.27 元

统一书号：130051.1188 本社书号：0229

## 导 言（节译）

1959年，我开始为《幻想与科学小说杂志》每月科学专栏写稿。在选题、处理方法、文体和其他方面，我都有完全的自由，我也充分地利用了这个特权。在这一专栏中，我无拘无束地信笔写来，涉及到许多学科。

我之所以有意识地涉及到许多学科，一方面是为了满足我自己的无穷乐趣，另一方面也可以给我的各方读者提供一个机会，使他们能够满足各自的爱好。结果每一册文集的内容包罗万象：有关于天文的，有关于化学、物理的，也有关于生物的，等等。

对科学感兴趣，尤其对化学感兴趣的读者怎么办呢？他们不得不通读每本书中与化学无关的文章，而他们所偏爱的最多不过四、五篇。

那么，为什么不从这五本已经停版的书中，挑选十来篇有关化学的文章编成一本书，称之为《阿西莫夫论化学》呢？单独一篇文章可能是旧的，但是汇集成册，就成为一本新书了。

本书就是这样编成的。其中选自《事实与幻想》2篇，选自《高瞻远瞩》7篇，选自《增加一维》3篇，选自《论时间、空间及其它》2篇，还有3篇选自《从大地到天空》。这些文章不是按年代而是按内容编排的。读者翻阅本书时，会发现首先是无机化学，其次是核化学，有机化学、生物化学和地球化学，最后两篇是读者普遍感兴趣的科学小品。

除了将这些文章按内容系统地编辑成专册外，我还干了什么呢？这些文章写成大约有 8 年到 15 年的历史了，它们的出版年代可以从字里行间看出来。值得欣慰的是，科学的进展没能把本书所包含的任何一篇淘汰掉，也没有严重影响它们的价值。但是，稍加改动还是必要的，我也这样做了。

虽然每一篇文章是旧的，但我希望读者对本书会有新颖而依然有用之感。至少，我已如实地解释了我到底做了些什么，为什么这样做。至于做得如何，就由读者去品评了。

I. 阿西莫夫

纽约，1974 年 2 月

# 目 录

## 导言

一、称重游戏·····	1
二、缓慢的燃烧·····	17
三、理想元素·····	33
四、欢迎你，陌生的来客·····	47
五、实验室中献身的人·····	60
六、辨别一个化学家·····	75

## 一、称重游戏

科学理论有一种适应时代思想方法的倾向。

例如，公元前四世纪，有两位希腊哲学家留基伯（Leucippus）和德谟克里特（Democritus）提出了原子学说。他们认为，所有的物体都是由原子组成的。原子的种类跟宇宙间基本上不同的物质的种类一样多（希腊人当时认识到有四种基本上不同的物质或“元素”：火、气、水和土）。

各种元素按不同比例结合，便组成了许多我们所熟悉的不同物质。经分离并按新的比例相结合之后，一种物质便转变成另一种物质。

这一切都很对。但是，这些原子以什么样的形式表现彼此的差异呢？一种元素的原子又如何区别于另一种元素的原子呢？

请注意，原子非常小，小到当时用任何方法都是无法看见或觉察到的。因此，希腊原子学家完全有自由任意选择他们所认可的区别方式。也许不同的原子具有不同颜色或不同反射能力，或者带有用古雅的希腊文所书写的各种小标记。也许它们的硬度、气味和温度各不相同。如果有足够的聪明才智，人们满可以把上述的任何一点作为合乎一定逻辑的宇宙结构理论的基础——如果说希腊人有些什么的话，他们有的就是这种智慧。

这里也就是思想方法起作用的地方。希腊人的专长是几何学。对他们来说，几何学几乎是（尽管不完全是）全部数学，

而且尽可能地渗入到了所有其它知识学科之中。因此，如果把区分原子的问题提出来，希腊人的答案必然带有几何学的色彩。

希腊原子学家认定原子在形状上不同：火的原子可能极其参差不齐，呈锯齿状，这就是火要伤人的原因；水的原子也许是光滑的球体，这就是水很容易流动的道理，而土的原子可能是立方形的，这就是为什么土这样密实而稳定。如此等等。

这一切听起来似乎合情合理，但是不论从哪方面来说，这根本不是原子存在的证据，更谈不上什么不同形状的原子了。所以，这仍然仅仅是一个智力答辩，而且这种答辩同那些希腊哲学家（从思想上来说，他们是非原子学派）的智力答辩相比，并没有更多的根据。非原子学家在其答辩中更有说服力，而原子论者的观点在二千多年中始终是属于少数派的——非常少的少数派。

在十九世纪的头十年，英国化学家道尔顿（John Dalton）复活了原子论。他也相信这一切东西都是由原子组成的，原子相结合并以不同比例重新结合而组成我们所知道的一切物质。

在道尔顿时代，元素的概念已改变为现代的概念。因此他能谈论碳原子、氢原子和氧原子，而不说火原子和水原子了。而且，在十七世纪和十八世纪时，人们记录了一系列化学方面的观察资料，这些资料都可以用原子理论简明地加以解释。这就使原子（还是看不见，也不能看见）的存在成为一个比希腊时代更为有用的假说。

但是，道尔顿也面临希腊人所碰到过的同样问题。一种不可见的原子如何与另一种不可见的原子相区别呢？

1800年的科学已不再是几何学的科学，而是计量的科学



了。也就是说，科学要以质量（通常误称为重量）、距离和时间三种基本性质的测定为依据。这三者合在一起就足以应付牛顿力学领域中的问题了。

因此，道尔顿遵循时代的思想方法而忽视原子的形状。对他来说，所有的原子都是一些无内部结构的、无特色的小球体，可是他却很自然地想到了质量，距离和时间这三个基本性质。显然，其中最用得着的是质量。因此，作为他的理论的一个部分，他断定各种原子可以单由质量来加以区分。某一特定元素的所有原子都具有相等的质量。而任何一种元素的原子所具有的质量却不同于任何另一种元素的原子所具有的质量。

道尔顿进一步研究质量问题——这也许是他的最伟大的、无与伦比的贡献，他试图确定这些不同的质量究竟是什么。

这里并不存在真正地去测定以克表示的原子质量的问题。这在相当一段时间内是不可能的，然而要确定相对质量则完全是另一回事。

例如，氢原子和氧原子化合产生一个分子的水（“分子”是给予任何具有一定稳定性的原子结合体的名称），通过分析，可以确定在形成水的时候，每 1 克氢与 8 克氧化合。同样也可以确定 1 克氢总是恰好与 3 克碳化合生成甲烷。的确，3 克碳又总是恰好与 8 克氧化合成一氧化碳<sup>①</sup>。

我们就是这样来测定当量的。当量就是在形成化合物时不同元素彼此相当的重量（“化合物”是一种物质，其分子由一种以上的原子所组成）。假如我们随意地定氢的当量为 1，那么碳的当量就是 3，氧的当量就是 8。

---

<sup>①</sup> 实际生成的应是二氧化碳，道尔顿推理是一氧化碳。——译注

这又如何与原子相联系起来呢？道尔顿作了最简单的假设（这是人们所经常应该做的），他假定一个原子的氢与一个原子的氧化合成水，如果是这样的话，那么氧原子重量必定是氢原子的 8 倍，这也就是为什么 1 克氢与 8 克氧化合的最好解释方法。瞧！每边都是同样数量的原子，不过氧原子的重量却 8 倍于氢原子。



道尔顿

因此，假如我们随意地定氢的原子量为 1，那么氧的原子量就是 8；根据同样的推理，假如 1 个分子的甲烷是由 1 个碳原子和 1 个氢原子组成，那么碳的原子量就等于 3。

下一个不可避免的问题就是：道尔顿假说的可靠性究竟怎样？原子是否必定要一对一的这样相互化合呢？答案是：不，不一定要这样。

既然 3 克碳与 8 克氧化合成一氧化碳，则 3 克碳就将与 16 克氧化合成二氧化碳。

好啦！如果我们假设一氧化碳的分子是由 1 个碳原子和 1 个氧原子组成，以 C 代表碳，以 O 代表氧，我们就可把一氧化碳的分子写成 CO。但是，假如碳与两倍的氧化合成性质不同的另一种物质的分子，根据原子理论，我们就可以假设每 1 个碳原子与 2 个氧原子化合生成二氧化碳。因此，二氧化碳的分子式是  $\text{CO}_2$ 。

另一方面，假如你根据推理认为二氧化碳分子是 CO，那么，一氧化碳分子就将是  $\text{C}_2\text{O}$ 。看来，在上段中所提供的第一个选择恰好是正确的，但是在两个选择的任何一个中，我们都碰到这样一个分子：其中一种元素的 1 个原子与另一种元素的 2 个原子相化合。

一旦你承认，一个分子可以包括一个以上的某种原子，你必须再一次检查水分子的结构，它是否必须是由一个氢原子和一个氧原子所形成而分子式为 HO 呢？假如它的分子式是  $\text{HO}_2$  或  $\text{HO}_4$ ，甚至  $\text{H}_{17}\text{O}_{47}$ ，又将如何呢？

幸亏有一个确定水的分子式的办法。在 1800 年，两个英国化学家尼柯尔森和卡莱尔 (William Nicholson and Anthony Carlisle) 证明，若电流通过水，就会产生氢气和氧气，并且很快发现氢气的体积是氧气的两倍。因此，就质量而言，水中氢与氧的比例是 1: 8，但就体积而言，其比例则为 2: 1。

这有什么意义呢？也许没有。在氢气中，其原子的间距可能是氧气中原子间距的两倍。因此，它们的体积差别可能

与所产生的原子数量无关。

然而在 1811 年，意大利化学家阿佛加德罗 (Amedeo Avogadro) 提出如下的建议：为了解释在化学结合时气体的已知性质，有必要假设同体积的不同气体包含同样数量的微粒（这种微粒可能是原子，也可能是分子）。

因此，假如通过电解水而产生的氢气的体积两倍于氧气体积的话，就会有两倍于氧粒子的氢粒子产生。假如这些微粒是原子，或者是氢气或氧气中都含有同样数量的原子的分子（以后证明，后者是正确的），那么水分子所包含的氢原子应为氧原子的两倍。

水的分子式不可能是 HO，最简单也得是  $H_2O$ 。假如 8 克氧与 1 克氢化合，这就意味着单独一个氧原子的重量 8 倍于放在一起的两个氢原子的重量。假如你还是指定氢的原子量为 1，氧的原子量就等于 16。

用同样的方法，最终还发现甲烷的分子式为  $CH_4$ 。因此一个碳原子的重量必定 3 倍于放在一起的四个氢原子的重量（别忘了碳的当量是 3）。所以氢的原子量为 1 时，碳的原子量就是 12。

由阿佛加德罗假说还可能作出另一个论断：1 升氢气与 1 升氯气可化合成氯化氢，假设氯化氢分子是由一个氢原子和一个氯原子组成的，这是一个合理的设想。从而我们就能把氯化氢的分子式（以 Cl 代表氯）写成 HCl。

阿佛加德罗的假设告诉我们：那 1 升氢气和那 1 升氯气包含同样数量的微粒。如果我们假设这些微粒是由各自的原子构成的，那么所形成的氯化氢分子的数目必然是我们一开始就用来化合的氢原子和氯原子总数的一半（正如成婚的配偶数是男人和女人总数的一半一样，假如每个人都结婚

的话)。

随之而来的结论是形成的氯化氢气体只有我们开始使用的氢气和氯气的总体积的一半。1 升氢气加 1 升氯气 (总数为 2 升) 将只产生 1 升氯化氢。

然而,所发生的情况并不是这样。1 升氢气和 1 升氯气化合合成 2 升氯化氢。气体的总体积并不改变。因此,微粒的总数也不会变。摆脱这个困境的最简单的办法是:假设氢气和氯气根本不是由单个原子组成的,而是由分子组成的,并且每个分子又是由两个原子所组成。

一个氢分子 ( $H_2$ ) 与一个氯分子 ( $Cl_2$ ) 化合,形成两个分子的氯化氢 ( $HCl$ ),微粒的总数不变,总体积也不变。用同样的方法可以证明氧气也是由包含两个原子的分子 ( $O_2$ ) 所组成。

用这样的推理方法,再加上其它一些我没有在这里提及的归纳法,就有可能找出一系列物质的原子量和分子结构。在这个问题上,最下功夫的是一位叫做贝采利乌斯 (Jöns Jakob Berzelius) 的瑞典化学家。他在 1828 年提出了一系列的原子量,而这些原子量即使以最新的标准来衡量,也是挺精确的。

然而,真挚爱情的进展从来不是一帆风顺的,科学的进展看来也是如此。化学家与任何人一样地容易陷入混乱,在十九世纪上半叶,“原子”和“分子”这两个词互相通用,没有几个化学家在这方面是搞通了的,也没有多少人能够区别氯的原子量是 35.5 而氯的分子量是 71 (因为一个氯分子包含两个原子)。此外,化学家们把原子量与当量也混为一谈,而且他们也难于理解这样的事实:虽然碳和氧的当量分别为 3 和 8,但是它们的原子量却分别为 12 与 16 (至于氧的分子量



阿佛加德罗

是 32，就更难捉摸了)。

这就使得赖以决定分子结构的所有化学计算陷入一片混乱。对无机化学中的简单分子来说，事情还不算太糟，但对有机化学来说，这个领域里的分子含有几十个原子，其混乱简直是灾难性的。如醋酸就曾提出了 19 种不同的分子式，而这个分子中仅仅含有 8 个原子的醋酸还是有机化合物中最简单的一种。

后来，在 1860 年，一个叫凯库勒 (Friedrich August Kekule) 的德国化学家，为了处理这个问题，组织了第一次国际化学会议，它是在德国的卡尔斯鲁厄 (Karlsruhe) 召开的。

这个会议的中心人物是一个叫做康尼查罗 (Stanislao Cannizzaro) 的意大利化学家。不论在正式讲演中，还是在非正式谈话间，他都不断强调了澄清原子量问题的重要性。他指出区分原子和分子、当量和原子量是何等的重要。最突出的是他一再地解释他的同胞阿佛加德罗假说的重要意义，而这个假说却被大多数化学家忽视了半个世纪。

他说明了自己的理由。在以后的十年进程中，化学开始扭向了，并朝正确的方向发展。

结果是非常美好的。一旦康尼查罗宣传的原子量概念被接受以后，就有一些化学家着手按照原子量的递增次序将元素排列起来，看看到底是怎么回事。到 1860 年已经有大约 60 种元素为人们所知道了。你们都了解它们的模式、构造和类型的多样化，简直使人眼花缭乱。谁也无法预测还有多少元素有待于发现，它们的性质又如何？

头几次排列原子量的尝试看来很有趣，但是总的说来，化学家们将信将疑，仍然认为这只不过是一种化学数字算卦

法而已。后来俄国出现了一位叫做门捷列夫 (Dmitri Ivanovich Mendeleev) 的化学家。他在 1869 年作了在当时算是最精细的排列。为了使他排列的表更完美，他在表中留有空格，他坚持这些空格意味着存在尚未发现的元素。他特别对其中三种元素的性质作了预测。在十几年内，这三种元素都被发现了，它们的性质与门捷列夫所预测的全都吻合。

激动的情景简直无法形容。原子量成了这段时期最大的成功。许多化学家开始专心致力于原子量的更精确的测定。一位比利时化学家斯达 (Jean Servais Stas)，在十九世纪六十年代制订出了一张远较贝采利乌斯所制订的更好的原子量表。到了二十世纪头十年，正好是道尔顿在这方面进行最初几次尝试后的一百年，原子量测定这件事达到了化学的顶峰。美国化学家理查兹 (Theodore William Richards) 对杂质和误差采取了异常谨慎的措施，分析了化合物，并得到了极为精确的原子量。为此，他获得了 1914 年诺贝尔 (Nobel) 化学奖金。

但是命运就是这样。这时，原子量问题从化学家们的手中转到了物理学家们的领地里去了。

随着十九世纪九十年代亚原子微粒的发现，情况发生了变化。结果证明，原子并不是千篇一律的球形粒子，而是由更小的不同种类的粒子组成的球体，其中有些粒子还是带电的。

结果还证明，不同元素的原子之间的基本区别，根本不在于原子量而在于原子核上的正电荷数目 [这再一次地适应了当代的思想方法，因为随着十九世纪的消逝，根据英国化学家法拉第 (Michael Faraday) 和苏格兰物理学家麦克斯韦 (James Clerk Maxwell) 的理论，牛顿力学领域让位于力场





法拉第

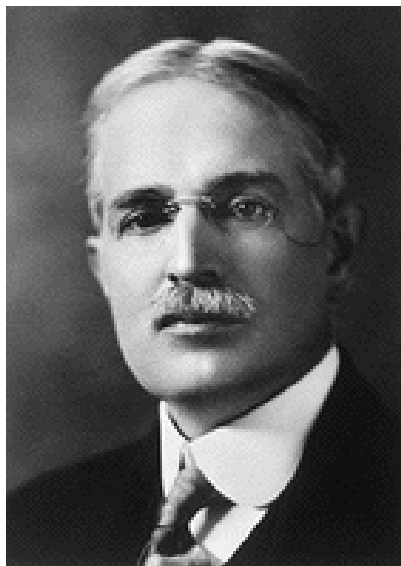
领域，电荷和力场体系正相适应]。

以后还证明了：大多数的元素是由原子量稍有差别的各种原子所组成。这些原子量不相同的同一元素的各种原子叫做同位素。

我们通常所说的原子量只不过是组成这种元素的各种同位素的重量的平均值。

物理学家们开始用非化学的方法测定各种同位素的相对质量。其精确度远远超过了甚至是诺贝尔奖金获得者理查兹

的普通化学方法所测得的结果。要得到一种元素精确的原子量，只要根据从自然界发现的这种元素的各种同位素的自然百分比，求出组成该元素的各种同位素的质量加权平均值<sup>①</sup>就行了。



