

稀有气体的前世今生

孙博勋*

北京大学化学与分子工程学院, 北京 100871

摘要: 将众多元素拟人化并构建了一个元素的“王国”，将稀有气体元素比喻为王国中的隐士。通过稀有气体之间的对话讲述了人类发现稀有气体和稀有气体化合物的过程。文章用生动的语言讲述了稀有气体的发现史和一些性质。

关键词: 稀有气体; 发现史; 稀有气体化合物; 科普

中图分类号: G64; O6

The Discovery of Noble Gases

Sun Boxun *

College of Chemistry and Molecular Engineering, Peking University, Beijing 100871, P. R. China.

Abstract: In this paper, many elements are personified and a kingdom of elements is constructed. Noble gas elements are compared to hermits in the kingdom. Through the dialogue between noble gases, the process of discovering noble gases and noble gaseous compounds is described. The article tells the discovery and some properties of noble gases in a vivid language.

Key Words: Noble gas; Discovery; Compounds of noble gases; Science popularization

在元素王国中居住着很多元素，它们有时成双结对，有时形单影只，还有时它们会组成一个巨大的被人们称为是“分子”的集合体来影响着自然界的方方面面。然而总有一些元素，像是一群“隐士”，它们从来都是独来独往，不喜欢与其他的元素来往。时间一久，大家就把它忘了，而这些“隐士”也乐在其中，不但不喜欢与别的元素来往，就连见到了都不与别的元素打个招呼。

不过这群隐士之间的关系倒是不错，虽然从来不在一起玩但互相关系还算是融洽的，它们互相以编号称呼对方。所谓编号，就是人们发明了元素周期表之后被称为原子序数的东西。有一天，2号遇上了18号，互相打了声招呼就开始嘘寒问暖了起来。

2号：“最近还顺利吧。”

18号：“在世间隐匿多年，无人打扰自然清静。我也不想和别的元素来往，自给自足也是一件乐事啊。话说2号，在这整个宇宙的范围内，除了1号大哥就是你分布最广了，那为什么那种叫‘人’的智慧动物没有发现你呢？”

2号：“要说分布广泛那自然是我，但现在人类社会的发展水平刚到蒸汽时代，想要发现地球之外的东西简直难如登天啊。”

18号：“好一个‘难如登天’。不过像你这样隐匿于外太空的终究不算真正的隐士，真正的隐士应该‘大隐隐于市’，你看我一直隐匿于空气中，人类发现我了吗？”

收稿：2018-11-26；录用：2019-04-11；网络发表：2019-05-10

*通讯作者，2015级博士研究生，Email: 1501110315@pku.edu.cn

2号：“不过你真的认为你这样‘大隐隐于市’的生活能持续很久吗？”

18号：“人类发现不了我的，虽然我在空气中含量接近1%，但人类连气体是什么东西都没搞清楚，就更不要说发现我了。”

2号：“也是，以人类现在的科技水平，也就能研究一下固体和液体。像我们这样不与其他元素结合的，自然不在人类的研究范围之内啊。”

18号：“我觉得人类一时半会儿应该发现不了我们的。”

2号：“不过我听说在人类世界出了一个实验狂人，我想我们继续当隐士的日子要到头了。”

18号：“谁？”

2号：“这个疯子叫卡文迪许，行事作风与我们比较像，都是隐士派的。”

18号：“那应该没什么能力，毕竟都不与别人交流，应该很难做出什么惊天动地的成果吧。”

2号：“正相反，跟你说几个他之前做过的东西吧。他用一个自己设计出来的叫做‘扭秤’的东西，把电荷之间作用的‘平方反比定律’给推出来了。还独立发现了电流和电压呈正比的关系。最近他在研究气体，刚开始研究他就把一种被人类称为‘固定空气’的密度测出来了，还用这种气体解释了钟乳石的形成。所谓‘固定空气’嘛，就是1个6号和2个8号的结合体，人类吐出来的东西。后来他转向研究我们的1号大哥，一开始他以为是燃素，但随后他竟然把这种气体的密度测了出来，之后否定了自己的观点。最近他又发现燃烧的过程中7号和8号，也就是地球上最主要的两种气体之间会发生化合，于是想要把这两种气体一网打尽……”

18号：“7号和8号大哥都没了，那剩下的基本上就是我了，当然还有10号、36号和54号，不过那几个含量太少，不提也罢。那岂不是说，我要被世人发现了？”

2号：“不必担心，你认为卡文迪许这个疯子真的会把这个东西发表出去？”

18号：“还真是啊，幸好是卡文迪许这个疯子，要不然我们非得尽人皆知不可，哈哈哈哈。”

1785年，英国

刚刚结束七年战争的欧洲，君主制在这片大陆上摇摇欲坠，一场惊天的变革即将席卷整个欧洲。不过，对于偏安一隅的英国来说，这场巨变似乎并没有波及到这片孤岛。此时的英国正在经历一场更大的变革——工业革命。就在这一年，一位叫瓦特的工程师将自己大幅改良后的蒸汽机大规模应用于纺织行业，掀起了工业革命的狂潮。英国，就在这场变革之中逐渐成为了世界的霸主。

然而对于伦敦的卡文迪许来说，这世界的喧嚣与他并无关系。他只是一次又一次地重复着他的实验，看一下那除了氧气之外的剩余气体中到底含有什么新的物质。此时，卡文迪许已经发现了这种剩余气体似乎可以和氧气在电火花的存在下继续反应，反应生成的酸性气体可以被碱液吸收。于是卡文迪许把氧气和空气混合，不断用电火花让这两种气体发生反应，然后用碱液去吸收^[1,2]。看着玻璃罩内的气体一点一点减少，卡文迪许露出了欣慰的笑容——在他心目中，没有比实验结果更能让他兴奋的东西了。