理查兹

如果不是由于物理学家开始采用与化学家所采用的略有差别的原子量这一事实，原子量变成一种物理的而不是化学

---

<sup>①</sup> 总量中的每个数量，因重要性不同分别给予不同的权数。按不同权数计算的各个数量的平均数（值），就是加权平均值。——译注

的测定，即使对最敏感的化学家也不会是什么难堪的事。而真正的坏事是物理学家们是正确的，而化学家们则是错误的。

让我来解释一下。

从一开始就需要建立一个测定原子量的标准，最合乎逻辑的标准看来就是把氢的原子量定为 1。当时觉得（而现在是已知的事了）氢可能是存在的最轻的原子。因此在这个世界上将氢的原子量定为 1 是最自然不过的事了。

要定原子量，麻烦在于首先得从当量开始（至少在开始时是这样）；要测定当量，人们就需要从两个易于化合的元素着手。但氢仅与很少几个元素直接化合，氧则能与许多元素直接化合。因此，用氧而不用氢作标准，是一件既实际又方便的事情。

这样就有必要作一些小小的修改。

原子量间相互的比值并不恰好是整数。假如将氢的原子量定为 1，那么氧的原子量就不到 16，而是更接近于 15.9。但是，假如氧原子是最经常用来计算当量的话，用 15.9 这样一个数字就很不方便。更方便的选择就是定氧的原子量为 16，同时让氢的原子量稍微超过 1。事实上这个稍微超过 1 的数值是 1.008。

我们称此为“O=16”标准。这使化学家们很满意。一直到二十世纪二十年代都没有任何人提出过异议。后来麻烦来了。

1929 年发现氧是三种不同的同位素的混合物。说真的，在每 100,000 个氧原子中，有 99,759 个原子量约为 16，而另外 204 个原子量约为 18，剩下的 37 个原子量为 17（可用  $^{16}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{18}\text{O}$  来代表这些同位素）。

这意味着当化学家们定氧的原子量为 16 时，他们是把三种同位素的加权平均值定为 16。普通的氧同位素的原子量略低于 16（确切地说是 15.9956），由于少量的较重的氧原子同位素的质量，把这个数字提高到 16。

研究个别原子核的物理学家，对元素中某一具体同位素比对任意聚集起来的一堆同位素更感兴趣。关于这一点，他们有他们的道理。因为据我们所知，个别同位素的质量是一个绝对常数，而元素的原子平均质量，在不同条件下，会随着混和物组成的变化而稍有波动。

现在我们有两种基准，首先是“化学原子量”，以“O=16”的标准为基础。其次是“物理原子量”，它以“ $^{16}\text{O}=16$ ”的标准为基础。

按化学原子量基准，氧的原子量是 16.0000，而按物理原子量基准，氧的较重同位素就把氧的平均重量提高到 16.0044。自然啰！所有其它原子量都按这个比例变化。每一种元素的原子量按物理基准要比按化学基准高 0.27%。因此，氢的化学原子量是 1.0080，而物理原子量是 1.0083。

这算不了多大的差别，但这也不是妙事。化学家与物理学家不应该有这样的分歧。然而，化学家们虽然受到这种合乎逻辑的压力，他们仍然不愿意放弃他们原来所定的数字，免得在化学文献中以旧的化学原子量为基础所进行的大量计算给人们带来混乱。

可喜的是经过三十年的分歧以后，取得了成功的协调。

对物理学家来说，采用“ $^{16}\text{O}=16$ ”标准是对现在已经无效的一种化学偏见的屈服。把氧作标准的唯一理由是用氧来测定当量比较方便。

但是物理学家用不着当量，当量对他们毫无价值。他们

通过把带电的原子输送过已知强度的磁场，然后测定磁场对这些原子的行迹的影响，从而测出带电原子的质量。

在这方面，氧并不是用作标准的最好原子，碳原子倒是当之无愧的。最普通的碳同位素  $^{12}\text{C}$  的质量较任何其他同位素的质量更为人们所精确的了解。再者， $^{12}\text{C}$  按物理基准，其质量是 12.003803；而按化学基准，几乎恰好是 12。

那么为什么不制订一个  $^{12}\text{C}=12$  的基准呢？这同  $^{16}\text{O}=16$  基准同样的合理。何况  $^{12}\text{C}=12$  基准同化学的  $^{16}\text{O}=16$  基准几乎完全吻合。

1961 年国际纯粹物理和应用物理学协会（The International Union of Pure and Applied Physics）颁发了一条通令：执行  $^{12}\text{C}=12$  基准。 $^{12}\text{C}$  的质量定为 12.000000，也就是降低了 0.033%。所有其它同位素的质量也自然而然地以同样的百分比下降， $^{12}\text{C}=12$  的基准较  $^{16}\text{O}=16$  基准略为偏低。

因此，氢和氧的化学原子量分别为 1.0080 和 16.0000。按新的物理基准则分别为 1.00797 及 15.9994。

现在的差别仅仅为 0.003%，只是化学基准和老的物理基准之间的差别的 1/100。

化学家们不能再抵制了，其差别是如此之小，以致它对文献中的计算不会有任何影响。因此，国际纯粹化学与应用化学协会（The International Union of Pure and Applied Chemistry）也接受了  $^{12}\text{C}=12$  这样的基准。到 1961 年，物理学家和化学家在原子量问题上再一次有了共同的语言。

还要注意，这是如何完成的。物理学家们在实际值上作了大量的调整工作，这对化学家来说是一个胜利。而另一方面，化学家们采用了以单个同位素为标准的原则，这一点却

是物理学家的一个胜利。

由于现在采用的标准是最精确的，所以最终结果是我们大家的胜利。

这就是管理世界的方法——但我要克制自己，不要试图争个是非高低。

## 二、缓慢的燃烧

多少年来，我一直是牛顿的最诚挚的崇敬者。人们终究能证明他是世界上最伟大的科学家。

另外，牛顿的名字同我一样都叫艾萨克 (Isaac)，也不能不使我欣然自得。肯定地说，我不是以他的名字来命名的，而是以我祖父的名字来命名的。但按理说，我们总该有一些共同点。再巧不过，我所住的波士顿 (Boston) 郊区也叫做牛顿——你觉得怎么样？

你瞧，我是有许多理由成为牛顿迷的。因此，在他显示的光辉形象中出现瑕疵时，我感到不好受。在物理学和天文学方面他是卓越的天才。在数学方面他又是一位非凡的创始人。可是，在化学方面他却很糟糕。他白白地浪费时间和精力去制造金子；他走遍了欧洲去寻求炼金配方，并且一一进行了试验，但是，却以失望告终。

十七世纪八十年代，当他宣布他的力学定律和万有引力定律时，现代物理（归功于伽利略）正好诞生一百周年，而现代化学（归功于拉瓦锡）又正好在这以后一百年诞生。这是一种戏剧性的说法，表明牛顿处在自然科学史的中途。

物理学诞生的故事已经一再讲过了。我们大家都知道伽利略的落体试验。这种试验一下子就摧毁了亚里士多德 (Aristotelian) 的物理学而建立了科学的现代形式。在大众神话集里，把这一创举归结为这样一个实验：使一个重球和一个轻球从比萨斜塔的塔顶落下，结果看见两球同时着地

(实际上,我们完全可以肯定,伽利略从来没有做过这样的实验)。

另一方面,化学的诞生却没有这样的关键性试验来美化它。在化学领域里,没有相当于将物体从比萨斜塔落下那样的例子,没有一个经典的、响彻前后的功绩在时间的列车上摧毁了旧时代,创立了新时代。至少在我所读过的书中找不到这样的例子。也没有一个可以被认为与上述相等的试验。

有一个例外。我认为我能证明一个简单的试验,它摧毁了旧化学,同时开辟了新化学。假如没有象比萨斜塔试验那样惊人的话,也至少同它一样地具有戏剧性和决定性。其不同点是:

(1) 这个决定性的试验确实发生过,而并不是什么神话。

(2) 它涉及到一个发了狂的科学家,因而扣动所有真正科学小说迷的心弦,勾起他们的怀旧情绪。

尊敬的读者们,在你们的允许下(如必要的话,即使没有你们的许诺),我将根据我的想法给你们讲一讲现代化学诞生的故事。

在牛顿时代,化学理论大部分还是根据希腊哲学家在二千年前研究出来的成果。那时的“四个元素”(也就是构成宇宙的基本物质),就是土、水、气和火。

希腊哲学家们认为真正的物体是由这四种元素以各种特定的比例组成的。那么人们很可以想象一个物体里的元素可以分离出来,然后以不同的比例重新再化合,形成另一种类型的物体。按照这个办法,人们就能将一种金属变为另一种金属(假如他能发现正确的过程的话),特别是能将铅变成金。



大约有一千五百年，炼金术士们曾努力寻找这种“转变”的适当配方。在这一过程中，阿拉伯人创立了一种理论，认为他们所研究的那些不同固体中包含两种特殊的要素：一种是金属要素，即汞；另一种是可燃要素，即硫。

这对他们制造金子并无帮助。到牛顿年代，对化学来说，似乎急需某种新的概念。更重要的是，假如真出现新概念，那么它应该与燃烧有关。煤作为一种新燃料开始得到使用。人们也开始摆弄由燃料加热水而产生的蒸汽。总的说来，燃烧这个问题还没有头绪，它在 1700 年使人们感到兴奋，正如电在 1800 年、放射性在 1900 年、火箭在 1950 年使人们兴奋那样。

这时一位名叫施塔尔 (Georg Ernest Stahl) 的德国医生登上了科学舞台。他年仅二十余岁时，就被任命为魏玛公爵 (Duke of Weimar) 的宫廷医生。到了晚年，他又成为更高一级的普鲁士皇帝威廉一世 (King Frederick William I) 的皇族医生。他在哈勒 (Halle) 大学多次作了关于医学的讲演，名噪一时，引人注目。

1700 年，他提出了一种比以往所提出的任何论点更有道理的燃烧理论。他大量吸取了炼金术士们的见解，特别是关于燃烧要素硫的见解。他称这种要素为“燃素” (phlogiston)，这个字是从希腊文来的，意思是“使……燃烧”。因为他坚持一切可燃物都含有燃素，正是燃素使物质有燃烧的可能。

施塔尔说，在燃烧过程中，燃烧的物质失掉它所含的燃素，燃素倾入空气中，为空气所接收，而燃烧剩下的已经完全不含燃素，所以不能再燃烧了。例如木材、煤都富含燃素，可是它们经过燃烧所留下的灰烬，则一点燃素也没有了。

施塔尔提出金属生锈的过程在原理上与木材燃烧的过程相似，这是他在化学见解方面最大的贡献。一种金属，如铁，它富含燃素，当它腐蚀时，它在空气中失掉了燃素。等到所有的燃素丢失殆尽，剩下的就是铁锈了。

木材燃烧与金属生锈之间的根本区别仅仅在于速度。木材失掉燃素是如此之快，以致它的消逝使它成为火焰而为人们所见到；铁失去燃素是如此之慢，以致它的变化过程是觉察不到的。在施塔尔看来，燃烧是快速的生锈，而生锈又是缓慢的燃烧。

在这方面，施塔尔是相当正确的。可是，他却因此而没有得到任何称颂。学化学的学生们被教导的第一件事就是对这种燃素理论置之一笑。因此，施塔尔不是被人遗忘，就是受到谴责。我认为这是不公正的。

事实上，这个燃素理论解释了很多以前解释不了的东西，最明显的就是冶金方面的问题。例如，几千年来，人们已经知道如果金属矿物在与燃烧的木材或煤接触时，受到强热，就可以得到游离的金属。至于为什么会这样，还没有一个人找到圆满的答案。

直到施塔尔提出了燃素理论。根据这个理论，就不难理解，金属矿物是一种存在于自然界的完全没有燃素的锈，因此它不具有金属性质。如果在具有丰富燃素的炭的存在下，将它加热，燃素就从炭进入矿石。由于矿石得到了燃素，它就转化成金属，而炭则由于失去了燃素而成为灰烬。

解释得多么巧妙啊！

可惜这个理论有一个很大的缺点。当金属生锈，它的重量增加了！一磅铁大约产生一磅半的铁锈。如果这种转变是由于失去燃素，而不是由于得到了什么，那么这个额外的重量

又是从哪里来的呢？

一些化学家为此很伤脑筋，他们试图解释燃素其有负的重量。燃素不是因为引力被往下拉，而是因为轻浮被往上推（如果你愿意的话，你可以认为这里具有双重意思，但轻浮是原话）。因此，可以认为一磅铁还包含有负半磅的燃素，在失去燃素后，产生的铁锈的重量是一磅半。

这样的见解就象铅做的气球一样不切合实际。首先，除了燃素以外，在自然界中我们再也找不到任何具有负重量的例子。其次，木材燃烧时，它却是失去重量的，剩下的灰烬较原来的木材轻得多。假如木材失去具有负重量的燃素，那么为什么它的灰烬不象铁锈重于铁那样比木材重呢？

这一问题没有答案，当时的一般化学家只能对此耸耸肩膀而已。当时在化学领域里，毕竟还没有精确测量的传统。几千年来，人们把化学工业当作工艺技巧而不是当作科学来进行工作的。炼金术士们致力于纯属描述性的观察。他们注意到了沉淀的形成、气体的放出、颜色的变化——但是，象重量、体积等，他们却认为是不相干的。

经历了两代人的时间，情况依然这样。然后到十八世纪七十年代，才有了许多重要的发展。其中一件事情是化学家们开始研究空气了。

对古希腊人来说，空气是一种元素，是一种单质。可是，在十八世纪七十年代开始时，一位名叫布拉克（Joseph Black）的苏格兰化学家，他在一个装有空气的密封容器中点燃一支蜡烛，这支蜡烛最后熄灭了。在它熄灭的时候，容器中仍然还有大量的空气。这是什么原因呢？

因为忙于其它事情，他就把这个问题移交给他的学生卢瑟福（Dainel Rutherford）[附带说一下，卢瑟福是诗人兼小

说家斯科特爵士 (Walter Scott) 的舅父]。

1772 年卢瑟福重复了布拉克的试验。他更进了一步，把一支新的蜡烛点燃并放在旧蜡烛燃烧过以后剩下的空气中，结果那支新蜡烛很快就灭了。把老鼠放在这样的空气中，它们就会死去。

卢瑟福用燃素这个理论来分析他所观察到的资料，当一支蜡烛在一个装有空气的密封容器中燃烧时，它就把燃素放到空气中去。很明显，一定量的空气只能容纳一定量的燃素，不能超过这个量。当空气充满燃素以后，蜡烛便熄灭，并且再没有什么能在这样的空气中燃烧了。呼吸时不断吐出燃素的生物（远在罗马时代，就有人猜测呼吸与燃烧相似），不能在充满燃素的空气中进行呼吸，因而就死去。卢瑟福称这种窒息性气体为“燃素化了的空气”。

舞台向南转移到英格兰，那里有一位叫普利斯特里 (Joseph Priestley) 的牧师，他在 1766 年遇见美国科学家、政治家弗兰克林 (Benjamin Franklin)，以后对科学发生了兴趣。

普利斯特里的伟大发现来自于他在 1774 年用汞所进行的实验。他先用一个大的放大镜将日光聚焦来加热汞，热量使得表面发光的汞蒙上一层红色的粉末。他把粉末集中起来，然后将它加热到更高的温度，于是粉末便升华，形成两种不同的气体：其中一种是汞蒸气，它在容器的较冷的上部冷凝而形成一滴滴的汞；另外一种始终是始终看不见的气体。

普利斯特里怎么知道这种气体存在呢？因为它具有与普通空气不同的特殊性质。在把来自汞的红色粉末加热的容器中，插入带火星的木条，木条立即猛烈燃烧起来。普利斯特里收集了这些气体，发现蜡烛能在这种气体中燃烧并发出异

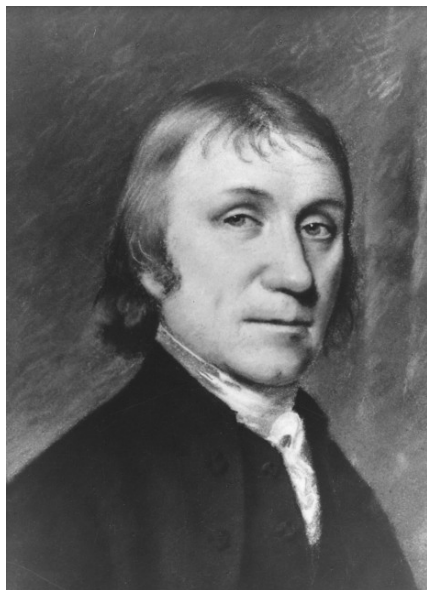
乎寻常的亮光。他还发现，放在这种气体中的老鼠会活泼地来回跳动。他甚至亲自呼吸了这种气体，并报导说这种气体使他感到非常轻松舒服。

普利斯特里按照燃素理论来解释这一切。当汞受热时，它就向空气中放出所含的部分燃素而变成缺乏燃素的红色粉末。这种红色粉末可以被认为是一种汞锈。如果把它加强热，它就会从空气中吸取燃素，再次变成汞。同时，周围的空气由于提供了燃素，本身就成为“脱掉了燃素的空气”。很自然，这种“脱掉了燃素”的空气特别渴望取得燃素。它就迅速地从带火星的木条上吸取燃素。这个反应的速度之快，使我们能看到窜起的火焰。根据同样的道理，在“脱掉了燃素的空气”中，蜡烛比在一般的空气中燃烧得更亮，老鼠也奔跑得更欢。

普利斯特里和卢瑟福的试验合在一起，似乎表明空气是一种单纯物质，它的性质可通过改变它所含的极轻的流体（燃素）的量而变化。

一般的空气含有一些燃素，但并未被燃素饱和。假如有什么东西在空气中燃烧，它就能吸取燃素。当锈加热变成金属，空气就失去燃素。一旦空气得到了它所能容纳的全部燃素后，它就不能再助燃或维持生命了。这时它就成了卢瑟福的那种气体。如果它失去了所有的燃素，它就能特别卖力地助燃，并且很容易维持生命。这时它就成了普利斯特里的那种气体。

现在我们把视线继续往南转移。在巴黎有一位才华横溢的年轻化学家拉瓦锡，他认为“测量”对化学的重要性同伽利略认为它对物理学的重要性一样。定性的观察是不够的，必须进行定量的观察。他强调这个思想，并为此进行艰苦的工作。



普利斯特里

举一个例子：如果把水，即使是最纯的水，放在玻璃容器中煮干，最后总是有沉淀物留下。炼丹术士们经常这样做，并且以这种沉淀物为例，说这就是元素水变成元素土的一种转变形式（根据这一点，他们推断，金属转变是可能的，铅是能变成金子的）。

大约在1770年，拉瓦锡决定重复这个试验。但是，这次试验是定量的。他先在一个精确称量过的干净烧瓶内，加入重量精确的水，然后把水煮沸。他设计的装置是让上升的水蒸气冷却，再度凝结成水并滴回瓶中正在沸腾的水中。他

这样连续干了 101 天，使水有足够的时间转变成土，然后他停止试验，让水全部冷却下来。

果然，当水冷却以后，出现了沉淀物，拉瓦锡就把水倒出，把沉淀物过滤出来，再把两者分别称量。水的重量一点也没有变。然后他又称了称瓶子，瓶子的重量减轻了，而减轻的重量正好是沉淀物的重量。水并没有变成土，它仅仅溶解了瓶子的一些组成物质而已。

这样，拉瓦锡指出，通过把一个特定试验仅仅变成定量试验，就可以由原先得出的结论转变为另外一个而且是更合理的结论。

在他后来所做的试验中，拉瓦锡在容器中放入一些锡，并把它密封起来，然后精确地称重，最后将容器加热。

在锡上面形成了白色的锈。大家知道这种锈总是较金属本身重的。可是当拉瓦锡称一称整个装置，他发现总重量并没有变。如果锈较锡重，那么所增加的重量必定与容器中什么部分所失去的重量相抵消。假如所失去的重量是空气的一部分含量，那么容器中就应该有部分真空。事实也正是这样。当拉瓦锡把容器打开，空气就往里冲，这时整个装置的重量增加了。所增加的重量与锈的额外重量正好相等。

因此，拉瓦锡就提出如下建议：燃烧（或锈的形成）不是由于燃素的丢失，而是由于空气与燃料或金属的结合。燃素与它并不相干，燃素是不存在的。

刚开始时，这个新建议的缺点在于并不是全部空气都牵涉进去了。拉瓦锡发现一支燃烧的蜡烛仅仅用去大约五分之一的空气。蜡烛在剩下的五分之四的空气中不能继续燃烧。

当普利斯特里访问法国并与拉瓦锡进行了谈话以后，真相就大白了。拉瓦锡理所当然地立即回到他的研究工作中



拉瓦锡

去。如果燃素并不存在，那么空气并不会随着所谓的燃素的得失而改变其性质。假如存在有两种性质不同的空气，那么，一定是由于空气中含有两种不同的物质。

被正在燃烧的蜡烛所用掉的五分之一的空气，就是普利斯特里的“脱掉燃素的空气”。这一部分空气现在拉瓦锡称它为氧 (oxygen)。这是一个希腊词，意思是“产生酸的物质”

(拉瓦锡认为氧是酸的必要成分，事实并不是这样。可是，这个名字再也不变了)。至于剩下的五分之四，也就是蜡烛不能在其中燃烧、老鼠不能在其中生活的那一部分，这就是卢瑟



福的燃素化了的空气。拉瓦锡称之为氮 (azote)。这词来自希腊文，意思是没有生命。现在我们仍称它为氮 (nitrogen)。

根据拉瓦锡的理论，空气为五分之一是氧气，五分之四是氮气。燃烧和生锈只是由物质与氧化合而引起的。有些生成物，如二氧化碳，是气体，它们全然从发生燃烧的地方逸散到空气中去了。这也就是为什么煤、木材和蜡烛在燃烧后重量大幅度下降的原因。有些氧化物是固体，它们留在原处。这也就是为什么锈比原来的金属还要重的原因，加上了氧，所以使它更重了。

为了用一个新的理论代替一个很说得过去的旧的理论，这个新理论必须有明显的优越性。但是，这个氧气理论在开始时并不是这样，对化学家来说，氧似乎是燃素的反面物质。木材燃烧时它并不失去燃素，相反它获得氧气；炼铁时，铁矿石并不获取燃素，相反它失去氧气。

拉瓦锡唯一有说服力的地方在于他证明了重量是关键性的。氧气理论解释了燃烧和生锈时的重量变化，而燃素理论则没有、也不能解释这一点。

拉瓦锡企图通过提出这样一个主张来强调重量的重要性，并使它成为化学的中心课题。在一密闭的系统中，也就是气体不能逸出、外界空气也不能进入的系统中，任何化学反应在进行过程中，没有任何总重量的变化。这就是“物质不变定律”。表达这一点的另一个方式就是物质既不能创造，也不能毁灭。如果真是如此，那么燃素理论就成为荒谬的了。因为加给锈的额外重量从何而来呢？除非说有物质被创造出来了，这显然是不对的。

可惜拉瓦锡在开始时不能做到物质不灭定律不容动摇这一点。他曾试图测量一个人在呼吸时所吸取的氧的量，并把

这个量与他所呼出的二氧化碳的量相比较。当他这样做的时候，其结果总是发现有一部分氧不见了。呼出的二氧化碳中氧的量怎么也不等于所吸入的氧的量。假如物质不灭定律能成立的话，那么也就不存在任何现成的棍子，可以把这个燃素一下子打死。

现在让我们再回到英国，回到我们那位着了迷的科学家卡文迪许 (Henry Cavendish) 那里。

你瞧，卡文迪许带有那种病态的羞怯，而且是令人难以相信地健忘。他不轻易跟人说话。要他跟许多人说话，实际上更是不可能的。虽然他经常穿着脏的、老式的衣服在皇家学会进餐，但是他老是眼睛盯着菜盆一声不吭的吃着。

他恨女人 (也许是他怕女人)，恨到简直不屑一顾的程度。他只好用写便条的办法来给女仆传话。任何女仆偶然在他的屋子里从他面前走过，他就当场把她辞退。他在房子里另外开了一个门，以便自己单独进出。最后他甚至坚持孤身辞世。

他出身贵族。四十岁时，继承了一大笔遗产，但是他并不在乎它。对他来说，金钱确实微不足道，名望也是这样。他有许多发明，但是他并不操心去发表它们。只是通过整理他遗留的文件时，我们才知道这一切。

然而，他也发表过一些发现。例如，在 1766 年，他发现了由酸作用于金属而产生的一种易燃气体。以前也有人这样做过。但是，卡文迪许是系统地研究这种气体的第一个人。因而这个发现归功于他。

关于这种气体，卡文迪许所发现的一点就是它特别轻，远较空气轻，较已知的 (或者是已经发现的) 任何物质都轻。他脑子里还想着有些人所提出的作为燃素的一种性



卡文迪许

质——“漂浮性”。卡文迪许开始怀疑他是否偶然碰上了一种东西，大部分是或者完全是燃素。也许他获得了燃素本身。

总之，当气体由于酸的作用离开金属，金属就以很快的速度生锈。再者，这种气体极易燃烧，确实是这样，它甚至会象爆炸似地燃烧。对燃素来说，这当然是可以预期到的。

在紧接着的十年里，当卢瑟福分离出他的燃素化了的空

气，普利斯特里分离出他的脱燃素的空气时，卡文迪许想到去进行一次重要的试验。

他可以在脱掉燃素的空气样品中加入燃素，使之转变成普通的空气，然后再变成燃素化了的空气。假如他能实现这个想法，他就会有充分的证据证明，他的易燃气体确实就是燃素。同时，这也将是证实燃素理论的一个综合性证据。

因此，1781年卡文迪许就进行了这个在化学领域中的重要试验。这个试验再简单不过了。他仅仅将酸作用于金属。他认为燃素的气流从玻璃管喷出，火花可以把这股气流点着，并让它在一个充满了脱掉燃素的空气的容器中继续燃烧。这就是全部的试验。

但是，当他这样做的时候，使他感到惊奇的是他根本没有制成什么燃素化了的空气。他所发现的却是这样的事实：在容器内壁蒙下了一层湿漉漉的、看上去象水、味道象水、摸摸也象水并具有水的一切化学性质的液滴。老天爷，它就是水！

卡文迪许根本没有证明燃素理论。事实上正如拉瓦锡一眼就看到的那样，卡文迪许的试验一劳永逸地把燃素扼杀了。

拉瓦锡听到了卡文迪许的研究以后，高兴得狂叫着并立即跳了起来。他重复了这个试验，还作了改进，并称卡文迪许的气体为“氢气”(hydrogen)，这个词来自希腊语，意思是“产生水的东西”。这个名字一直保留到今天。

卡文迪许所做的简单的试验有下列几点作用：

(1) 它证明水是一种氧化物，氢的氧化物。这是对希腊的“四种元素”的一次决定性的打击。因为水终究不是一种元素。

(2) 它摧毁了空气是一种根据燃素含量而决定其性质的单质的概念。假如是这样的话，那么氢加氧将会产生氮（说实在的，这正象卡文迪许用十八世纪的燃素化了的空气、脱掉燃素的空气等等术语所想象的那样）。但是，如果空气不是一种单质，那么要说明这个十八世纪七十年代的试验的唯一办法，就是假设它是两种物质的混合物。

(3) 拉瓦锡意识到在身体内部经历着燃烧的食物中含有碳和氢。那么按照卡文迪许的试验，人体所产生的二氧化碳不足以平衡他所吸取的氧这一点，也就不足为奇了。因为部分的氧在与氢化合生成水的过程中消失了，呼出的气体既有很多二氧化碳，也有很多水分。质量守恒定律的所谓明显缺陷就此被消除了。定量测量在化学领域里的重要性也就此确立，而且也不再受怀疑了。

总之，现代化学完全可以象箭一样地直接追溯到卡文迪许的燃烧着的氢气流。

虽然如此，对这一段故事还有一点带讽刺性的补充。拉瓦锡的品德本来是可以受人尊敬的；但是他有一个缺点，他有一种好窃取并不属于自己的荣誉的倾向。例如在发展他的燃烧理论时，他从不提起普利斯特里的试验，也从不指出他与普利斯特里讨论了这些试验。事实上他试图给人这样的印象：是他自己发现了氧。同样，当他重复卡文迪许的燃烧氢气的试验时，他虽然说得不多，但也试图令人感到他是这个试验的创始人。

拉瓦锡没有摆脱这种小动作，后人也原谅了他的虚荣心，因为他所做的（包括我在这篇文章中没有提及的大量材料），足够抵得上一百个普通化学家所做出的贡献。

结果，普利斯特里和卡文迪许都很可能对拉瓦锡没有什

么好感。至少他们俩谁也不愿意接受拉瓦锡的新化学。他们拒绝摒弃燃素，一直到死始终是旧化学的忠实信徒。

我认为，这又一次证明科学家也是人。正象他们所研究的金属一样，他们的观点也会受到缓慢燃烧的影响。

### 三、理想元素

在科学小说的初创时期，由于人们对科学的理解幼稚，作家们无所拘束，大有自由发挥的余地，他们常常指望能有一种“新的元素”出现，借以续写新篇，以免故事中断。理想中的“新的元素”可以隔断引力，可以把原子放大到肉眼可见那样大小，甚至还可以传递物质。

对新元素着了迷，主要是居里夫人于1898年在铀矿中戏剧性地发现了不寻常的元素镭的结果。然而不出十年，更为戏剧性的是，又在铀矿中发现了另一种元素。起初它没有象镭那样引起轰动，但事实最终证明，它是所有元素中最不寻常的一种。它具有任何科学小说家梦寐以求的、难以控制的特性。

再者，这种元素对人类的意义在过去五年中又有了明显的发展<sup>①</sup>。由此引起的种种思考，给我的启示非同寻常。这将留待下文陈述。

1868年，印度看到了日全蚀。天文学家们兴高采烈地聚集在一起，以便借助一种新式仪器来探求知识。

这种新式仪器就是分光镜，它是在十九世纪五十年代后期，由德国科学家基尔霍夫（Gustav Robert Kirchhoff）和本生（Robert wilhelm Bunsen）发明的。其基本原理是当元素加热时，它所发出的光通过棱镜的折射而产生光谱，由

---

<sup>①</sup> 其深远意义在这篇文章发表后的十四年中还在不断发展。

光谱，我们可以测定光的波长。每一种元素都能产生各自特征的一定波长的光。因此，各种元素可以按它们的“指纹”加以鉴定。

1860年，基尔霍夫和本生将某些矿石加热时，出现的光谱线与那些已知的谱线不相一致，从而发现了稀有元素“铯”。这一崭露头角的分析方法的价值，引人注目地得到了证实。第二年，他们又利用它发现了“铷”，这就证明了一切并非出于偶然。

有了这样成就的记录，天文学家们迫切地想把这种仪器应用到太阳的大气中去（它只有在日蚀时才显露出来），以便能超越太空测定其化学成分。

法国天文学家杨森（Pierre J. C. Janssen）紧接着在太阳的大气光谱中，观察到一条黄色谱线，它与所有已知的谱线都对不上号。对光谱学特别感兴趣的英国天文学家洛克厄（Norman Lockyer），断定这条线所代表的是一种新的元素，并以希腊太阳神赫利俄斯（Helios）来命名它，这就是新元素氦（helium）。

到此为止，一切都顺利。只有屈指可数的元素，地球上的化学家根据它的简单线条愿意相信那是一种地球外的元素。洛克厄的建议遭到了从冷淡到嘲笑的各种各样的反应。

当然，在事后看来，这种保守性是不光彩的。尽管如此，后来也证明，怀疑论在当时也是不无道理的。一条新的光谱线不一定意味着一种新的元素的存在。

由于成功发现氦的鼓舞，人们在大气层外又发现了其它“新元素”。人们认为在某种星云光谱中出现的奇怪线条，乃是一种叫“星云素”（nebulium）的元素所导致的。日冕中的未知线条则是由“光轮素”（coronium）引起的。曙光中类似



的线条又是由“地球光轮素”(geocoronium)造成的。

然而，以后证明，这些所谓的新元素都是错觉，它们是由旧的、熟知的元素在特殊情况下产生的。几年后，人们就在特殊条件下，利用已知元素在实验室里再现了这些“新元素”。

结果表明，“星云素”和“地球光轮素”仅仅是氧-氮在高度离子化状态下的混合物。“光轮素”线则是由高度离子化的金属（如钙）所产生的。

可见，仅有“氮”线存在并不能真正证明一种新元素存在。不过，为了把故事继续讲下去，还是有必要回溯到另一个世纪，去追述一位走在时间前面比洛克厄更远的人。

1785年，英国物理学家卡文迪许正在研究空气。当时刚刚发现空气是由氧及氮两种气体组成的。氮是一种惰性气体，也就是它不象氧那样容易与其它物质化合。事实上，氮由于有很多与氧相反的性质而显得很突出。它没有颜色、没有气味、没有味道、不溶、不燃。它本身无毒，但不能维持生命。

卡文迪许发现用电弧可以促使氮与氧化合。用适当的化学试剂吸收这种化合物（氧化氮）。加入更多的氧，就会消耗更多的氮，直至最后他所提供的全部空气减少成一个小泡。这个小泡是空气原体积的大约百分之一。面对这个小泡，他束手无策。他说，在他看来，大气中有少量甚至比氮更不活泼的未知气体。

这是由一位第一流科学家进行的一次简明的实验。他做出了一个合理的结论。我们现在认识到这个结论反映的全是真理。可是，卡文迪许的工作却被忽视了一个世纪。

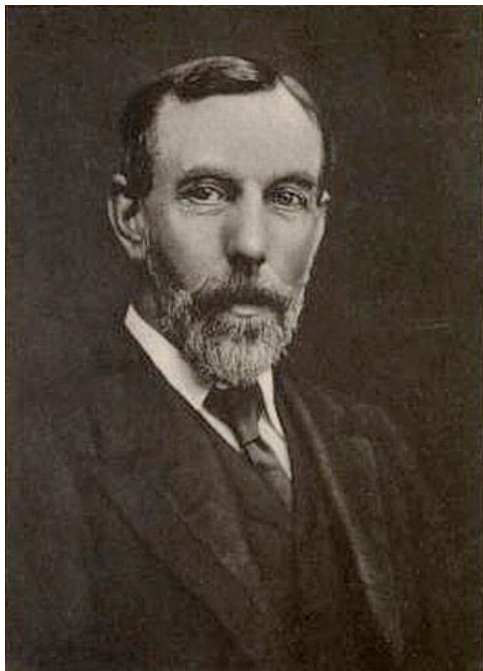
后来，到1882年，英国物理学家斯特拉特(John William

strutt) ——人们更熟悉的是瑞利爵士 (Lord Rayleigh), 因为正巧他既是一个贵族, 又是一个科学家——研究了氢气和氧气的密度, 以便更好地测定它们的原子量。为了测量得更精确, 他还插进去研究了氮气的密度。他用了几种不同的方法制备这些元素, 以保证这项工作做得更彻底。在测量氢和氧的密度时, 不论制备方法如何。所得结果都一样, 可是氮的情况却不然。

他从氨制备氮, 所得氮的密度是 1.251 克/升, 他还从空气中除去氧、二氧化碳和水蒸气来制备氮, 这种氮的密度是 1.257 克/升。不论他多么仔细, 这个差异始终存在。没有办法, 他只好把所得结果刊登在科学期刊上, 向读者征询建议, 但音讯杳然。瑞利爵士本人想出了几种可能的解释: 空气中的氮含有较氮重的氧或是含有一种与臭氧 (三个原子的氧) 相类似的三个原子的氮分子 ( $N_3$ ); 也可能由氨制取的氮含有较氮轻的, 或是含有原子氮, 他核对了每一种可能性, 但是都失败了。

十年以后, 一个名叫拉姆塞 (William Ramsay) 的苏格兰化学家来到瑞利爵士那里工作。在解决氮气这个问题时, 他又回到了卡文迪许所作的工作。并怀疑在除掉所有其它气体后, 空气中是不是会有少量的别的气体与氮一起留了下来, 这种气体因为重于氮而使大气中的氮的密度出现偏高的现象。

1894 年, 拉姆塞重复了卡文迪许原来的实验, 但作了一些改进。他将大气中的氮通过灼热的金属镁, 氮的惰性并没有大到可以抗拒与镁化合的程度, 它与镁反应生成氮化镁。但是, 并非所有的氮都与镁化合了。如同卡文迪许所碰到的一样, 留下了一个小气泡。达个小气泡极不活泼, 即使



拉姆塞

是灼热的镁也不与它反应。拉姆塞测量了它的密度，发现明显地大于氮。那么，它究竟是一种新元素呢，或者只不过是—种新的重型的氮— $N_3$ ?