不过，每次实验之后，玻璃罩内总会有一些气体，它既不与氮气反应也不与氧气反应，即使通入更多的空气或更多的氧气后再用电火花去引燃，气体的量也不会减少。焦急的卡文迪许仔细检查着装置，并没有发现漏气现象，也没有看到任何其他的问题——这对于一个精确的实验者来说是无法接受的。卡文迪许反复重复着他的实验，却没有任何值得兴奋的结果。最后，他始终没有将这份工作发表出去，只是忠实地记录了这个实验的结果——这种不与空气和氧气发生反应的气体，大约占空气比例的1/120。

卡文迪许直至逝世也不知道这种气体到底是什么，但他的研究却给了后人一个启示——空气，绝非想象得那么简单。

元素王国

2号：“18号同志，好险啊，你差点就被这个疯子发现了。”

18号：“无所谓，就算是被发现的话，它们也只能对我无可奈何，毕竟我们拥有最稳定的结构——既不容易让自己的电子丢走，也不容易将别人的电子抢过来。”

2号：“不过，卡文迪许这个疯子虽然走了，但卡文迪许所在的地方正在经历一次天翻地覆的变化。先是有个叫戴维的家伙，用了一种被他们称为电的东西，这被他叫做‘电解法’。我们中最‘慷慨’的19号、11号还有20号等很多兄弟都栽到了这个东西上面，这种方法神奇之处在于，你不要电子，我可以强行塞给你一个，看你要不要。反过来，这个家伙如果想抢你的电子就直接拿走，连17号已经据为己有的电子，都能抢回来。”

18号：“这也没什么吧，我就不信他们能强行塞给我一个，至于抢我电子的话似乎也没那么容易。”

2号：“这只是个序幕，最近有个叫本生的人，和那个叫基尔霍夫的人交流了一下，做出了一台前所未有的仪器。听说这个东西能够测出一种物质发出什么颜色的光，这被他们称为‘光谱仪’。”

18号：“我没明白，光谱仪这东西真的能发现我们吗？”

2号：“光谱仪这东西不简单。之前人们只有把元素分离出来才能确认里面有什么元素。现在这两个人发明了这个仪器之后，看到什么都想拿来测一下。结果第二年，咱们最‘慷慨无私’的55号就栽到了这个上面！”

18号：“55号？！据我了解它可是慷慨到了极致啊，你不要电子它也要塞给你，上次看到它竟然想要强行把电子塞给79号，那可是以丢电子著称的元素啊！不过79号最终还是拗不过55号，还是收了。第一次看到有80个电子、步履蹒跚的79号，我笑了一整天呢。”

2号：“这么说咱们藏下去的日子恐怕不多了。而且，我压力应该更大，毕竟……人类就算没进入太空，通过光谱发现我也是轻而易举……”

18号：“算了，我也不想再藏下去了……”

1859年，德国

几十年过去了，此时的欧洲大陆经历了翻天覆地的变化。法国统治二百年的波旁王朝在1789年夏季的一片喧哗声中轰然倒塌，后来的拿破仑更是将神圣罗马帝国的最后一块遮羞布扯下。德国一片混乱，尽管这段时间里这片土地诞生了众多著名的科学家和艺术家，但在奥地利人的压迫下，德国人始终无法拥有自己的主权。不过，这片土地注定要迎来一个伟大的人物，就在十年的时间里，俾斯麦治理下的德国终于完成了统一。

与俾斯麦同一时期的还有两位科学家，他们的名字或许没有俾斯麦那么响亮，但他们对人类做出的贡献却不在俾斯麦之下。他们所创立的光谱法至今影响着科学的诸多领域。

尽管牛顿利用棱镜分光确认了太阳光是由不同颜色的光混合而成，但彼时的科学水平还仅仅停留在讨论“光的本质是什么”这一问题上。后来的物理学家们发现了光的干涉、衍射等现象后，确认了光是一种波，但却始终没有想到如何利用光这种奇异的现象去分析物质的成分。不过，这一切随着两位年轻人的聚首发生着改变。1854年，在本生的引荐下，基尔霍夫来到了海德堡大学担任教授。他们一经聚首就碰撞出了很多新奇的思路——基尔霍夫是一位物理学家，在21岁的时候就提出了基尔霍夫定律，而本生则是一位化学家，曾经对砷的化合物有着深入的研究。在不同学科之间的思路碰撞，使得这两位科学家共同发现了现代分析化学最为常用的方法之一——光谱分析法^[3]。

在18世纪德国化学家马格拉夫就发现某些金属盐在灼烧下会发出各种不同颜色的光，借此可以对元素进行分析，这在今天被称为焰色反应。而本生和基尔霍夫则更进一步，他们想到如果将这些元素发出的光用棱镜去分光，会有什么结果呢？于是本生就用他所设计的“本生灯”去灼烧各种各样的物质，而基尔霍夫则通过光谱仪去观察，并将得到的光谱记录了下来。他们发现同种元素的

发射线似乎是固定的，即使与其他元素混合后，发射线的位置也几乎不会发生改变。就这样，他们获得了很多已知元素的发射线。当然，对于很多样品来说，它们的某些发射线和已知的元素并不重合，这也就意味着，还有新的元素没有被发现。

就这样，他们观察着世间万物，看到了一条又一条不属于已知任意一种元素的发射线，作为科学工作者，他们把这些发射线如实地记录了下来。经过对比、指认，他们发现了很多在自然界中含量很少的元素，如铷、铯等。人类对于元素的认知又深入了一步。

光谱仪在科学家中迅速推广开来，很多科学家都想用这个简单而有趣的仪器去观察一些奇奇怪怪的物质。到了 1868 年^[4]，法国一位叫让桑的科学家远赴印度观察日食的时候，看到了红色的日珥上面有一条黄色的谱线。起初他认为这是钠的发射线，但经过对比之后发现，这条发射线与钠的发射线似乎有些差异，便寄给了当时有名的专门研究太阳光谱的天文学家——英国的洛克耶。后来经过二人共同对比，他们认为这是一个地球上不存在，只存在于太阳上的元素，并将其命名为 Helium，中文译名为“氦”，意为太阳元素。