这时已有光谱仪。

把这个未知气体加热并观察它的光谱，发现其线条完全是新的。结论马上得到了：这是一种新的元素。它被命名为“氩”(argon)，这个名字来自希腊语，意思是“懒惰”，因为它拒绝参与任何化学反应。

最终找到了氩为什么惰性那么大的答案。每一种元素都

是由含有特定数量的电子的原子组成的，这些电子象洋葱片那样排列成一系列壳层。让我们尽可能简单地描述一下这种情况。一个原子如果最外层含有 8 个电子时，它最稳定。化学反应就是以除掉几个或夺取几个电子这样的方式进行的，最后使电子数达到所要求的 8。

但是，如果一种元素的原子其最外层本来就有 8 个电子，那又将如何呢？它心满意足了，根本用不着反应——也不会反应。氩是一个例子，它有三层电子，最外层有 8 个电子。

在发现氩以后，还找到了其它惰性气体<sup>①</sup>。到今天已知的总共有六个：氦——两层电子，氪——四层电子，氙——五层以及氡——六层。它们的最外层都有 8 个电子（1962 年发现氫、氙和氡也参与某些化学反应，另当别论）。

上面我只提到了五种惰性气体。第六种是怎么回事呢？第六种就是氡。所以现在让我们再回到氡的故事上去。

就在发现惰性气体以前，确切地说在 1890 年，美国化学家希尔勃朗德 (William Francis Hillebrand) 分析了一种含有铀的矿物，并发现它放出少量的惰性气体。这种气体无色、无嗅、无味、不溶、不燃。除了氮以外，它还可能是什么呢？他也是把它作为氮来报导的。

几年以后，当拉姆塞最后看到了这项工作时，他感到失望。对他来说，一种基于纯粹是反面的证据，似乎说服力不强。他又得到了另一种含铀的矿物，收集了它放出的惰性气

---

<sup>①</sup> 本文最初是在 1960 年写的。三年以后，“惰性气体”的提法不时髦了，人们称它们为“稀有气体”，因为它们毕竟并不是那么不活泼（见第四、五章）。然而它们还是已知元素中最不活泼的，所以我毫不犹豫地继续使用“惰性气体”这个名称。

体（果然就有这种气体），将它加热并研究了它的光谱。

其光谱线与氮的光谱线并无相同之处，而与很久前杨森和洛克厄所报导的从太阳光中发现的倒恰恰一样。就这样，在 1895 年，也就是在洛克厄提出他原来的见解二十七年之后，太阳中的元素在地球上被发现了。氦确实存在，它是一种元素。很幸运，杨森和洛克厄活着的时候看到了他们被证明是正确的，他们健康地活到八十多岁，杨森在 1907 年逝世，洛克厄在 1920 年逝世。

人们立即证明氦是很有意思的元素。它是所有惰性气体中最轻的。事实上，它比除了氢以外的所有已知物质都轻。氦原子只有一层电子，而这一层最靠近原子核的电子层只能容纳两个电子。由于具有这两个电子，因而氦是不活泼的。事实上，它是惰性气体中最不活泼的。因而也是所有已知物质中最不活泼的。

这种极度的惰性在其液化点上，也就是在它转化为液体的温度上，马上就显示出来了。

当一种物质的相邻近的原子（或分子）互相紧紧相吸引时，这个物质连结在一起形成一个整体，这就是固体。加热可以把它变成液体，甚至气体。这种转变是在热能克服了原子间或分子间的吸引力的温度时发生的。吸引力愈弱，气化这种物质所需要的温度也愈低。

如果原子间或分子间的吸引力非常弱，因此气化这种物质所需要的热量是如此之低，以致在常温下它还保持为气体状态，有时甚至在很冷的条件下，仍保持气体状态。

当原子或分子的最外电子层具有稳定的 8 个电子的排列时，存在于它们之间的吸引力特别弱。一个氮分子是由两个氮原子组成的。其排列是这样的：每一个原子的最外层至少

分享 8 个电子。其它简单分子如氯、氧、一氧化碳等等也都是这样。因此它们都是气体，一直到温度非常低时才开始液化。

直到低温的技术逐渐趋于完善了，化学家们才液化了一种又一种的气体。表 1 记录了他们的进展。液化点是以开氏温度来表示的。

表 1

气 体	最初的液化年份	密度 (克/升)	液化点 (K)
氯	1805	3.214	239
溴化氢	1823	3.50	206
乙烯	1845	1.245	169
氧	1877	1.429	90
一氧化碳	1877	1.250	83
氮	1877	1.250	77
氢	1900	0.090	20

贯穿整个十九世纪七十年代和八十年代，当低温工作变成热门时，看来很明显，氢就要成为最难处理的问题。总的说来，液化点随着密度而下降。氢是到当时为止所有已知气体中密度最小的气体。因此它的液化点应该最低。所以，在氢被征服以后，这方面的最后堡垒就被攻克了。

然后，就在氢被征服前几年，它却失去了它的重要性，因为那时已发现了惰性气体。惰性气体的原子由于其电子处于被填满的状态，所以彼此之间的吸引力非常小，以致它们的液化点较密度相似的其它气体低得多。这一点可以在包括除了氦以外所有惰性气体的表 2 中见到。

如你所见到的那样，氦、氖和氩的密度都较氯大。但是，它们的液化点却都较氯低。氖的密度比乙烯大，但是它的液化点则比乙烯低得多。氩的密度十倍于氢，其液化点则

同这种最轻的气体几乎一样低。

表 2

惰性气体	密度 (克/升)	液化点 (K)
氦	9.73	211
氖	5.85	167
氩	3.71	120
氙	1.78	87
氡	0.90	27

剩下的惰性气体是氦，其密度仅两倍于氢。按上述情况推理：要把它液化，应该说要困难得多。事实证明也是如此。在液氢的温度下，氦仍然顽固地保持其气态。甚至当温度低到氢固化时（13K），氦还处于气态。

直到 1908 年，氦才被液化。荷兰物理学家奥纳斯 (Heike Kammerlingh Onnes) 达到了预期的目的。他发现氦在 4.2K 开始液化。通过在绝热条件下让液氢挥发，奥纳斯把它进一步冷却到 1K。

可是，即使达到了 1K，也没有出现固态氦的现象。事实上，现在已经确认在常压下氦永远也不会固化。就是在所有其它已知物质都成了固体的绝对零度下也是如此，氦（这个奇怪的元素）仍然保持液态。对这一点有一个合理的解释：一般认为在绝对零度时，所有原子和分子的运动全都停止了，可是量子力学指出，有一种非常小的残余运动永不停止。这一点点的能量就足以使氦保持为液体状态。在温度为 1K、压力大约为 25 个大气压时，固体氦还是能够形成的。

液氦除了不易改变其孤僻状态以外，还显示出一些更稀奇的性能。当把它冷却到 2.2K 以下时，它的性质突然变了。举个例说，氦突然开始成为非常好的导热体。在任何普

通的液体中，在沸点以下几度，总是有局部的过热点。在这些过热点上，热的聚集快于热的导走，这样就出现了气泡，并产生了与沸腾相联系我们所熟悉的搅动。

在 2.2K 以上，氮（“氮 I”）也有这样的现象。然而当低于 2.2K 时，氮（“氮 II”）却在完全静止的状态下挥发。一层层的原子从表面上剥离。热的传导是如此之好，以致没有任何一部分液体明显地较其它部分热，也没有气泡在任何部分发生。

还有，氮 II 基本上没有什么粘度。它比气体还容易流动，能通过气体都过不去的孔眼。它在玻璃上形成薄层，能沿着烧杯内壁往上爬升，然后又从外壁下流。其速度之快，使人感到它好象是从烧杯底部小孔流出一样。这种现象称作“超流动性”。

在液氮温度下，其它元素也能出现奇特的性质。1911 年奥纳斯测定汞在液氮温度时的电阻。电阻随着温度下降，奥纳斯预期会达到前所未见的低值。但是，他并没有估计到电阻竟会完全消失。然而它却完全消失了。在 4.12K 时，汞的电阻化为乌有了。这就是“超导电”现象。

除了汞以外，其它金属也是可以成为超导电体的。事实上，在接近液氮温度时，有少数几种物质就能成为超导电体。有些铌合金在高达 18K 时即变成超导电性的物质。

超导电性还涉及到关于磁场的奇特性质。有些物质是“抗磁的”，也就是它们似乎是排斥磁力线的。磁力线通过这些物质比通过同样体积的真空还要少。任何超导电的物质都是完全抗磁的，根本没有磁力线能进去。

可是，假如把磁场弄得很强，最终还是有一些磁力线设法渗入到抗磁物质中去。当这种极端状态被破坏后，所有



其它的绝对性，包括超导电性也随着消失（在自然界谈论完全性是有有点蹩扭的。一般说来，极端的完全是理论家的梦想，什么理想气体呀，绝对真空呀等等。只有在液氮温度下，似乎真正的完全性才进入现实世界。这也就是本章这样命题的缘故）。

利用超导电现象，有人发明了一个可以作为开关为小小装置。其最简单的形式是由一根小钽线缠绕着铌线所组成。假如把线浸入液氮中，使铌线变成超导电，通过它的一股小小的电流就会无限期地保持下来，直到人们把另一股电流通过钽线为止。在第二种情况下，建立起来的磁场，破坏了超导电性，因而停止了铌线中的电流。

如果操纵恰当，这样的“冷子管（低温管）”可以用来取代真空管或晶体管。经过巧妙安排的由线组成的装置，可以取代大量的庞大的电子管或者是也不算小的晶体管。假如能全部冷子管化，那么在未来，一台巨大的计算机，很可能就象书案那么大或比书桌还小。

要使这样的冷子管化了的计算机运转，唯一的难题是必须把它全部浸入液氮之中<sup>①</sup>。液氮不断地挥发，因此，在这种情况下，每一台计算机起了永无休止地消耗地球上氮供应的作用。

当然，这就引起了一个问题：在地球上我们是否有足够的氮来维持一个普遍使用浸在氮里面的计算机的社会。

除了氮以外的惰性气体，它们主要的、事实上也是唯一

---

<sup>①</sup> 事实上，在写完这篇文章以后，在液氮的温度范围内（高于20K），已经存几种具有超导电性的合金制出来了。一些乐观主义者甚至希望在比这高得多的温度下能得到超导电性。这就意味着可以大大减轻（但不是全部消除）氮供应的紧张状态。

的商业上的来源就是大气。

它们在大气中的组成比例如表 3 中所示。

惰性气体	一百万份中的份数 (按重量计)
氩	12800
氖	12.5
氦	2.9
氦	0.72
氙	0.36
氡	痕量

这意味着大气中氦的总含量是 4,500,000,000 吨。在你没有想到这种气体已极大地由氧和氮冲稀以前，这个数目看来是相当大的，氦可以从液态空气中取得，但是费用惊人。

(这里我要补充几句。大气中的氦几乎完全是由一种氦-4 同位素组成的。然而，痕量的、稳定的同位素氦-3 却可从放射性氢-3 裂解而成，氢-3 是由大气受宇宙射线的轰击而产生的。人们曾经研究过纯氦-3。发现其液化点仅为 3.2K，较普通氦整整低一度。然而氦-3 却不能转化成超流体氦 II 的相等物。大气中每一百万个氦原子中仅有一个是氦-3。所以整个大气所能提供的氦-3 的量是 45,000 吨。氦-3 可能是地球上所有稳定同位素中最稀少的。)

但是，氦除了在大气以外，至少还存在于土壤中。铀和钍放出  $\alpha$ -粒子，它们是氦原子的核。因此，几十亿年来，氦在地球外壳慢慢地聚集起来（记住，在地球上氦首先是从铀矿里，而不是在大气中发现的）。据估计，地球外壳的氦含量按重量计，大约为每一百万份中有 0.003 份。这意味着地球外壳的氦资源大约为大气中的两千万倍。但是，氦在地

球外壳中的稀释度甚至比在大气里还要大。

然而，氦是一种气体。它会在罅隙和裂缝中聚积。在适当条件下就从地球内逸出。特别在美国，天然气中往往含有达到百分之一这样程度的氦，有时高达 8%，甚至 10%。

但是，以非常快的速度消耗着的天然气只是一种很短暂的资源，当气井枯竭之后，氦也就完了。剩下的能找到的供应来源就是稀释度很大的大气或稀释度更大的土壤。

现在，我们可以想象，一个计算机化了的未来社会，只剩下最后几百万立方英尺的容易取得的氦，下一步怎么办呢？把空气中和土壤中的痕量氦赶紧抓拢来吗？凑合着用液氦吗？放弃冷子管的计算机，再回过去使用效率很低的庞大机器？让完全依赖计算机的文明垮台

我一直在想这件事。下面是我考虑后的结果：

这样一个受到威胁的社会，应当发展太空旅行——为什么不呢？——这样他们就不必光在地球上寻找氦了。

当然，在太阳系中，最大的氦来源是太阳。但是在可以预见到的将来，我还看不到从太阳取氦的办法。

其次，最大的氦来源是木星。它的大气层大约有几千英里厚，惊人地稠密。按体积计算也许氦占三分之一。有些最新的理论提出，它的大气层几乎全是氦<sup>①</sup>。要从木星上挤出氦来也并不容易，但还是可以想象的。

假设人类能在木星最靠近的卫星上（木星 V 上）建立起一个基地，那么他们就将在木星的可见表面以上仅仅 70,000 英里处环行（事实上，这是它的大气层的上限）。有相当大量

---

<sup>①</sup> 不，并不是这样，“先驱者 10 号”在 1973 年疾驰而过木星，它确实探测到在木星大气层中的氦，但是含量可能是较少的。

的带氦气体必定在比这还高的木星上面的大气层中飘浮（因而与木星 V 比较接近）。

我可以想象一个无人驾驶的船队在探测轨道上离开木星 V，并从这轨道降落到木星表面，然后飞回，同时收集气体并把它压缩。我们能够很容易地把这种气体的组分分开。氦在木星 V 上液化要比在地球上容易得多。因为在那里温度的起点就比较低。

我们可以证明，要收集、液化并储藏无数吨的氦是容易的。接下来，合乎逻辑的措施是如何制止把这种贵重的气体运往别的任何地方，包括运到地球上，何必消耗这个能量呢？何必承受这样巨大的，在运输中不可避免的损失呢？

为什么不就在木星 V 上制造计算机呢？

这是我的想象，也就是在本章开始时我所提及的想象。这就是想象把木星 V 的各处作为太阳系的神经中枢。我看到这个直径为一百英里的小小世界，正在从它所环绕的庞大的世界中吸收它所需要的氦，并慢慢地转化为沉浸在最不平凡的液体中的由许多计算机相联结而成一大块整体。