不过，此时的化学界还秉持着“只有拿到实物才算发现”的固有观念。对于通过光谱发现的物质，科学家们只有将这种物质分离出来才算是真正发现了这种元素——此前也发现过某些谱线被指认为新的元素，结果分离出来一看，只是原有元素的新谱线而已，这也使得光谱法的信度大打折扣。所以对于让桑和洛克耶发现太阳元素一事，科学界不置可否，让稀有气体的发现又一次延迟了 30 年。

元素王国

10 号：“这次好险，2 号大哥差一点就被发现了啊……”

2 号：“10 号你总算是出来了，你隐藏得倒是好——宇宙当中含量没我多，地球又吸不住你，你被夹在我和 18 号中间，按理说应该能藏更长时间了吧。”

10 号：“2 号大哥也不要这么说，虽然含量少，但我的发射实在是太强了啊。只要往我身上通个电，这么亮的橙红光，就算是含量再少也该被发现了吧。”

2 号：“说的也是，不过之前 18 号说我在地球中含量少所以大家发现不了我，这一点我心里也有点虚啊。毕竟虽然我在大气中含量少，但在某些矿物中含量可不少啊。”

1894 年，英国

就这样又过了 30 多年，此时的英国已经由偏安一隅的小岛发展成了世界性大国，其殖民面积之广，让人们把曾经的霸主，现在已经没落的西班牙的头衔“日不落帝国”送给了英国。欧洲的殖民已经让整个世界都处在了阴霾的笼罩之下，而对于殖民地的争夺也酿成了 20 年后的一次惊天动地的大战。

不过此时战争尚未发生，科学界也是一片太平。法拉第之后，麦克斯韦树立了近代电磁学的里程碑，赫兹也通过他的实验验证了麦克斯韦方程的正确性，传统物理学大厦即将建成。而在化学领域，俄国的门捷列夫也发现了元素周期律，并将其制成了一张元素周期表，尽管当时的元素周期表与现在看到的元素周期表有很大差异——当然，这张表上是不会包含这些“隐士”们的。

此时的本生已经是一位白发苍苍的老人了，在发明了光谱仪之后，他还不忘将自己的心得传授给自己的弟子们，希望弟子们将他的光谱分析法继续传承下去。在众多弟子中，有一位将成为稀有气体发现史上的主角之一，他便是英国的化学家拉姆塞。

时间很快到了 1894 年，正当拉姆塞准备在他所在的领域大施拳脚的时候，看到了英国的物理学家瑞利在刊物上发表了一个研究成果^[5]，声称从空气中分离出的“氮气”，比从亚硝酸铵分解得到的氮气密度大 0.5%，这一结果已经远远超出了误差允许范围。于是，瑞利仿照氧气和其同素异形体臭氧，提出了氮气也具有同素异形体，分子式为 N_3 。不过这一篇文章发表后并没有引起轰动，想必如果没有拉姆塞的话，这篇文章很有可能石沉大海了。

拉姆塞在读完这篇文章后受到了一点启发，立即找到瑞利，想要与他合作来探明这种气体到底是什么。在拉姆塞经过反复试验之后，也得到了大量“ N_3 气体”。不过，当拉姆塞将这种气体通过光谱仪之后，他发现这种气体的发射线竟然有 200 多条，除了氮气本身的谱线外，还有许多从未发现过的谱线。拉姆塞立即意识到了一个问题，这种气体绝不可能只有氮，它里面一定蕴含着更多的元素^[6]。

不过，当拉姆塞准备对这种气体做进一步研究的时候，却发现，这种气体……实在是太稳定了。

首先这种气体不能支持燃烧——氮气尚可以支持镁燃烧，这种气体甚至不能支持比镁更活泼的钠和钾燃烧。而想让这种气体被氧化也绝非易事，用氧气，哪怕是臭氧都无法将这种气体氧化！也就是说，这种气体的稳定性超出了已知任何一种气体。

“我从未见过如此稳定的气体！”在马登的建议下，拉姆塞将这种气体命名为 Argon，中文译作“氩”，意为“懒惰”。

不久之后，已经将这个实验结果发表出去的拉姆塞收到了美国地质学家希尔布朗德寄给他的一封信，信上写到，在加热铀矿石的时候会出现一种极为稳定的气体，怀疑是氩气，请他鉴定。

又是氩气，看来这个家伙无处不在啊。

不过谨慎的拉姆塞还是重复了一下这个实验，当他将铀矿石和酸混合加热后，果然有一股气体冒出来了，经过光谱分析，里面确实含有氩气。正当拉姆塞准备给希尔布朗德回信的时候，他意外地发现，在光谱仪上还有另外一条黄色的线，和钠线完全不重合，或者说，和地球上已经发现的任何一条线都不重合。既然如此，那就是新元素咯，于是拉姆塞将这种元素命名为 Krypton，中文译作“氪”，意为隐藏。

拉姆塞准备将发现新元素的结果发表之前，他找到了克鲁克斯，请求鉴定一下这到底是什么元素。克鲁克斯看到这条线后，感觉自己好像在哪里见到过这条线。于是在查阅资料的时候，他突然看到了一份 1868 的光谱，这不就是当时让桑和洛克耶发现的那个“太阳元素”吗？经过仔细比对，发现确实如此，这组线无论是位置还是强度比例，都与当时发现的“太阳元素”十分接近。克鲁克斯立即给拉姆塞回了电报，将鉴定结果告诉了拉姆塞。于是，“太阳元素”氦在地球上也被发现了，从此氦这种元素不再神秘。而“氩”这个名字，在未来的几年后被拉姆塞给了另一种稀有气体元素。