然而，我不认为我能象杨森和洛克厄那样幸运。假如你愿意的话，就说我是一个悲观主义者吧！我总不敢奢望我能在活着的时候看到这一切。

## 四、欢迎你，陌生的来客

象所有其它事物一样，科学中也有些时兴的东西。做一个会带来特大成功的实验，在你来不及说会有许多“模拟品”以前，就出现了许多模拟品！

想一想氙（音仙）这个元素，它是在 1898 年由拉姆赛和特拉弗斯（Morris William Travers）发现的。象其它同类型的元素一样，它是从液体空气中分离出来的（参阅第三章）。经过一个多世纪对空气的专心致志的化学分析，空气中有这些气体存在，已没有人怀疑了。当化学家们终于开始理解它们时，它们就被作为陌生的、没有预料到的新客人受到欢迎。说实在的，“氙”（Xenon）这个名字是希腊中性词“生疏”，按照字义，完全是“陌生者”的意思。

氙是属于通常被称为“惰性气体”，或“稀有气体”或“贵重气体”的一群元素中的一员。所谓“惰性气体”，是因为它们的化学性质不活泼；所谓“稀有气体”，是因为它们很稀少。至于称它们为“贵重气体”，则是因为由其化学惰性所带来的与其它物质不相亲近的性质，似乎暗示着它们有一种自命不凡的傲气。

氙是所有稳定的惰性气体中最稀少的。事实上，它也是地球上所有稳定元素中最稀少的。氙只存在于大气中。按重量计，一百万份大气中氙占 0.36 份。由于大气的重量大约为 5,500,000,000,000,000（5500 万亿）吨，这就意味着这颗行星大气中的氙资源大约可达 2,000,000,000（20 亿）。从

总数看来似乎不少。但是，要从大气中远比它普遍的成分中提取氙原子却是一件艰巨的工作。所以氙现在不是，永远也不会是一种平常的物质。

由于各种原因，氙在化学实验室里不是一种常见的物质。人们测出了它的化学、物理和核性质。但是，对它进一步研究看来就没有什么价值了，它仍然作为一个小小的陌生者而受到冷遇。

后来，在1962年，一个涉及氙的不寻常的试验发表了。由此全世界的化学界人士都笑逐颜开。人们带着友好的关心情，把不起眼的氙引入试管。到处都在呼喊：“欢迎你，陌生的来宾！”。现在当你打开一本化学杂志时，你不会找不到几篇谈到氙的文章。

发生了什么情况呢？

假如你盼望我马上回答，那你就是对我太不理解了。让我采取我习惯的迂回办法，首先从阐明氙是一种气体开始。

一种物质一直是气体，这是偶然的事。没有一种物质生来就是气体，这是要由温度来决定的。在金星上，水和氨都是气体；在地球上，氨是气体而水则不是；在土星的最大卫星上，氨和水都不是气体。

因此我要提出一个人为标准来适应我当前的目的。让我们这样说：任何物质在 $-100^{\circ}\text{C}$  ( $-148^{\circ}\text{F}$ ) 还保持气态的，我们就称它为“气体”（带引号），并集中来讨论它们。这是在地球上永远达不到的温度，即使在南极最严寒的冬天也达不到。因此，在地球上没有一种上述的“气体”，会不是以气态而是以别的形态存在的（除了偶尔在化学实验室里是这样以外）。

那么，“气体”为什么是“气体”呢？

我可以这样开始说起：每种物质都是由原子或者是紧密

结合在一起的一组原子组成的。这种组群称为分子。原子或分子间具有吸引力，这就使它们带有“黏性”并有把它们保持在一起的倾向。然而热能够给这些原子或分子一定的动能（运动的能），这种动能具有使它们分离的倾向。因为每个原子或分子有它自己爱往哪里跑的主意<sup>①</sup>。

一组特定的原子或分子间的引力是相对地稳定不变的。但是，它们的动能则随着温度改变。因此，当温度升得足够高的时候，任何一组原子或分子就会迅速分开。这样，这个物质就成了气体。在 6,000°C 以上的温度下，所有已知物质都是气体。

当然，有少数物质是例外，它们的原子间的引力或分子间的引力是如此之大，以致需要 6,000°C 这样的高温才能克服。反之，另外还有一些物质，其分子间的引力是如此之弱，甚至夏天的热度就能提供足够的动能使它们变成气体（常用的麻醉剂乙醚就是一例）。

还有另一些物质，其分子间的引力还要弱得多，以致在 -100°C 的温度下，就有足够的热量使它们处于气态，我要谈的也就是这些“气体”。

分子间或原子间的引力是由原子内或分子内电子的分布情况产生的。按照一种毋须详细解释而可以为我们所接受的体系，电子分布在不同的“电子层”。例如，铝原子共有 13 个电子，其分布如下。最内层有 2 个电子，下一个电子层中有 8 个，然后是 3 个。因此我们可以以 2、8、3 来表示铝原子中的电子分布情况。

---

<sup>①</sup> 不，我不是说原子知道它在干什么而且还有知觉，这只是我的“目的论”的说话方式。在科技文章中，目的论是禁止的，但是我就是喜欢做犯规的事。

电子层中最稳定，最匀称的电子分布是最外层拥有它所能容纳的全部电子或者是 8 个电子——两者中哪个少就是哪个。最里面的电子层只能容纳 2 个电子，下一个电子层能拥有 8 个电子，其余各层都能容纳 8 个以上的电子。除了只有最里面的电子层拥有电子这种情况外，最稳定的情况就是最外层拥有 8 个电子。

具有这种最大稳定度的元素已知有六种（见表 4）：

表 4

元素	符号	电子分布	电子总数
氦	He	2	2
氖	Ne	2,8	10
氩	Ar	2,8,8	18
氪	Kr	2,8,18,8	36
氙	Xe	2,8,18,18,8	54
氡	Rn	2,8,18,32,18,8	86

其它没有这种饱和的电子分布的原子，就只好试图通过攫取额外的电子或者扔掉一些它们已有的电子，或者与别的原子共享电子来达到这种分布。当它们这样做的时候，它们就发生化学反应。然而，上面所列的六种元素用不着进行上述的活动，它们本来就具备了这样的电子分布。它们不需要以任何方式转移电子，也就是说它们不参与任何化学反应，它们是不活泼的（至少在 1962 年以前我是会这样说的）。

事实上，上列惰性气体族的原子是如此的自我满足，以致它们各顾各地互不相干。原子间没有什么引力，因而在室温下它们都是气体。除了氦以外，它们都是“气体”。

当然，原子间引力还是有一些的（因为有原子或分子存在，它们之间就不可能没有一点引力）。当人们把温度不断



降低，最后就会达到引力压倒动能的破坏作用的程度。这样，每一种惰性气体最终都会成为惰性液体。

其它元素情况如何呢？象我已经说过的那样，它们具有低于最高稳定度的电子分布的原子，并且都有朝着稳定方向改变其电子分布的倾向。例如，钠原子 (Na) 的电子分布为 2, 8, 1。假如它能去掉最外层的那个电子，剩下的就有了氖的 2, 8 稳定构型。又如氯原子 (Cl)，其电子分布为 2, 8, 7。假如它能取得一个电子，那么它就有氩的 2, 8, 8 电子分布。

因此，假如一个钠原子遇到一个氯原子，一个电子从钠原子传递给氯原子，这样就会使两者都得到满足。然而，失掉了一个带负电的电子，就会使钠原子正电多于负电，从而变成了带正电的钠离子 ( $\text{Na}^+$ )。另一方面，获得了一个电子的氯原子，有了过剩的负电荷，而成为带负电的氯离子 ( $\text{Cl}^-$ )。

异电相吸，因而钠离子吸引它力所能及的所有氯离子。反过来，氯离子也是如此。达种强烈的吸引力不会被在常温下产生的动能所压倒。因之，这些离子牢牢地抱成一团，其力量之大足以使“氯化钠”（食盐）成为固体。事实上，它一直要到  $1413^\circ\text{C}$  才变成气体。

其次，再讨论一下碳原子 (C)。它的电子分布是 2, 4。如果它失掉 4 个电子，它就会达到氦的 2 电子构型；如果它获得 4 个电子，它就有了氖的 2, 8 构型。要失掉或获得那么多的电子都是不容易的。因而碳原子与别的原子分享电子。例如，它可以把它的一个电子提供给由两个电子组成的“共享电子对”。这个“共享电子对”的另一个电子由其邻近的碳原子提供。它的第二个电子又可以与另一邻近碳原子形成另一个“共享电子对”。其第三、第四个电子还可以与另外两个邻近的碳原子形成另外两个“共享电子对”。每一邻近的碳

原子又能和它另外邻近的碳原子去形成共享对。这样，每一个碳原子就有另外四个碳原子围着它。

这些共享的电子填满了提供电子的各碳原子的最外电子层。每一个碳原子在其最外层有 4 个它自己的电子和 4 个由邻近的四个碳原子提供的电子（每个碳原子提供 1 个）。这样，每个碳原子就有了氖的 2, 8 构型，其代价是要与邻近原子靠紧。虽然并不涉及电荷，其结果是产生了强大的原子间引力。碳是固体，要温度达到 4200℃时才变成气体。

由于类似的原因，金属元素的原子也是这样强烈地互相结合在一起，例如钨吧，它一直要到 5900℃才变成气体。

因此，当原子通过象获取电荷那样的方式的电子传递来达到稳定的电子分布时，或者通过共享电子这样复杂的形式，从而使大量的原子抱成一团来达到稳定的电子分布时，我们不能期望它们会成“气体”。

我们所需要的是介乎两者之间的条件。我们需要的是通过共享电子（这样就不会产生电荷）使原子达到稳定状态。但是涉及到这种共享的原子，总数却是很少的，这样就只形成小分子。在这类分子内部，吸引力可能是大的，没有很高的温度，分子不能被拆开。然而一个分子与其邻近分子间的引力可能是小的——它们是可以分开的。

以氢为例：它只有一个电子。两个氢原子可以各提供一个电子形成共享电子对。只要它们在一起，每个原子都能把这两个电子当作各自的外层电子。这样两者都有了稳定的氦构型。再者，哪个氢原子都没有剩余的电子与其它邻近的原子形成“共享电子对”了，因此，分子就不再扩大。氢气是由两个原子的分子（ $H_2$ ）所组成的。

分子中原子间的吸引力是大的。这就需要 2000℃以上

的温度才能使小小一部分氢分子分裂成单个原子。然而各个氢分子之间的引力是弱的。在这种新的排列下，每一个氢分子都会达到自我满足这样一种合乎要求的状况。因此，氢是一种“气体”——一种不是象惰性气体那样由单个原子组成，而是由双原子的分子组成的“气体”。

氟（电子分布是 2, 7）、氧（2, 6）和氮（2, 5）的情况也与此相仿。两个邻近的氟原子可以各自提供一个电子，形成一个由两个电子组成的共享电子对。两个氧原子可以各提供两个电子，形成由四个电子组成的共享电子群。而两个氮原子则可各提供三个电子形成由六个电子组成的共享电子群。

在每种情况下，原子都以形成二原子配对的分子为代价达到氦的 2, 8 分布。结果达到了足够的稳定度。氟（ $F_2$ ）、氧（ $O_2$ ）和氮（ $N_2$ ）都是“气体”。

氧原子也能与两个邻近的氧原子各形成一个“共享电子对”。这两个邻近氧原子之间又能形成另一个由两个电子组成的“共享电子对”。这样的结果是三个氧原子结合在一起（ $O_3$ ），其中每一个都具有氦的构型。这种结合体  $O_3$ ，称作臭氧，它也是“气体”。

氧，氮和氟间还能彼此化合成分子。例如一个氮原子和一个氧原子可以结合在一起，使两者都达到所需要的稳定性。氮还能与三个氟原子各形成由两个电子组成的“共享电子对”，而氧却能与两个氟原子形成这样的“共享电子对”。通过这样结合而得到的化合物分别为一氧化氮（NO）、三氟化氮（ $NF_3$ ）和二氟化氧（ $OF_2$ ）。它们都是“气体”。

那些自己不能形成“气体”的原子，如与氢、氧、氮或氟化合，都可以形成“气体”。例如，两个氯原子（记住它是 2, 8, 7 分布）彼此之间可以形成由两个电子组成的“共享电子

对”，这样它们两者都可以达到氦的 2, 8, 8 构型。因此氯 ( $\text{Cl}_2$ ) 在室温下是气体——然而其分子间吸引力都大到足以使它不能成为“气体”。但是，假如一个氯原子与一个氟原子形成由两个电子组成的“共享电子对”，其产物氟化氯则是“气体”。

硼原子 (2, 3) 可以与三个氟原子各形成由两个电子组成的“共享电子对”，而碳原子则可与四个氟原子各形成由两个电子组成的“共享电子对”。它们的产物三氟化硼 ( $\text{BF}_3$ ) 和四氟化碳 ( $\text{CF}_4$ ) 均为“气体”。

一个碳原子能与四个氢原子各形成一个由两个电子组成的“共享电子对”，也可以与一个氧原子形成由四个电子组成的“共享电子群”。形成的产物甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 和一氧化碳 ( $\text{CO}$ ) 都是气体。由两个碳组成的结合体可以与四个氢原子各形成由两个电子组成的“共享电子对”（两个碳之间还形成一个由四个电子组成的“共享电子群”）。一个硅原子则可与四个氢原子各建立起一个由两个电子组成的“共享电子对”，形成的化合物乙烯 ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) 和硅烷 ( $\text{SiH}_4$ ) 均为“气体”。

这样，我总共可以列出二十种“气体”分属下列各类：

(1) 由单个原子组成的气体有 5 种：氦、氖、氩、氪和氙。

(2) 由两个原子的分子组成的气体有 4 种：氢、氯、氧和氟。

(3) 由三个原子的分子组成的气体有 1 种：臭氧（由氧来的）。

(4) 十种化合物，其分子由两种不同元素组成。至少其中有一种元素属于第 (2) 类。

这 20 种“气体”在表 5 中按沸点增高的次序排列。它们的沸点分别用摄氏 ( $^{\circ}\text{C}$ ) 和绝对温度 (K) 表示。

表中的 5 种惰性气体分散在其它 15 种“气体”中间。当然，三个沸点最低的气体中，氦和氖是其中的两个。但是，氩却排第 7，氪排第 10，氙则排第 17。因此，假如所有这些“气体”都跟惰性气体一样不活泼，那也没有什么可以奇怪的。

表 5  
(20 种气体)

物 质	分子式	沸点℃	沸点 K
氦	He	-268.9	4.2
氢	H <sub>2</sub>	-252.8	20.3
氖	Ne	-245.9	27.2
氮	N <sub>2</sub>	-195.8	77.3
一氧化碳	CO	-192	81
氟	F <sub>2</sub>	-188	85
氩	Ar	-185.7	87.4
氧	O <sub>2</sub>	-183.0	90.1
甲烷	CH <sub>4</sub>	-161.5	111.6
氪	Kr	-152.9	120.2
一氧化氮	NO	-151.3	121.3
二氟化氧	OF <sub>2</sub>	-144.8	128.3
四氟化碳	CF <sub>4</sub>	-128	145
三氟化氮	NF <sub>3</sub>	-120	153
臭氧	O <sub>3</sub>	-111.9	161.2
硅烷	SiH <sub>4</sub>	-111.8	161.3
氙	Xe	-107.1	166.0
乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	-103.9	169.2
三氟化硼	BF <sub>3</sub>	-101	172
氟化氯	ClF	-100.8	172.3

假如组成这些自我满足的分子是永久性的，不能拆开的，那么它们也许就这个样了。但是它们并不是永久性的，

并不是不能拆开的。在某些条件下，所有的分子都是可以拆开的（尤其是氟和氧的分子），而拆开后的自由原子还确实活泼得很！

这并不在“气体”本身中表现出来。假设把一个氟分子拆开成两个氟原子，并且这些氟原子只被包围在氟分子之中，那将怎样呢？唯一可能的结果将是氟分子的重新形成，不可能发生别的情况。然而，假如除了氟以外还有其它分子存在，那么就有可能生成比  $F_2$  更稳定的分子结合体（在以氟为例的情况下，几乎肯定会是这样），其结果就是发生了化学反应。

氟分子即使在常温下也确有拆开的倾向（在很小范围内），这就够了。自由的氟原子基本上会袭击周围一切非氟物质，其反应所产生的热量会提高温度，从而引起更大范围的氟分子的分裂。这样反复进行下去，其结果是分子氟成了所有“气体”中化学性最活泼的物质（氟化氯与它几乎不相上下，臭氧则名列第三）。

把氧分子拆开要困难得多，因而在氟不能保持原样的条件下，它仍保持原样（保持其惰性）。你可能会想氧是一种活泼的元素，但是总的说来，只有在高温时它才这样，因为有更多的能量把它拆开。我们毕竟是安全地生活在充满着自由氧的汪洋大海之中。那些没有生命的物质，如纸、木、炭和汽油等虽然被认为是易燃的，可是它们都能无限期地沉浸在氧中，而不发生可以觉察到的化学反应，除非把它们加热。

当然，一旦加热，氧便变得很活泼，可以与其它“气体”，诸如氢、一氧化碳和甲烷化合。就凭这一点，这些“气体”也不能被认为是很不活泼的。

要把氮分子拆开，那就更难了。在发现惰性气体以前，氮是杰出的惰性气体。它与四氟化碳是表中除了惰性气体本身外仅有的惰性相当大的“气体”。但是，就是它们也是可以拆开的。

某些细菌可以使氮分子分裂，世界上的生命端赖于此。人们学会了大规模地这样干，这样才使许多重要工业过程成为可能。一旦氮分子被拆开，单个氮原子就相当活泼，在各种反应中异常活跃。事实上，它是生命组织中第四名最普通的原子，并且是生命活动中不可少的成分。

对惰性气体来说，那就完全是另一回事了，没有什么分子可拆开。我们是在同自我满足的原子打交道。它们与任何其它原子结合时似乎并不会产生更稳定的结构。在发现惰性气体时，人们就试图使它们形成化合物，但是，都失败了。化学家们很快就对这种能理解的结果表示满意。

确实，化学家们不时地继续试验，但是他们不断失败。直到 1962 年，化学家们在把惰性气体原子和其它原子联在一起时，他们所取得的唯一成功就是形成了“笼形包合物”。在笼形包合物中，原子组成分子，形成一种笼状的结构。有时一个外来的原子——甚至是惰性气体原子——在笼状结构形成的时候就陷在里面了。惰性气体就这样与这个物质联在一起。除非这个分子破裂，它才能摆脱。然而，这个惰性气体原子只是物理地被约束在里面，并没有形成化学键。

但是，让我们稍微想一想其中的道理。氮的沸点是 4.2K，氖的沸点是 27.2K，氩是 87.4K，氙是 120.2K，氡是 166.0K。排在第六位，也是最后一位的具有庞大原子的情性气体氦，其沸点是 211.3K ( $-61.8^{\circ}\text{C}$ )。氦甚至不是“气体”，而仅仅是一般的气体。

再者，随着惰性气体原子质量的增加，电离势（一种测定从某一特定原子中除掉电子的难易程度的量）下降。沸点的增加和电离势的下降都意味着随着单个原子质量的上升，惰性气体的惰性下降。

根据这个推理，氦是所有惰性气体中惰性最小的，它与别的物质化合的可能性最大，所以我们要集中力量试试合成氦化合物。然而氦是一种半衰期不到四天的放射性元素，它是这样的稀少，所以只能在非常特殊的条件下对它进行研究。下一个最有可能的对象就是氡。它也非常稀少，但还是能得到的，而且至少它是稳定的。

那么，假如氡会形成化学键，你又期望它与什么其它原子反应呢？自然，下最合乎逻辑的赌注将是选择最活泼的物质——氟或某种含氟化合物。如果氡不与它们反应，那它也就不能与任何别的物质反应了。

[听来，我好象是事后诸葛亮，我也确实是这样。然而，就是有一些确实是很聪明的人。有人告诉我鲍林（Linus Pauling）远在这事发生以前，在1932年就这样推理过。另一位叫做安特罗波夫（A. von Antropoff）的，早在1924年就这样推论了。]

1962年不列颠哥伦比亚大学的巴特莱特（Neil Bartlett）和另外一些人研究了一种非常不平常的化合物——六氟化铂（ $\text{PtF}_6$ ）。使他们感到惊奇的是，他们发现它是一种非常活泼的化合物。自然啰！他们想了解一下它能派什么用场。其中一个想法就是这里可能存在一种最终能钉住一个惰性气体原子的物质。

因此巴特莱特把  $\text{PtF}_6$  蒸气与氡混合，使他吃惊的是他竟然得到一种看来好象是六氟化氡铂（ $\text{XePtF}_6$ ）的化合物。



然而在宣布这个结果时，还有一些疑问没有解决。六氟化氙铂是一种相当复杂的化合物，勉强有可能形成一个笼形包合物，并把氙包在里面。

因此，芝加哥阿尔贡国立实验室（Argonne National Laboratory）的一群化学家进行了氙直接加氟的试验。他们在一个镍制容器中，将1份氙与5份氟在加压下加温到400℃，他们制得了四氟化氙（ $\text{XeF}_4$ ），一种简单的惰性气体化合物，而不可能是什么笼形包合物（诚然，好多年前就能进行这个试验了，但是，没有这样干，也并不是什么不光彩的事。因为纯氙非常不容易得到，纯氟又不好处理，危险性大。所以在巴特莱特的试验大大增加了“微弱的成功机会”以前，很难要求一个化学家为了这个很少有希望制成的惰性气体化合物而承担费用，甘冒风险）。

一旦阿尔贡宣布其结果以后，人们都象脱缰之马。看来，好象世界上每一个无机化学家都吵吵嚷嚷地进入了惰性气体领域，并且对一连串的氙化合物作了报道。其中不仅包括 $\text{XeF}_4$ ，而且还有 $\text{XeF}_2$ 、 $\text{XeF}_6$ 、 $\text{XeOF}_2$ 、 $\text{XeOF}_3$ 、 $\text{XeOF}_4$ 、 $\text{XeO}_3$ 、 $\text{H}_4\text{XeO}_4$ 和 $\text{H}_4\text{XeO}_6$ 。

人们把足够的氙凑在一起作成了四氟化氙（ $\text{RnF}_4$ ）。就是连惰性比氙还大的氙也被人们所驯服，并合成了二氟化氙（ $\text{KrF}_2$ ）和四氟化氙（ $\text{KrF}_4$ ）。

剩下的三种惰性气体，氙、氪和氩（以惰性大小排列，惰性大者在后，小的在前）至今还未被触动。它们是最后几个单身汉。但是，化学世界已经耳闻到婚礼的钟声，现在不是作单身汉的好时光了<sup>①</sup>。

---

<sup>①</sup> 本文完成于1963年，到今天，也就是11年以后，这三个单身汉仍然还是单身汉。

## 五、实验室中献身的人

我是一个反对盲目崇拜的人。稍有机会，我就要对某些受人尊敬的人物、制度或习俗说些贬损的话。我甚至对母亲节、苹果饼、棒球也要讽刺挖苦一番。但是，理所当然，我也有一条界线，不让人们对我自己所尊敬的独善其事的人，说任何不中听的话。例如**科学和科学家**（注意用的是黑体字）。科学家当然有其缺点。他们有时很顽固，很专横，理论在他们看来是一成不变、不容更动的。法国化学家罗朗（Auguste Laurent）和瑞典化学家贝采利乌斯的可悲事例就是一个明证。

1838年，罗朗发展了已经走上正规的有机化合物结构理论，而当时贝采利乌斯在这方面一直坚持他的具有原则性错误的观点。不幸的是，罗朗年轻而不出名，而贝采利乌斯却是当时的化学大师。这样，罗朗就被压得默默无闻。研究机构因为怕贝采利乌斯不高兴，没有一家愿意聘请罗朗。结果他只好被迫在三流的、保暖条件很差的实验室里工作。恶劣的工作条件加重了他的结核病，并使他过早的去世。另一方面，贝采利乌斯却是在声望达到顶峰的时候逝世的。只是在贝采利乌斯死了以后，罗朗的观点才开始脱颖而出。

真可叹，居然发生这样的事！不过（我愿意这样认为），在科学领域里，这种现象不象在人类其它工作中那样常见。

总之，如果有人责怪**科学**是这样一种部门，在这里权威压制首创精神，自负的老头排挤年轻而求知欲强的天才；因

缺乏博士头衔，有才华的业余工作者被打入冷宫。倘若能列举一些适当的例子，那将是莫大的好事！

有时有人把氟化氙的发现（见第四章）作为例子，说明顽固的理论是如何阻碍试验的。

我可以听到他们说：“又懒又笨的 chemist，他们的脑子里装的就是惰性气体不能形成化合物这样一种想法，因而没有人愿意煞费苦心力求弄清它们到底能否形成化合物。事情就是这样，如果人人都知道某件事是不可能做到的，那么谁还会去尝试呢？但是，如果任何 chemist 在任何时候只要不厌其烦地在一个镍制容器中把氙与氟混在一起……”

听起来好象 chemist 是多么笨，他就是不会去碰一碰这么容易的事。可不是吗？只要将少量的氙和氟在镍制容器中混合，就会震动全世界，还可能获得诺贝尔奖金。

但是，如果一个普通的 chemist 在一个普通的实验室里，试将少量的氙（顺便提一下，它是非常稀少而昂贵的）与少量的氟相混合，你知道会发生什么情况吗？很可能恶性中毒，也很可能造成死亡。

如果你认为我在扩大事实，那么让我们来看一看氟的历史。这段历史并不始于氟本身——一种八十年前还没有为肉眼所见到过的淡黄绿色的杀人剂——而是始于一种大约在五百年前德国矿工使用过的奇怪矿物。

这种物质曾经为当代最伟大的矿物学家阿格里柯拉 (George Agricola) 提到过，1529 年，他描述了德国矿工使用它的情况。这种矿物易溶（对一种矿物来说）。如果把它加入到正在熔炼的矿石中去，那么整个混合物就更容易熔化了，结果就可节省宝贵的燃料和时间。

任何物质如果是液体，它就能流动。从拉丁语表示“流

动”(fluere)一词，我们引出了“流体”(fluid)(流体——任何能流动的液体和气体)和“流畅”(fluent)(流畅——用以描述说话流利)。从同样的词根，我们又得到了阿格里柯拉用来代表一种非常容易液化、非常容易流动的矿物的词，这个词就是“流石”(fluores)。

在以后的年代里，它被称为“萤石”(fluorspar)，因为“晶石”(spal)是矿工的旧术语，意思是“岩石”。后来习惯于在矿物名字后加后缀“-ite”，这样就派生出另一个名称萤石(fluorite)，[当萤石暴露在一种波长的射线上，它会发出比人射波较长的光波，当这一现象被发现时，这个名词开始又有了一个重要的派生词，人们称之为“荧光”(fluorescence)]。

目前在炼钢中，萤石还被用作助熔剂(或液化剂)。多少年代过去了，但是有用的性质依然保留其固有的价值。

1670年，德国玻璃工施瓦哈德(Heinrich sohwanhard)用萤石进行操作，由于某种原因，他把萤石与强酸接触，结果产生了一种蒸气。施瓦哈德弯身去观察，于是他所戴的眼镜片蒙上了一层雾气，这时，他认为大概是蒸气冷凝在眼镜片上了。

但是，雾痕不消失。经过仔细的检查，证明镜片已被腐蚀。事实上，已经有一部分玻璃被溶解，原来挺光滑的表面变得很粗糙了。

这是一种很不平常的现象。因为很少有化学试剂能腐蚀玻璃，这也正是化学家们为什么常用玻璃器皿来做实验的原因。施瓦哈德感到这是一件赚钱的事。他研究了用蜡保护玻璃物品的某些部分(蜡保护了这些部分，使它不受这种蒸气腐蚀)，让其它部分受到腐蚀。这样他就在明净的玻璃上制成各种各样有雾状背景的精巧图形。他还受到皇帝的资助，

他确实干得很出色。

但是，他对他的制造方法一直保密。直到 1725 年，化学家们才普遍地了解到这种令人感兴趣的蒸气。

整个 18 世纪，偶尔有几次关于萤石的报道。1768 年，一位叫做马格拉夫 (Andreas Sigismund Marggraf) 的德国化学家证明萤石并不含硫。他还发现用酸处理萤石时，会产生一种确实能把玻璃器皿蚀穿的蒸气。

然而，瑞典化学家舍勒 (Carl Wilhelm Scheele)，大约在 1780 年，才真正使这种能吞噬玻璃的气体出了名。他也把萤石酸化，然后让它腐蚀玻璃。他较任何其它的先驱者更彻底地对这种蒸气进行了研究，并坚持认为这种气体是一种



舍勒

酸。正是由于这点，舍勒赢得了发现“氟酸”的荣誉（差不多四分之一世纪都这样称呼这种物质）。

不幸的是，他的发现对他的健康带来了不良的后果。他分离了大量物质，并习惯于鼻嗅和口尝他所得到的新化学物质，常以此作为对新物质进行常规鉴定的一部分。除了危险的“氟酸”以外，他还分离了象硫化氢（就是那种在学校化学实验室常碰到的、毒性很大的、具有臭鸡蛋味的气体）和氰化氢（用于执行死刑的毒气室里）等令人讨厌的物品。可是很奇怪，氰化氢吸入嘴里却没有造成他的死亡。

尽管如此，他的幸免毕竟是暂时的，在病了数年之后，他终于在四十三岁时便早亡了。我一点也不怀疑，正是由于他嗅尝那些尚不了解的化学药品的习惯，才大大地缩短了他的寿命。

大多数化学家在尝辨化学药品时，都比可怜的舍勒小心得多。但是在嗅闻方面却不然，即使今天也是这种情况。化学家们并不是故意去闻化学药品，但是实验室里充满了各种气体和蒸气，化学家们把它作为一种反常的爱好来忍受。在面对惊讶的非化学家时，他们却处于一种超然的职业乐趣之中。

几年前也有过这样的推测：许多化学家由于长时期的在不知不觉中受到了汞中毒的影响，致使他们的晚年精神失常。这是实验室里经常存在汞蒸气所引起的结果。这些蒸气来自被人忽视的角落和缝隙中的小滴汞（化学家们都时常会掉落点儿汞）。

然而不为了避免造成惊慌和泄气，我可以提一下，有些化学家活得很长、很健康<sup>①</sup>。最了不起的例子就是法国化学

---

<sup>①</sup> 对那些可能关心我个人健康的忠实读者，我必须承认，多少年来我很难得进入化学实验室。

家舍夫勒 (Michel Eugène Chevreul), 他生于 1786 年, 死于 1889 年, 令人羡慕地活到了 103 岁! 更重要的是, 当他年事已经很高, 但仍然精力充沛。他九十几岁时, 以他自己 (还能有谁呢?) 作为对象, 对老年医学进行了研究 (年老对生物有机体的影响的研究)。他参加了他 100 年诞辰的精心安排的庆祝会, 并被大家热情地誉为“科学老将”。我确实不知道还有哪个第一流科学家超过 100 高龄<sup>①</sup>。好心的读者们, 你们如果知道有谁, 就请告诉我吧。

当然, 舍夫勒工作的对象都是诸如蜡、肥皂、油脂等一类不带危险性的物质。那么再看看德国化学家本生 (Robert Wilhelm Bunsen)。他年轻时, 因为与砷的有机化合物打交道而中毒, 几乎丧了命; 他二十五岁时, 化合物中有一种爆炸了, 并炸瞎了他的一只眼睛。然而, 他活下来了, 而且一直活到可观的八十八岁高龄。

但是, 这也是事实: 在舍勒以后的一百年中, 许多主要研究“氟酸”的化学家死得都相当早。

当舍勒确定了酸化后的萤石所产生的气体是一种酸以后, 人们对其结构立即产生了一种错误的概念。伟大的法国化学家拉瓦锡差不多就在那时断定所有的酸都含有氧, 的确, “氧” (oxygen) 这个词来自希腊语, 其含意是“产生酸的物质”。

确实, 有许多酸含氧 (硫酸、硝酸就是例子)。但是, 也有不含氧的酸, 例如, 一种叫“盐酸”的化合物, 这个名字来自拉丁文, 其含意是“盐水”, 因为这种酸可以由硫酸处理盐

---

<sup>①</sup> 1973 年 10 月 23 日首先发明灯泡中钨丝的柯立芝 (William David Coolidge) 庆祝了他自己 100 岁诞辰。

水得到。

根据拉瓦锡对酸下的定义，人们猜想盐酸含氧，也许是氧和一种尚未为人们所了解的称作“盐酸素”(murium)的元素的化合物。舍勒发现，用某些含氧化合物处理盐酸可以得到一种略带绿色的气体（他设想是盐酸加上了一个氧），他称这种气体为“含氧盐酸”(oxymuriatic acid)。

然而，英国化学家戴维(Humphry Davy)在仔细研究了盐酸以后，证明这种酸并不含氧。相反，它含有氢，可能是氢与一种未知元素的化合物。再者，如果氧与盐酸化合，很可能是氧与其中的氢化合，把氢夺走，使这个至今尚不知道的元素孤立起来。戴维断定那个被舍勒叫做“含氧盐酸”的略带绿色气体就是那个元素。他在1810年重新命名它为“氯”(chlorine)。这是由它的颜色命名的，Chlorine在希腊文中表示“绿”。

既然盐酸是氢和氯的化合物，人们就称它为氯化氢（在气态时）或盐酸（在水溶液中时）。

也有其它不含氧的酸。硫化氢和氰化氢都是例子（毫无疑问它们是很弱的酸。但是，“酸中必有氧”的鼓吹者不能再退守到氧是强酸的必要成分这样一种设想下去了，因为盐酸虽然不含氧，却是一种强酸）。

戴维接着证明“氟酸”是另一种不含氧的酸的例子。再者，“氟酸”具有某些性质，令人联想起氯化氢的性质。因此，法国物理学家安培(André Marie Ampère)想到“氟酸”很可能是氢与一种非常象氯的元素的化合物。他就这样同戴维说了，戴维也同意他的观点。

1813年，安培和戴维给了这个元素（尚未分离出和研究过）与氯一样的后缀(-ine)以强调它们间具有相似性，其名





戴维

称的词干当然是来自萤石 (flint)。因此，这个新元素就得到了“氟” (fluorine) 这个名称。从此这个名称就被大家所接受了。氟酸变成了“氟化氢”，而萤石则变成了“氟化钙”。

现在的问题是把氟分离出来，以便加以研究。这证明是一件头等重要的事。就这么说吧：氧能够夺走氯手中的氢，从盐酸中使氯成为单质析出来。你看氧比氯更活泼，它对氢的拉力比氯更强。