元素王国

2 号：“栽了。”

18 号：“我也是啊，我就说我肯定藏不住的，毕竟除了 7 号和 8 号大哥之外，我在空气中含量是最多的啊。”

2 号：“我也是啊，原本以为相比于宇宙空间，我在地球上含量很小的。但没想到的是，只要一种元素足够重，它能够源源不断地放出我的核心部分，这个东西被人类称为 α 粒子。尽管大多数重元素都熬不过太长时间，但 92 号不一样，它太稳定了，以至于地球形成到现在这么长的时间里只够让一半的 92 号瓦解。”

18 号：“既然地球人连我都能分离出来，我想咱们的邻居们也不远了吧。”

36 号：“虽然之前一直没和你们交流过，不过我比 18 号大哥稍重一点，含量又不低，估计下一个就是我了吧。”

54 号：“也不知道你们是否知道一件事情，发现 2 号和 18 号大哥的拉姆塞，他在用光谱仪观察 18 号大哥的时候发现竟然有 200 多条线！据我所知 18 号好像没有那么多发射线。所以我猜测，他发现的应该是我们的集合体，这 200 多条发射线，有相当一部分可能是我贡献出来的。”

10 号：“估计我贡献得也不少，54 号主要贡献的是蓝绿色区域的，而橙红色区域的应该是我贡献的吧。不过我可以早在 18 号蒸发出去之前就跑掉，估计拉姆塞是发现不了我的。”

18 号：“也不能这么说吧，毕竟拉姆塞这个人胆大心细，我和 2 号大哥可全栽到了他手上啊。”

2号：“是啊，不过有一件事情大家想到没有？前几年有一个叫做门捷列夫的人，这个人真是厉害，他根据咱们王国里面元素的特点，制定了一张大表，把我们中性格相近或者重量相近的人排到了一起，并且预言了好多人至今没有发现的元素！”

54号：“这……这么说咱们还藏什么啊？藏不住了啊！”

2号：“别急，这张表还不完善，现在人们还正愁把我和18号放哪呢。”

1898年，英国

新的世纪即将来临，物理学界在紧锣密鼓地筹办新世纪的庆祝活动，大家普遍认为物理学的大厦已经建成，后续只需要完成修补工作。在新世纪钟声敲响之际，汤姆生宣布了物理学发展的“两朵乌云”——对黑体辐射的解释引发了人类对微观世界认知的一场巨大变革，而迈克尔逊-莫雷实验让人们再也不用借助一个虚无缥缈的“以太”来解释光的传播，进而引发了人类对于高速世界的探索。

不过此时的化学界仍然是一片欣欣向荣，在1894年拉姆塞发现了氦和氩之后，他就向着新的目标继续进发。为此，拉姆塞和他的学生特拉弗斯还购置了一台制冷剂，尝试将“氩”液化，然后小心地将剩余的氮气、氧气连同氩一起蒸发掉。他发现在这种温度下，仍然有一部分固体怎么也不肯从体系脱离出去。拉姆塞立刻意识到了一个问题，原来制得的“氩”并不是一种气体，这里面可能含有更多的之前没有发现的元素。于是拉姆塞和特拉弗斯连忙测定了这种气体的光谱，发现和以往任何一条光谱都无法对应！一不做二不休，他们当晚就将这种气体的密度和分子量确定了下来，并指出这种元素的原子量应该介于溴和铷之间(当时的元素周期表是按照原子量排序的)。拉姆塞将他原本想给氦的名字给了这种元素，于是一种新的稀有气体被发现了，名字叫做“氩”^[7]。相传二人当天工作到了凌晨，特拉弗斯还差点把他第二天要博士答辩的事情忘在脑后。不过，相比于日后二人的工作来说，博士论文只是特拉弗斯小小的演练而已。

就在特拉弗斯博士论文答辩后一周多的时间里，汉普松为他们送来了液态空气。拉姆塞和特拉弗斯将空气突然减压以液化氩气，然后让氩气缓缓逸出，想借此机会发现空气中的氦气。不过，当他测量最先逸出的那一部分气体的时候，发现它的发射线似乎并不是氦气的发射线，而且这种气体的发射非常明亮，就像明亮的灯光一样。这种明亮的光芒深深刺激着特拉弗斯，他在记录实验现象的时候说道：“由管中发出的深红色强光，已叙述了它自己的身世，凡看过这种景象的人，永远也不会忘记，过去两年的努力，以及在全部研究完成以前所必须克服的一切困难，都不算什么。这种未经前人发现的新气体，是以喜剧般的形式出现的，至于这种气体的实际光谱如何，尚无关紧要，因为就要看到，世界上没有别的东西，能比它发出更强烈的光来。”在二人测定光谱之后，确认了这是一种新的元素，他们将其命名为Neon，中文译作“氖”^[8](旧称氦)，意为“新的”。

既然最先蒸发的气体中没有氦，那就检验一下最后蒸发的气体吧。但由于实验条件所限，二人的工作迟迟没有结果。直到一个月之后，汉普松送来了新仪器，二人用新的仪器制备了大量的液态空气，并逐渐将其蒸发。蒸发到最后的时候，二人检测了一下最后蒸发气体的光谱。结果发现这似乎又是一种新的元素，他们将其命名为Xenon，中文译为“氙”^[9]，意为“陌生”。

至此，所有的非放射性稀有气体均呈现在了世人的面前。从卡文迪许分离出的那种异常稳定的气体，到让桑和洛克耶发现的“太阳元素”，再到拉姆塞将所有气体分离并鉴定出来，总共用了一百多年。至此，稀有气体似乎画上了一个“圆满”的句号。不过，这个句号真的圆满吗？