然而，同样的方法并不适用于氟化氢，在任何条件下，氧不能从氟的控制中把氢夺走。(许多年以后，人们发现，处

于元素形态的氟反过来倒可以从氧的控制中把氢夺走。在与水——一种氢和氧的化合物——反应时，氟用这样大的力夺取氢，以致氧以那种具有异常强烈的臭氧形式释出。

必然的结论是氟较氮和氧都活泼。事实上，似乎有理由可以推断氟是现有元素中最活泼的元素（这个推理后来完全得到了化学家们的肯定），而没有一个简单的化学反应可以从诸如氟化氢或氟化钙这些化合物中分离出氟来，因为没有其它元素可以迫使氢或钙从氟的强控制中脱出。

那么，谁说一定要限制在化学反应这样一个范围里呢？1800年发明了电池，几个星期内人们就发现电流通过化合物可以使之分解（“电解”）。如果用普通的化学反应，那只有在极端的条件下才能完成这个任务。例如，用这个方法就能使水分解成氢和氧。我们可以使氢（和各种金属）在负极析出，氧（和其它非金属）在正极析出。

戴维将这种技术应用到化学家们肯定其中含有迄今未知的金属的各种化合物上去，这些金属非常活泼，一般的化学技术都不足以把它们从它们的化合物中解脱出来。在1807年和1808年，戴维利用了从未有过的、功率最大的电池很快得到六种极其活泼的金属：钾、钠，钙、镁，铯和钡。当然，它们都是在负极析出的。

对戴维说来，同样的技术似乎没有任何理由不能运用于氟化钙。按理钙应该在负极析出，而氟在正极析出。他进行了尝试，可是没有取得成功。对了，他可能在正极得到了氟。但是，氟在形成后便立即去袭击它所碰到的任何物质：水、玻璃甚至于戴维用作容器的银或铂，所以戴维很快就得到了氟化合物，然而，就是没有氟。

从另一方面来说，这也是一种吃亏的事情。因为在他研

究氟化合物时，由于吸进去了少量的氟化氢而竟然严重中毒。虽然当时没有丧命，但是无疑使他病倒了。几年以后，在他五十岁时就死去了。

其他人甚至比戴维更不幸。十九世纪三十年代，英国一对叫做诺克斯的兄弟（Thomas Knox 和 George Knox）决定不承认氟不能用化学方法取得就假设（科学家并不象批评他们的那些人所声称的那样墨守成规）。他们想方设法地试验，使氯与氟化汞反应，企图收集生成的汞，并期望释出氟。但是，他们失败了，并遭受了氟化氢中毒的长期痛苦的折磨。

一个比利时化学家劳埃脱（P. Louyet）继承诺克斯弟兄的事业，试图重复他们的试验。但是，他失败得比诺氏弟兄更惨。他竟然被氟化氢活活杀死了！

劳埃脱的助手，法国化学家弗雷米（Edmond Frémy）曾观察过劳埃脱的一些试验。他断定要通过化学反应来分离氟，除了给你带来一张去太平间的门票以外，是不会得到什么别的结果的。他重新使用了戴维的电解方法，并采取了周密的防护措施，他获得的酬报是他活到了 80 岁。

1885 年，他重复了戴维电解氟化钙的试验。其结果还是一样——生成的氟袭击一切它能触及的物质，从而立即消失。

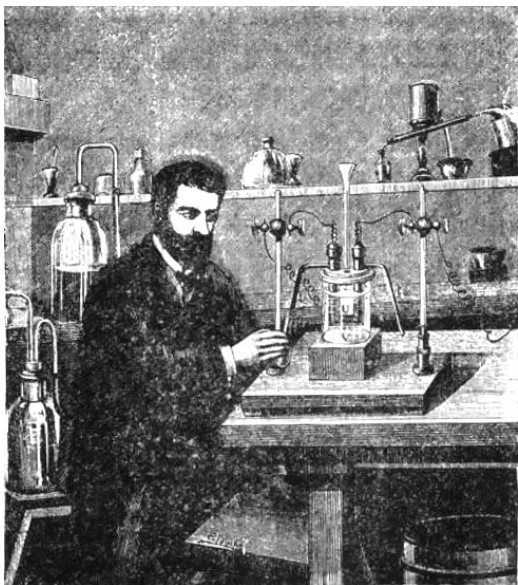
接着他决定从事氟化氢本身的研究。在稍低于室温时，氟化氢是液体，比较好处理，用不着象氟化钙那样，在电解时要把温度增至灼热的程度。

可惜在弗雷米年代里，氟化氢只能以水溶液的形式获得，要电解氟化氢水溶液就意味着两种不同元素（氧或氟）会在正极出现。由于氧较氟不活泼，把它从氢手中拉走就更容易，所以即使氟化氢中只有少量的水存在，也只有电极上

析出氧。

于是，弗雷米就着手研究制造完全不含水的氟化氢（无水氟化氢）的方法。他是第一个这样做的人。可惜他遇到了困难，电流不能通过无水氟化氢，假如他加些水的话，电流是能通过的，但是只有氧产生。

最终他也放弃了这个研究。十九世纪八十年代到来时，氟还是没有被征服。在四分之三个世纪内，它击败了许多第一流化学家们的最大努力：它造成了一些人的病残，并直接杀死了另一些人。



弗雷米

弗雷米的一个学生，法国化学家莫瓦桑（Ferdinand Frédéric Henri Moissan）接过了这个战斗任务，他以坚韧

不拔的意志继续猛攻这一关。

他再一次重新采用化学方法。他断定他必须从一个相对不稳定的氟化物开始。化合物愈稳定，氟必然会把其它原子抓得愈紧，这样就愈难把氟撬开。

1834年，莫瓦桑得出氟化磷是比较不稳定的（对氟化物来说）这样一个结论。这样看来就特别有希望，因为正巧磷有一种强烈地与氧相化合的倾向。也许在这种情况下，氧能够把磷原子从氟手中夺走。莫瓦桑这样试了，但只取得部分成功。氧确实紧紧地抓住了磷，但是氟也不放手，结果艾瓦桑得到了一种化合物，其中磷同时与氧和氟结合在一起。

莫瓦桑尝试了另一种方法。铂是惰性极大的金属，就是氟也不容易侵袭它。然而，热的铂似乎具有容易与磷化合的能力。如果他把氟化磷通过热的铂，铂是不是会与磷化合，而不与氟化合，并释出氟呢？

没有那么好的运气。磷和氟都与铂化合。就在几分钟之内昂贵的铂就这样白白地消耗掉了（幸亏莫瓦桑有一位有钱的岳父，给了他慷慨的资助）。

莫瓦桑象其前辈弗雷米一样，决定从纯化学方法中撤退出来，改用电解方法。

他从氟化砷着手。很不成功地干了一阵子之后，也决定放弃这一研究途径，因为他已开始遭受砷中毒的痛苦。于是他改用氟化氢（经历了四次不同的氟化氢中毒，最终造成他的早亡，终年五十四岁）。

莫瓦桑清楚地记得，弗雷米用无水氟化氢不能通电，必须加入某种物质使之通电，但必须加那种不会提供另一元素在正极析出的物质。为什么不试一试另一种氟化物呢？莫瓦桑将氟化氢钾溶于无水氟化氢中。这样他就得到了可以通过电

流的一种混合物，而且在正极只生成氟。

此外，他还利用了由铂和铍合金制的设备。这种合金对氟的抗拒性比铂本身还强。

最后他把整个系统降至 $-50^{\circ}\text{C}$ 。所有的化学反应都随着温度的下降而变慢。在 $-50^{\circ}\text{C}$ ，即使是最烈性的氟也应当被驯服了。

莫瓦桑接通电流，氢气便在负极猛烈地冒出。可是，在正极却什么动静也没有。他停下来思索：正极是通过一个塞子插入铂铍合金制的容器中去的，塞子必须是绝缘体，所以它不能是铂或其它金属，而这个塞子却又被氟侵蚀了，怪不得他没有得到任何气体。

莫瓦桑需要的是既不通电又不会被氟侵蚀的这样一种塞子。于是，他便想到矿物氟石，它已经有了饱和的氟，而不会再被侵蚀了。因而他细心地用氟石做成一个塞子，然后重复试验。

于1886年6月26日，在正极上获得了一种浅黄绿色的气体。氟最终被分离出来了。后来，当莫瓦桑在公众面前重复这个试验时，他的老教师弗雷米也在旁边观看着。

莫瓦桑继续他的工作，在1899年发现了一种较便宜的生产氟的方法。他采用了铜制器皿。氟对铜有强烈的作用，但是当铜覆盖上一层氟化铜后，就不愁它再会被侵蚀了。1906年，也就是在他去世前的一年，由于他的功绩而荣获诺贝尔化学奖。

即使如此，氟在下一个世纪仍然是元素表中的一个倔强不驯的分子。虽然可以把它分离出来，并加以应用，但是不容易做到，而且人们也不经常这样做。最主要的是由于它比氟化氢的毒性更大，处理它时需要特别谨慎。

同时，在十九世纪九十年代发现了惰性气体（见第 4 章），虽然它们被认为是“非常不活泼的”，化学家们一次又一次地进行试验，想强迫它们形成化合物（别相信什么化学家们都是如此地肯定惰性气体是不会起反应，以致从不加以试验的神话。文献上曾经报道它们有许许多多化合物——但是，除了最近的一些以外，这些报道都经证明是错误的）。

直至二十世纪三十年代，化学理论已经发展到了这样一个程度：人们毋须为了形成化合物而无目的地挑选一些惰性气体来与之打交道。1933 年美国化学家鲍林指出，通过逻辑推理，氙应该能够与氟化合形成化合物。鲍林所在学校，加利福尼亚理工学院的两位化学家约斯特和凯 (Donald M. Yost 和 Albert L. Kaye) 立即表示要进行验证。

他们所得到的只是 100 毫升的氙（常压下）。至于氟，他们根本无法取得。他们不得不自己装配一套设备来制取氟。这套设备时而失灵、时而有效，他们尽了最大努力，还是没见到有任何化合物形成的明显迹象，但是，他们也不能完全肯定是不是什么化合物也没形成。因此，对所得结果无法作出决断。

没有人紧接着继续他们的工作。因为结果不妙，化学家们也知道氟的害人历史，所以对这种试验缺乏热情。

第二次世界大战期间，人们需要氟，因为它与原子弹的研究有关。在这种压力下，具有一定安全性的生产大量氟的方法得到了发展。

到二十世纪五十年代，终于在不冒死亡危险的情况下，有可能进行有关氟的非军事性实验了。即使在这时也只有少数几个实验室拥有进行这种实验的设备，而这些实验室除了把氟与惰性气体相混合之外，还要进行许多与氟有关的

研究。

“只要把氙和氟在镍制容器中相混合就行了”，确实是这样。但是在 1962 年以前的十几年，如果真是这样做的话，还不安全，亦无成功的希望。在当时的情况下，十年的延误还很可以说得过去，并未让“科学”丢什么脸。



## 六、辨别一个化学家

不久前，我观看了一个电视节目，叫做“说真话”。如果你们不知道这个节目的内容，我先来介绍一下：这个节目是由四人组成一个猜谜小组，这四个人要在三个都自称是约翰·史密斯（John Smith）的人中猜出谁是真约翰·史密斯。他们通过提问的方式来猜测，希望这些问题只有真约翰（保证要说真话）才能正确回答，而假约翰则不能。

我观看这个节目的原因，是他们安排了戴坎普（Catherine de Camp——L. Sprague de Camp的可爱的迷人的妻子）以考古学家的身份参加竞赛。使我吃惊的是小组的四个人中竟有两个人不相信她是真的戴坎普。当她回答一个问题时说，亚脱莱蒂斯（Atlantis）从来没有存在过<sup>①</sup>，这个情况动摇了别人以为她是一位考古学家的看法。小组中七嘴八舌，明显地引起了一阵骚动。的确，没有一个真正的考古学家（他们显然是这样想的）会否定亚脱莱蒂斯的存在。

这不禁使我深思——

人们怎样能够迅速而容易地区别一个专家和一个作好充分准备的非专家呢？我认为你一定要找一些没有人会想到去

---

<sup>①</sup> 亚脱莱蒂斯是一个虚构的岛，最初由柏拉图（Plato）提到过，据说最后沉入大海（以上为译注）。因为这篇文章是在1965年写的，人们已经发现爱琴海中的提塞（Thera）小岛在公元前1400年猛烈地爆炸，这可能引起了关于亚脱莱蒂斯的神奇传说。但是传说中所描述的地方已经与原来的完全不一样了。

叫非专家预先作好准备的小事情。

譬如说吧，因为我最内行的是化学，我可以想好两个问题用来区别一个化学家和一个非化学家。这两个问题是：

(1) 你如何念 UNIONIZED 这个字？

(2) mole 是什么？

回答第一个问题时，非化学家一定会把这个词读作“YOON-yun-ized”<sup>①</sup>，他是按照语音规则来读的，而且字典里也是这样标着的。然而化学家则不会往这方面想，他会毫不迟疑地说，这词应该读成“un-EYE-on-ized”<sup>②</sup>。

至于第二个问题的回答，非化学家一定会说：“这是一种在地下打洞、身上长毛的小动物”<sup>③</sup>。如果他是一位土木工程师，他就会说：“这是防波堤”。而化学家就会先清一清他的嗓子，然后说：“这个嘛，是这么一回事——”，于是他就滔滔不绝地谈上几个小时。

上面是我的一段开场白。现在让我们来谈谈这个“身上长毛的小动物”在化学上的含义吧。

要这样做，我们先从分子开始。包含两个氧原子的氧分子量是 32；而包含两个氢原子的氢分子量是 2。这种分子量都是相对值，这里无需讨论它们的意义。当前我们所需要知道的只是：氧分子的质量与氢分子的质量之比，是由它们各自的分子量之比来表示的，也就是 32:2。

如果我们取两个分子的氧和两个分子的氢，它们的质量增加了一倍，但是它们之间的比仍然不变。如果每种分子我们都取 10 个、100 个或 5266 个，等等，它们之间的比还是不变。

---

① 意思是“成立协会”。——译注

② 这意思是“未离子化的”。——译注

③ 意指鼯鼠。——译注。

我们可以把上而这种关系概括起来说，只要氢和氧的分子数相等，氧分子的总质量和氢分子的总质量之比总是 32:2。

我们可以从一个 2 克的氢样品开始。这个样品包含一定数目的氢分子（我们称这个数为  $N$ ）。再设想我们另外还有一个包含  $N$  个氧分子的氧样品。既然这两种气体样品含有同样数目的分子，氧与氢的质量比就是 32:2。氢的质量已被定为 2 克，因此氧的质量是 32 克。

我们的结论是：2 克氢和 32 克氧都含有  $N$  个分子。

请注意 2 克氢样品的意义。它是以克表示的分子量的数值，因此，我们可以把 2 克说成是氢的“克分子量”（同样，两磅的氢是磅分子量。两吨的氢是吨分子量等等。不过，我们在这儿将不越出克分子量范围）。

根据同样的道理，32 克氧就是氧的一个克分子量。

“克分子量 (gram-molecular-weight) 按英文有六个音节。化学家们必须经常用这个名称，因此他们非常希望能找到一个简化的名称。你会注意到原词第 5 到第 8 个字母是“m-o-l-e”。他们喜出望外，就把“gram-molecular-weight”缩短成“mole”。

有些化学家神经质地考虑到“mole”这个词既然表示往地下打洞的身上有毛的小动物，就试图用“mol”代替“mole”。在我写的一本教科书里，也被迫采用了“mol”，因为同我一起写书的两位同事都赞成这样做，这件事使我暗暗伤心。念 mole 这个词通常是要带长“o”的，而在“mol”中的“o”很明显是一个短音。因此，在这一章里，由于我可以自作主张，我还是用“mole”。你们都听见了吗，所有的人们？是“mole”！

很好。我已经说明了一个克分子量的氢和一个克分子量

的氧都有同样数目 ( $N$ ) 的分子。根据同样的推理, 可以证明一个克分子的任何物质都有  $N$  个分子。

举例来说, 水的分子量是 18, 硫酸的分子量是 98, 而蔗糖 (蔗糖) 是 342。因此, 在 18 克水中、98 克硫酸中与 342 克蔗糖中, 都有  $N$  个分子。

现在我已经解释了克分子量, 但是, 这又使我联想到另一个问题, 我并不打算就此为止。

譬如说, 你收集了一个克分子量的氢 (2 克), 把它置于所谓的“标准温度和压力” (STP) 下, 也就是温度为  $0^{\circ}\text{C}$ 、压力为 1 个大气压下, 你就会发现这 2 克氢占有 22.4 升的体积。

假设你接着以一个克分子的氧 (32 克) 做同样的试验。在标准温度和压力下, 其体积也是 22.4 升。事实上, 取 22.4 升的任何气体, 不论它们的质量如何, 你将会发现它们总是 1 克分子<sup>①</sup>。

同理, 11.2 升的任何气体包含 0.5 克分子的这种气体, 44.8 升的任何气体包含 2 克分子的这种气体, 以此类推。事实上, 我们可以这样说: “在固定的温度和压力条件下, 同样体积的气体含有同样数目的分子”。

一旦掌握了物质的原子理论以及 2 克氢和 32 克氧占据同样体积这样一个简单的概念, 就不难得出上述的结论。

1811 年, 一位名叫阿佛加德罗的意大利物理学家 (见第一章) 已首先得出了这个结论。当时原子理论刚刚提出来, 几乎没有介入化学家的意识中。这个结论 (至今仍把它称作阿

---

<sup>①</sup> 事实上, 只有对理想气体来说, 这个数字是精确的。本文后面还要提到。实际气体与理想情况有出入, 对有些气体来说, 这个出入还不小。然而为了说明我的观点, 这些次要的缺陷就忽略不顾了。