早在氩和氦发现的时候，科学家们就有一个疑惑。门捷列夫的元素周期表在预测新元素的时候屡试不爽，但偏偏就没有预测出来这些气体。更让人感到困惑的是，这些气体发现了，但在元素周期表中却找不到它们的位置！

拉姆塞大胆猜测，元素周期表中可能有新的一列。他将自己发现的氦和氩归到了这一列中，并且预言可能还会有新的元素。果然，1898年的几个实验证实了他的猜想，氦、氖、氩、氪、氙，它

们便是元素周期表新的一列。由于这些气体既不容易呈现正价也不容易呈现负价，这些气体便有了一个新的名字——0族元素。

元素王国

10号：“哈哈，咱们全栽了！没想到拉姆塞这个家伙还挺聪明，竟然把我从先逸出的那一波气体里面搞出来了。”

18号：“是啊，从我和2号大哥被发现到现在，也就4年吧。然后就在不到一个月的时间里，大家都当不成隐士了。”

10号：“不过，还有一个元素，至今人类没发现。不过也是早晚的事情吧。”

18号：“谁？”

10号：“你见过‘86号’吗？”

18号：“听说过吧，之前听2号大哥说他见过86号，那是在92号分家的时候，2号大哥先是从92号飞出来了，然后剩余的90号又把2号大哥赶出来一次，期间还经历了几次赶走电子的事情。就这样一直到82号，可算是分完了。听说2号在这个过程中见到了86号，但似乎转瞬即逝啊。”

10号：“听说也是咱们家族的一员？”

2号：“还是由我来说吧。大家似乎不能理解，好端端的为什么要分家？大家知道，你们之所以能够生存到现在，都是因为你们这个家族不大，成员之间的吸引力能够维系住这个大家族，不至于让某些成员因为聚在一起而崩掉，也不会因为另外一些成员聚在一起而显得过于不稳定。但一旦成员数目过多，成员之间的维系作用就不足以支撑整个家族，这样的话就需要分家了。像92号这种情况，就是每次会分出来一个我和剩余的大家族，直到新的家族稳定不需要继续分家为止。那么86号也是类似的情况，和92号不一样，86号不如92号稳定，所以大家从来没见过86号。”

10号：“好长的一段故事，那你见过86号？”

2号：“是的，不过转瞬即逝。”

10号：“这也难怪人们发现不了它。”

18号：“这才是‘隐’到极限的隐士啊，自己都把自己隐没了。”

54号：“不过这样有什么意义呢？为了隐藏自身不惜自我毁灭？”

2号：“先不提有没有意义，在我看来，他马上就要隐不下去了。要知道，有92号的地方就一定有86号，因为92号会不断产生86号。既然人们从92号发现了我，发现它也只是时间问题。”

话音刚落，只见一个2号飞奔而来，大家顺着方向看去，有一个又大又重的家伙在步履蹒跚地移动着，看起来很像是84号。

1904年，英国

19世纪结束，20世纪到来。正当人们陶醉于物理学已经完善的时候，德国物理学会的一次报告打断了科学家们的幻想，并在接下来的半个世纪中掀起了一次巨大的变革，这场变革的余波波及至今。做这次报告的人叫马克斯，他还有一个更广为人知的名字——普朗克。

让我们先把目光投向1896年，当拉姆塞正在思考氦和氩应该放在元素周期表哪个位置的时候，法国的一位叫贝克勒尔的科学家发现了铀矿石竟然能使胶片感光。从此掀起了一阵发现放射性元素的狂潮。或许当时的拉姆塞没有想到，几年后的他也会为放射性元素这座大厦再添一砖。

1899年，欧文斯和卢瑟福在研究钍时，意外地发现了一种气体，他们把这种气体命名为“钍射气”。后来人们又对不同的放射性矿物进行了研究，又发现了“镭射气”“锕射气”这样的放射性气体。

此时的拉姆塞，已经是四五种气体的发现者了，他自然会对这些新的“射气”表现出浓厚的兴趣。然而，这种气体的量实在是太少了，他和另一位叫索迪的化学家费尽心思，也只从矿物中获得

了 0.1 mL 的“射气”。如此少量的气体自然是无法测定其性质的。于是拉姆塞一边测定气体的性质，一边想办法拿到更多的“射气”。

1904 年，拉姆塞获得了这种气体的光谱，发现这似乎是一种新的元素，当然，想要确认还需要通过测定其他性质才能说明这一点。这一年对拉姆塞来说是一个重要的年份，因为就在 1904 年，他因为发现了氡气而获得诺贝尔化学奖。

等待是一个漫长的过程，此时拉姆塞的研究兴趣正在发生转变。他已经由之前研究稀有气体转移到对放射化学的研究当中。不过对于这样一位杰出的化学家来说，他无论研究什么，对于这个领域都是一个福音。

1908 年，终于收集到足够多“射气”的拉姆塞测定了这种气体的密度和性质，发现这种“射气”和之前的五种气体一样，也是一个不与现阶段任何物质发生反应的家伙。两年之后，他确认了这种新气体的原子量为 220，正好位于稀有气体的末位。因为该气体有放射性，可以使某些物质发光，故他们将这种气体命名为 *niton*，意为“发光”。后来，这种气体被改名为 *Radon*，中文译为“氡”^[10]。

至此，自然界中存在的 6 种稀有气体全部被发现，而在这个过程中，拉姆塞以一己之力几乎完成了所有气体的发现工作，这不能不说是一个壮举。此后，拉姆塞又在放射化学领域做出了贡献。即使是退休之后也在进行着研究工作。

1916 年 7 月，这位伟大的化学家因鼻癌与世长辞，时年 63 岁。

元素王国

10 号：“人类社会的发展速度够快啊，这才几年，大家全被发现了。”

18 号：“是啊，说不定再过段时间，咱们就能见到一个新的成员了呢。”

2 号：“新的成员？有点意思。不过，比起这件事情我更关心另外一个问题。”

10 号：“什么问题？”

2 号：“就在今年，我听说一个叫杜瓦的人把咱们 1 号大哥变成了液体。”

18 号：“这有什么奇怪的吗？10 号大哥、36 号和 54 号不都是从液态的我里面发现的吗？”

2 号：“不一样，你在 87 K 的时候就能变成液体，至于变成固体的温度比 7 号和 8 号都要高。但 1 号不一样，它是所有稳定分子里面最轻的，一般来说越轻越难变成液体……”

18 号：“这么说人们具有了把任意一种气体变成液体的技术？”

2 号：“非也，虽然 1 号大哥最轻，但毕竟他要想形成稳定分子，需要两个原子，所以他的分子实际上是棒状的。但我不同，我的分子是球状的，想要把我变成液体，可要比把他变成液体难得多啊。毕竟，只要温度高于 5.2 K，就是压力再大我也依然是气体啊。”

1908 年，荷兰

昔日生气勃勃的欧洲已经被战争的气氛笼罩，而作为曾经的“海上马车夫”，荷兰也在分分合合中走向衰落。不过，比起剑拔弩张的同盟国和协约国来说，这个位于欧洲边缘的小国幸运地躲过了一战的浩劫。

昂纳斯就是在这样的氛围下进行科学研究的。继英国物理学家杜瓦得到液氢后，昂纳斯也得到了这种液体。这种液体的温度非常低——无论将什么气体放入其中都会立即液化甚至凝固。只有一种气体，在液氢的温度下无论怎么加压都无法使其变为液体，它便是凝固点和沸点都最低的物质——氦。

作为科研工作者，就是要向新的目标继续进发。于是杜瓦和昂纳斯等低温物理学家们表示，一定要将最后的气体——氦液化，完成液化所有气体的壮举！于是，这项马拉松式赛跑开始了。

可是，要将这样一种物质液化谈何容易？很快第一轮实验结果出来了，液氢耗尽，氦气仍然是气体。

难道氦真的是一种“永久气体”吗？亦或是它根本就不存在液态？

不过昂纳斯却不这么想，他认为氦气一定可以被液化，方法也没问题。问题就是液氢的沸点实在太低了，在空气中又很容易挥发。所以一旦将氦气放入，挥发速度过快会使得液氢迅速被耗尽，而温度却降低不了多少。问题的解决既简单也复杂——只需要获得超大量的液氢就可以了。

于是昂纳斯承包了一个厂房，每天的工作就是不断生产大量的液氢。据说当时还有人觉得奇怪，好端端的科学家搞这么大一个厂房，难不成他改行酿啤酒了？

终于，昂纳斯获得了他认为足够量的液氢。于是他将氦气放入其中，先用液氢预冷，然后通过反复膨胀-压缩的方式继续降低氦气的温度。随着氦气的温度越来越低，液氢的量也越来越少。

想必昂纳斯当时一定很焦急，这次一旦失败，就需要用更大量的时间去液化氢气，去收集更多的液氢。但这真来得及吗？

或许是上天眷顾了昂纳斯。当液氢即将耗尽的时候，瓶壁上开始出现小液滴，之后氦气就疾风骤雨般地滴了下来^[11]！

成功了！

兴奋之余，昂纳斯小心地保存了这份液氢的样品，他把液氢装入一个液氢的储液瓶中，又把这个储液瓶放到了装有液态空气的杜瓦瓶中，因为这份样品实在是太珍贵了。后来，他测出了液氢的沸点——4.2 K，接近绝对零度！后来，昂纳斯尝试将一些金属放在了液氢中，发现在温度降低的过程中，电阻会经历一个突然变为 0 的过程。这被称为超导性，昂纳斯也因此成为了超导学之父。

1908 年 7 月 13 日，历史会永远记住这一天，从此以后“永久气体”这个名词永远地成为了历史，任何一种气体，在一定条件下都可以被液化。就在 5 年之后，昂纳斯以液化氦气和发现超导现象而获得了诺贝尔物理学奖。

如果说昂纳斯的一生有什么遗憾的话，那大概就是他没有亲眼见证氦的凝固。就在 1926 年他逝世之后的不久，一位叫索姆的化学家同时增大压力和降低温度，最终让这种神秘的气体变为固态。

元素王国

18 号：“其实被发现了也没什么。你看现在咱们还是该做什么做什么，还是没有元素能塞给我们电子，也没有元素抢我们的电子，当然如果共用电子的话……好像也没有。”

10 号：“是啊。不过，给你讲个有意思的事情，咱们在人类世界里还真有大用了！”

18 号：“有什么用呢？不就是看着咱们不愿意与别的元素打交道，拿我们当保护气用嘛。”

10 号：“也不完全是，你看现在人类世界，街上的灯很明亮啊。人类还把这种灯以我的名字命名为 neon 呢。至于在中国，这个东西一开始就叫氖灯，后来改名叫霓虹灯了。”

18 号：“你这么一说我想起来了，好像除了那个瞬息万变的 86 号之外，人类好像真的把咱们五个都充到灯管里面了。”

54 号：“说起灯的话还是我最有发言权啊，人们用我做成的灯进可用于科研医疗，退可用于照明激光，实乃居家旅行必备神器啊。当然，如果病人想要动手术的话，吸一点我也能让他免得疼死。”

36 号：“哈哈，这世上哪有疼死的人呢？不过我在医院里还真见过你，跟你比起来，我作为一个示踪剂可就没什么用喽。”

2 号：“用途这种事情怎么能少的了我呢？除了充灯管和当保护气之外，人们还因我在水里溶解度小，拿我稀释氧气给潜水员用，说什么这样能防止潜水员得减压病。还有就是，我沸点不是低嘛，人们还用我提供低温环境，把 80 号的电阻都搞没了。”