佛加德罗假说) 被提出时, 好象是无中生有, 因而被大家所忽视。过了五十年, 它的价值才被人们所认识。正如你所料想到的那样, 阿佛加德罗早死了几年, 没有来得及见到他自己被证明是正确的那一天。

下一个问题是  $N$  究竟有多大? 一个克分子量的任何物质有多少个分子? 显然, 这必定是一个很大的数字, 因为分子很小。这也是人们最初所能做的估计。在阿佛加德罗活着的时候, 对  $N$  究竟有多大, 他一点概念也没有, 其他人也是这样。

直至 1865 年, 一个名叫洛喜米特 (J. Loschmidt) 的德国物理学家按照一个特定的理论方法, 第一次求出了一个比较合理的数值。从此以后, 人们至少用过十几种不同的方法, 所求得的结果基本上相同。在一克分子的物质中, 分子总数 (称为阿佛加德罗常数) 证明是  $6.02252 \times 10^{23}$ 。这是在 1963 年被正式确定的数值。如果你要把它全部写出来的话, 那就是 602,252,000,000,000,000,000,000。换言之, 它略大于六百乘一千的七次方。

你可以用阿佛加德罗常数除分子量而求出任何分子的真实质量。既然 32 克的氧含有  $6.02252 \times 10^{23}$  个氧分子, 氧分子的质量就等于  $6.02252 \times 10^{23}$  除 32, 也就是大约  $5.31 \times 10^{-23}$  克 (0.000 000 000 000 000 000 000 053 1 克)。

把阿佛加德罗的名字与这个他从未求出过的数值连在一起, 你也许会感到不公平。但是, 我却不这样想。因为他在这方面使人们的思想起了决定性的飞跃。然而, 如果你为这个表面看来的不公平而感到恼怒的话, 你会从别的方面得到宽慰的。洛喜米特, 第一个求出阿佛加德罗常数值的人, 也得到了应有的荣誉。在标准温度和压力下。一立方厘米气体中的

分子数称作“洛喜米特数”。因为一克分子的气体占有 22.4 升，或更精确些，它占有 22,415 立方厘米，所以在标准温度和压力下，用 22,415 除阿佛加德罗常数即得洛喜米特数。

计算出来的结果是：洛喜米特数为  $2.68683 \times 10^{19}$ ，或 26,868,300,000,000,000,000，也就是略低于二十七乘一千的六次方。

现在我们可以用洛喜米特数（以后我们以 L 来代表）做游戏。

假如在 1 立方厘米的气体中，有 L 个分子，那么一个分子的中心和其紧靠的另一个分子的中心间的距离就等于 L 的立方根的倒数，也就是  $\frac{1}{\sqrt[3]{L}}$ 。

把它计算出来后(我自己算，不必每件事都打扰你们)，很明显在标准温度和压力下，气体中分子间的平均距离是  $3.33 \times 10^{-7}$  厘米。这是一个非常短的距离，它大约是 1 厘米的百万分之三，而 1 厘米又大约等于五分之二吋。所以我们完全有理由想象，气体中分子挤得几乎要爆出来。

然而让我们进一步想想，1 厘米的一亿分之一 ( $10^{-8}$  厘米) 是一个“埃单位”，一般把它简略成 Å。这就意味着在标准温度和压力下，气体分子间的平均距离可以用  $33.3\text{Å}$  来表示。

但是，一个小分子的半径大约稍大于  $3\text{Å}$ 。也就是说，小分子间的距离大约是它们本身半径的 10 倍。如果把这样的一个分子放大到地球那么大，它旁边的分子（也象地球那么大）就会在 40,000 英里以外，或者说是略大于地球和月亮之间距离的六分之一。从天文角度来说，这可能是一个相当近的距离，但是地球与其邻居隔这么一个距离肯定是不会感到特别

拥挤的。

事实上，小的气体分子所占的空间只是气体总体积的千分之一。换句话说，普通的气体大约有 99.9% 是分子间的空间，仅 0.1% 是分子。

从这一观点来看，气体中并未挤满物质。相反，它们可以被认为是几乎接近真空。

请注意，我指定的是在标准温度和压力下的情况。你只要想一想气体中空着的空间有多大，所以如果压力增加，很容易把分子推得更接近些。事实上，压力加倍，气体的体积就减半。把压力增大三倍，体积就减至三分之一，以此类推（假设温度不变）。

也许你会感到奇怪，为什么气体分子自身不会聚在一起？它们为什么相隔那么远？答案是：它们具有能量，能量是以快速运动的形式表现出来的。我们可以这样说：“这种运动通过不停地碰撞，把分子彼此推开。如果解除压力，分子的推力就相应地使分子离得更远。如果压力减半，气体体积就加倍；如果压力减至三分之一，体积就增大三倍。以此类推（仍然假设温度不变）。

如果温度升高（压力不变），分子运动速度增大，互相排斥更有力，体积因而增大。如果温度下降，体积就变小。因此，对某一特定气体样品来说，在温度、压力和体积之间存在一种微妙的联系。倘若是理想气体，它们之间的关系可以用一个非常简单的“气态方程式”来表示。对于实际的气体，这个公式则需要稍加修改，而要比原来的复杂得多。以后也许我们还要加以讨论。

首先注意到气体中压力和体积间关系的是一位名叫波义耳 (Robert Boyle) 的英国化学家。这事发生在 1662 年，到

1677年，一个法国物理学家马里奥脱 (Edme Mariotte)，在不知道波义耳的发现的条件下，也发现了这个关系，而且他是第一个指出温度必须保持不变的人。因此，在英国和美国，人们把这个关系说成是“波义耳定律”，而在欧洲大陆则称之为“马里奥脱定律”。

1699年，法国物理学家阿蒙通斯 (Guillaume Amontons) 注意到了温度对空气的影响，以及体积与温度是如何互相关联的。另一法国物理学家查尔斯 (Jacques A. C. Charles) 在1787年重复了这个研究结果，并且指出，这个影响不仅对空气而且对所有的气体都适用。然而，查尔斯没有发表他的发现。另一个法国化学家盖·吕萨克 (Joseph Louis Gay-Lussac) 在1802年又重复了这项工作，并且把结果发表了。因此这个关系既被称为“查尔斯定律”，也被称为“盖·吕萨克定律”。可怜阿蒙通斯则什么也没有得到。

一直到此，有关气体状态方程式的认识的发展纯粹是经验结果。然而，在十九世纪六十年代，苏格兰数学物理学家麦克斯韦 (James Clerk Maxwell) 把气体当作一种具有完全弹性的分子集合体。这些分子不断地进行着无规则的快速运动。他还用严密的统计方法来对这种分子集合体进行探讨。一个奥地利物理学家玻尔兹曼 (Ludwig Boltzmann) 也独立地作了同样的工作。他们全都指出了这样的解释可以很好地说明压力、温度和体积之间的关系。

就这样发展了“气体的动力学理论”〔动力 (Kinetic) 一词来自希腊文，意思是“运动”〕。也就是根据这个动力学理论以及出它所推导出来的方程式，洛喜米特首次求出了阿佛加德罗数。由此可见，科学是如何紧密结合的。

麦克斯韦的动力学理论利用了两个并不完全正确的假



设。为了简化起见，他假设单独的气体分子的体积等于零，彼此之间也没有引力。这样的假设只有对我前面提到过的理想气体来说是对的，在实际气体里，分子体积虽然极小，但决不是零。彼此之间的引力尽管极小，但也不是零。因此，实际的气体或多或少都不是理想的。氦、氢和氖的不理想程度最小，因为它们的分子（对氦和氖来说，也就是单个的原子）最小，相互间的引力也最小。

虽则如此，我们还是可以把我们的对象当作理想气体来对待，然后考虑温度的影响。如果我们从一个克分子量的理想气体着手，在标准温度和压力下，求得的体积为 22,415 立方厘米。温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，体积就增加比 82 立方厘米稍稍多一点；温度每降低  $1^{\circ}\text{C}$ ，体积就减小比 82 立方厘米稍稍多一点。

如果我们继续一度一度地把温度降低，每降低一度，体积就缩小 82 立方厘米，等温度降到  $-273.15^{\circ}\text{C}$  时，体积就变成零了。就是根据这一点，产生了  $-273.15^{\circ}\text{C}$  为“绝对零度”这样一个概念。这是极端低的、也是不能再低的温度。

当然，只有分子体积为零的理想气体才能设想把体积收缩到零。在任何实际的气体中，分子都具有一定的体积，因此，体积只能收缩到各个分子彼此面对面紧贴着这样的程度。在达到这个程度时，情况就会起根本的变化。

假设某一种气体的分子半径为  $1\text{\AA}$ ，当分子表面互相接触时，两个分子中心间的距离等于它们半径之和，也就是  $2\text{\AA}$ ，我们可以计算一下，在什么温度条件下会出现这种情况。

在摄氏零度时，气体中一个分子中心到另一个分子中心间的距离是  $33.3\text{\AA}$ 。而在  $-273.15^{\circ}\text{C}$  时，其距离是零（在理

想情况下)。随着温度下降，其距离逐步减小。这样我们会发现在 $-257^{\circ}\text{C}$ 时距离减小到  $2\text{\AA}$ 。这时各分子彼此面对面紧贴着。因为 $-257^{\circ}\text{C}$ 大约相当于绝对零度以上  $16^{\circ}$ ，所以我们可以用  $16\text{K}$  来表示 [这里的  $\text{K}$  代表开尔文 (Kelvin)，开尔文爵士是第一个使用这种温度尺度的人，他把绝对零度作为零度]。

如果分子特别小，其半径仅达到  $0.5\text{\AA}$ ，那么到  $8\text{K}$  时就会出现分子彼此紧贴的情况。

一旦分子达到紧贴的地步，物质——至少在一般条件下——将不再显示出气体的特有性质。这时，我们所得到的不是气体，而是一种“凝聚相”。

当刚达到各分子彼此紧贴这样地步时，分子还具有足够的能量可以自由滑动。这时他们处于“液态”。假如温度再往下降，能量继续降低，分子就被固定起来，而这物质就处于“固态”了。

综上所述，似乎理想气体永远也不能液化。因为其分子除了在绝对零度外，永远也做不到彼此紧贴，而绝对零度是永远达不到的。然而，实际的气体——看来是这样——在不到绝对零度而离绝对零度也不远时，必定会液化。

在所有气体中，离理想状态最近的三种气体或多或少确实是这样的。最接近理想状态的氦在  $4.2\text{K}$  时液化。氢在  $20.3\text{K}$  时液化，氖在  $27.2\text{K}$  时液化。其它各种气体则在高得多的温度下就液化了。譬如说氧，它离理想状态也不太远，液化点却高达  $90.1\text{K}$ 。

在  $90.1\text{K}$  时，气体分子中心与中心的平均距离大约是  $11\text{\AA}$ 。即使我们定氧分子的半径为  $2\text{\AA}$ ，这时分子与分子的表面距离将是  $7\text{\AA}$ 。在达到分子彼此紧贴的地步以前，温度

可以下降到接近 30K。

然而，氧是在 90.1K 而不是在 30K 时液化的。要解释这一点，我们先别忘了实际气体不符合理想状态的第二个方面，也就是分子间具有引力。对氦、氢和氖来说，这个引力是很小的。假如氦原子碰巧彼此相碰撞，它们相互间的引力是如此之小，甚至可以被在极端低的温度下存在的少量动能所克服。就是由于这个道理，氦一直要到各分子受迫表面紧贴时，才开始液化。

然而，氧分子之间的引力要比氦原子、氖原子或氢分子间的引力大得多。当温度降到 90.1K 时，动能就不够把两个碰巧相碰撞的分子拉开。氧分子之间的吸引力大到足能使它们结合在一起，这样氧就液化了。

许多物质的分子间（或原子间或离子间）的吸引力是如此之大，即使在高温下也不转变成气体。其中有少数几种要等温度达到 6000°C 时才转变成气体。

现在让我们从液氢着手来解决“凝聚相”的问题。液氢在其沸点时，密度为 0.07 克/立方厘米（事实上，这是所有物质的凝聚相的最低密度）。

因为 2 克的氢（一个克分子量）含有  $6.02252 \times 10^{23}$  个分子，0.07 克就大约含有  $2.09 \times 10^{22}$  个分子。因此，分子的中心到中心的平均距离是 3.63Å。这也可以作为液态氢中氢分子的有效直径（对氧分子来说，通过同样的计算，求得的直径大约是 3.9Å）。

你可能会设想，当从元素表中由简单原子走向愈来愈复杂的原子时，从元素的凝聚相密度计算出来的原子直径会稳步地增大。然而，事实并非如此。

原子的体积在很大程度上是由原子中电子所占的空间大

小来决定的。这些电子如何排列，对原子体积有很大的影响。电子是一层层排列的，在有些原子中，最外面的一层只有一个电子占据着，而这个电子与核联系得很不牢，向远离原子核的方向移动，使得这个原子具有非常大的体积。

如钠、钾、铷和铯等都是这样。铯是一个最突出的例子，因为它较同类的其它原子具有更多的电子。

铯象一般金属一样，被认为是由单个原子所组成的原子晶体。铯的原子量是 132.9，所以 132.9 克也就是它的“克原子量”。一个克原子量的元素含有阿佛加德罗数目的原子。

在室温下，铯的密度是 1.87 克/立方厘米。因而 1 立方厘米的铯大约含有  $8.15 \times 10^{21}$  个原子。在固体铯中，铯原子的有效直径因此大约是 5Å。

另一方面，如果最外面电子层只充满半数电子时，这个原子是很小的。这些电子被拉到离中央原子核很近的地方，这就意味着相邻的原子可以彼此结合得很近。

事实上，如果你用密度和原子量作坐标来作图的话，可以看出，密度是以周期性的波浪形式进行的。当每一次最外层只有一个电子时，原子直径就上升至一最高点，密度为最小；而每一次最外层的电子数只达半满时，原子直径就下降到低槽，密度最大。正是这点，使德国化学家迈尔 (Lothar Meyer) 在 1870 年有了元素的“周期表”的想法。[然而迈尔的想法被俄国化学家门捷列夫 (Dmitri I. Mendeleev) 抢先了一步，后者就在几个月之前用别的论据得出了同样的结论。但那是另一回事。]

按照原子结构复杂性的顺序来排列，可以分成几组，如：

- (1) 铍、硼和碳，
- (2) 铁、钴和镍，
- (3) 钪、铪和钇，



Library of Congress

门捷列夫

#### (4) 钷、铍和铂。

下面列出几个在室温下是固体的元素的原子间距离（也就是有效原子直径）。数学计算从略。碳（金刚石） $1.8\text{\AA}$ 、镍 $2.2\text{\AA}$ 、铍 $2.4\text{\AA}$ 、钷 $2.4\text{\AA}$ 。

金刚石是所有固体中最密实的。金刚石中每一个碳原子被四个离它特别近的碳原子牢牢地结合着，这一事实使得金刚石成为迄今已知物质中最坚硬的物质（氮化硼很可能是例外，它的情况和金刚石很接近）。

固体愈密实，其密度愈大。个体原子的质量愈大，密度

也愈大。在各组密度原子中，要算铱、铱和铂的原子质量最大。因此，它们应该是，而且也确实是密度最大的元素（确实也是所有物质中密度最大的）。

铂的密度是 21.37 克/立方厘米，铱的密度是 22.42 克/立方厘米，铱是最高记录的保持者，其密度为 22.5 克/立方厘米。铱的密度差不多正好是铅的两倍，它又较金的密度大  $1/6$  倍。一立方英尺并不算是一个很大的体积，但是，一立方英尺的铱有 1400 磅重。

当然，在其它条件都相同的情况下，原子间的距离愈大（中心到中心），则不论用加热或用其它的化学方法把它们完全拉开也就愈容易。因此，排得松散的铯，其熔点为  $28.5^{\circ}\text{C}$ ，沸点为  $670^{\circ}\text{C}$ ；而铱则要到  $2700^{\circ}\text{C}$  才熔化，在超过  $5300^{\circ}\text{C}$  的某一温度时才沸腾。

在所有的固体中，碳最结实，其熔点也最高，在接近  $3700^{\circ}\text{C}$  时，它才不再以固体形式存在（事实上，它不熔化而升华，直接变成气体碳）。

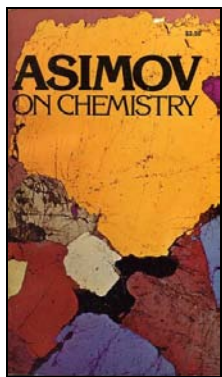
还有，铯最容易脱离它自己的同伙而与别的原子结合，所以它是金属中最活泼的一员。另一方面，铱、铱和铂则是所有金属中最不活泼的成员。

懂了吗？

初学化学的学生总认为，这门科学只是那些靠死记的、彼此不相关的各种数据的堆集。绝不是这样！只要用正确方法去研究它，你就会发现每种事物都有联系，而且都是很有意义的。

当然，这种研究的诀窍也并非轻而易举取得的。

原版书影



書 读书中文网  
www.rbook.net



珍爱书籍，开卷有益，请支持正式出版物。

《阿西莫夫论化学》二校版，版面（页面）还原  
全书由 [凡剑](#) (Ken777) OCR/手打、一校、另绘封面、配图制作。  
全书由 [601joy](#) 二校。

2008年12月29日一校

2009年01月18日二校