10 号：“果然还是 2 号厉害啊。不过说到底，咱们作为隐士，自己谈得挺好，真要是和别人做个交易恐怕就没那么容易了。现在咱们的用途还只停留在物理层面啊。”

2 号：“难道你想来点化学层面的？”

10 号：“不敢，我有这心也没这力啊。外面 8 个电子不是挺好的嘛。”

2号：“你这么想倒也有道理，不过，一旦有山高皇帝远的情况发生的话，电子也不一定能保得住啊。”

54号：“我也正想这一点呢。现在人类发明抢电子的东西越来越多了，先是在还没发现我们的时候把9号，也就是拿完电子就不给那家伙，把它的电子给弄出来了。听说他们使用了一种叫做电的东西能够强行剥离电子，你们想想，能让9号松手，那力量得多大？听说他们最近正在研究一种9号和78号组成的物质，竟然抢了8号的电子。”

18号：“你再说一遍？抢是什么意思？”

54号：“一般来说，即使抢电子能力强如9号，在对付某些同样十分想获得电子的物质时都会二者共用，不会把电子完全据为己有——当然它也没这能力。但9号和78号组成的物质不一样，听说人类把它制出来之后，通入8号之后体系竟然迅速变色。一看才知道，从来都是抢别人电子的8号，电子竟然被别人抢了，而且是实实在在地抢。”

2号：“这有些奇怪，不过据我所知，抢你电子需要付出的代价，似乎并不比抢他电子多啊。”

54号：“或许我隐士的日子到头了吧。”

就在此时，54号突然发现，自己最外面只剩下了7个电子，旁边站着的，有6个9号，而在中间的，正是78号……

20世纪60年代，加拿大

整个世界刚刚经历过两次浩劫——那是一段不堪回首的记忆，法西斯的铁蹄踏遍欧亚大陆，战火使得整个世界变成了一个人间地狱。经历过那次浩劫的人们对现在的生活倍加珍惜。但对于物理学来说，20世纪上半叶是一场科学家们的狂欢，连费曼都说自己若早生20年，也能够像那些大师一样名垂青史。

对于自然的探索将永不停息，只是昔日的科学文化中心欧洲，如今光辉已经暗淡。而北美作为后起之秀，终于在欧洲打得头破血流之后迎来了自己的春天。巴特列特出生于英国，但在加拿大开展了属于自己的研究。他本来研究的是氟化学，但一次机缘巧合，让他在稀有气体的历史上写下了浓墨重彩的一笔。

自稀有气体发现以来，人们就一直想要得到它的化合物。曾有人将稀有气体和氯、溴混合制备卤化物，但别人无法重复。著名化学家鲍林也曾预测存在稀有气体化合物，但后来一直无人能够制得。到了1961年，连鲍林自己也否认了这一观点，并承认八隅体是最稳定的结构，这些气体真地无法与任何一种物质发生反应。

不过此时的巴特列特并没有将这件事情放在心上，因为他的重点是氟化学而不是稀有气体。他将氟气通入 PtF_2 中，得到了 PtF_4 ，随后升高温度想要得到更高价态的氟化物。当然，他如愿以偿地得到了 PtF_5 ，不过此过程还有一个副产物。经过仔细分析鉴定后，巴特列特确认这实际上是 PtO_2F_6 ，由 PtF_6 夺取 SiO_2 中的氧得到。巴特列特发现这种物质能溶于水，在水中竟然检测到了 PtF_6^- ，也就是说，氧实际上是以 O_2^+ 的形式存在的。随后，他制得了 PtF_6 并与氧气混合，同样得到了这种深红色固体。

在此之前，人们从未发现过正价的氧离子。也就是说，氧气的电子被彻底夺走了，而不是与其他原子共用。如今一向抢别的元素电子的氧自己也被抢了电子，这不得不说是个奇异的现象。

然而巴特列特想到的却不仅仅是氧分子丢电子这件事情。在他的记忆中，氧分子和氙的电离能接近。而且假如生成氙化合物，其晶格能也不会比氧化合物低太多。也就是说，如果把 O_2 换成 Xe ，该反应依然可以发生。于是，当巴特列特把 Xe 通入到 PtF_6 气体中时，一股黄色的烟弥漫在了整个容器内。后来，巴特列特对这种固体进行了分析，确认其组成为 XePtF_6 ^[12]，中文名称叫做六氟合铂酸氙。

至此，稀有气体无法形成化合物的固有观念被打破，巴特列特也因此而连续几年被诺贝尔奖提

名。

随后，巴特列特的兴趣开始转向稀有气体化合物，他和几位年轻的科学家制得了氙的氟化物，随后又水解得到了一系列氧化物和酸^[1]。氙的壁垒，终于被攻破了。

此后，科学家们还合成了 $\text{Xe-N}^{[13]}$ 、 $\text{Xe-Cl}^{[13]}$ 、 $\text{Xe-Br}^{[13]}$ 、 $\text{Xe-I}^{[14]}$ 甚至 $\text{Xe-H}^{[14]}$ 等化合物，有关 Xe 的化合物也逐渐发展成为了一门学科。

元素王国

36 号：“最近和谁玩呢？”

54 号：“找我的元素还真不少啊，不过我觉得你们或许也可以放下身段，和别的元素玩一下？”

36 号：“或许真的可以吧，大家听说你能和别人玩之后，也想让我和别人玩玩。不过，我周围的那堆电子还是比较听话的。所以真要说稀有气体界‘交际花’，非君莫属啊。”

54 号：“过奖过奖，不过理论上讲 86 号应该比我更善于交际才对啊。”

86 号：“你说什么？”

36 号：“86 号你总算来了，不过……这家伙怎么丢下 84 号自己跑了……不对……跑的是 2 号啊。”

2 号：“谁跑了？不过你们要想玩一下还没什么，要是我的话……那就难了。啊不对？11 号，你跑到我身边干什么？”

2016 年，中国

50 年的时间足以让整个世界发生翻天覆地的变化，也能让一个落后的农业国成长为全球工业产值最大的国家。中国正在以前所未有的速度向前发展着，在经济上如此，在科技上也是这样。

继氙化合物发现以来，人们也尝试合成其他稀有气体的化合物。但比起氙来说，其他气体化合物的合成显得难度更大，毕竟距离原子核越近，想要将电子剥离出来就越困难。对于氦来说，常温下只有 $\text{KrF}_2^{[1]}$ 相对稳定，而作为氦唯一的化合物，纯净的 HArF 只有在低温下才能够短暂存在。而氖甚至无法与其他元素形成常规化学键，只能形成范德华力分子和极微弱的配位键。

时间很快到了 21 世纪，在中国这片神奇的土地上，有一位叫做王慧田的科研工作者，他带领团队获得了最后一种非放射性元素——氦的化合物^[15]。在高压下，氦与钠形成 Na_2He 的晶体。分析表明，这是一种电子盐的结构。从此以后，除了新发现的那些极为不稳定的元素之外，所有元素都有了属于它的化合物。

元素王国

54 号：“你真的相信我们中存在第七个伙伴吗？”

36 号：“不知道，86 号尚且转瞬即逝，我真的不敢想象下一个伙伴会是什么样子。”

54 号：“无论有没有吧，最近新加入元素王国的那几位大家还没等看清就溜得没烟了，我估计咱们就算有新成员，咱们也见不到。”

话刚说完，36 号和 54 号同时看到有一个东西闪了一下，似乎是 114 号，又像是 118 号。

2016 年，世界

世界并没有因科学而毁灭，反而因科学而更加繁荣。进入了网络时代，人们早已经没有了“信息传输需要时间”的观念——只要有网络，信息就可以从地球的一端迅速传递到地球的另一端。

科学也是这样。元素的发现可以在几天之内尽人皆知——当然这种新闻未必是真的，声称自己发现新元素最后撤稿就撤了好几回了。

但这次不一样，种种迹象表明，第七周期真的满了。

2016年6月8日, IUPAC 宣布了四种新元素的名字, 其中最后一种元素, 也就是预言的第七种稀有气体, 终于有了它的名字 Oganesson^[16], 同时也是为了纪念俄罗斯物理学家尤里·奥加涅相。第二年, 也就是 2017 年, 中国化学会将其译为鰐。

不过, 这种新元素实在太不稳定, 人们无法通过实验的方法得知其化学性质。而理论计算表明, 118 号元素可能不是一种稀有气体, 而真正的稀有气体则是 114 号元素鈇。而计算得到的 114 号元素的性质也表明, 这种物质十分稳定, 和稀有气体性质十分接近。

关于稀有气体的发现和性质, 至此告一段落。

元素王国

2 号: “咱们的家族会不会再添新元素呢?”

10 号: “我们还会有什么新的用途吗?”

18 号: “我倒是更关心我们还有什么化合物。”

36 号: “传统化学键那种希望不大, 我倒是希望能够形成一点像 Na_2He 那样的东西。”

54 号: “如果以后能够发现一些新的理论, 或许我们的结构可以帮助解释吧。”

86 号: “是啊, 稳定岛那个东西一点也不靠谱, 那个 114 号元素还不如……”

2 号/10 号/18 号/36 号/54 号: “你回来……”

2019 年, 世界

繁华城市的街头, 霓虹闪烁。店铺的灯光使得我们的居住地变成了一座又一座的不夜城。偶尔, 我们还能在医院中看到氦、氖和氙的身影。稀有气体给我们带来的便利已经影响到了我们生活的方方面面, 也让我们对现代科技带给我们的便利感到习以为常。人类对于稀有气体的探索历经二百年, 终于让这些“隐士”现身并为人类所用。

人类对于未知事物的探索, 将永不停息……

参考文献

- [1] 刘翊纶, 任德厚. 无机化学丛书·第一卷. 北京: 科学出版社, 1984.
- [2] Cavendish, H. *Philos. Trans. R. Soc. London* **1785**, 75, 372.
- [3] Stepanov, B. I. *J. Appl. Spectrosc.* **1977**, 27 (3), 1099.
- [4] Janssen, J. *Comptes Rendus* **1868**, 67, 838.
- [5] Rayleigh, L.; Ramsay, W. *Philos. Trans. R. Soc. London* **1895**, 186, 187.
- [6] Dohme, A. R. L. *Am. J. Pharm.* **1895**, 547.
- [7] Ramsay, W.; Travers, M. W. *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1898**, 62, 225.
- [8] Ramsay, W.; Travers, M. W. *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1898**, 63, 405.
- [9] Ramsay, W.; Travers, M. W. *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1902**, 71, 421.
- [10] Ramsay, W.; Collie, J. N. *Proc. R. Soc. London Ser. A* **1904**, 73, 470.
- [11] Onnes, H. K. *Comm. Leiden* **1911**, 122, 2.
- [12] Bartlett, N. *Proc. Chem. Soc.* **1962**, 218.
- [13] Bock, H.; Scherer, H.; Tyrre, W.; Naumann, D. *J. Fluorine Chem.* **2006**, 10 (127), 1440.
- [14] Zhu, C.; Tsuge, M.; Räsänen, M.; Khriachtchev, L. *J. Chem. Phys.* **2015**, 14, 142.
- [15] Dong, X.; Oganov, A. R.; Goncharov, A. F.; Stavrou, E.; Lobanov, S.; Saleh, G.; Qian, G.; Zhu, Q.; Gatti, C.; Deringer, V. L.; Dronskowski, R.; Zhou, X.; Dronskowski, R.; Prakapenka, V. B.; Konôpková, Z.; Popov, I. A.; Boldyrev, A. I.; Wang, H. *Nat. Chem.* **2017**, 9 (5), 440.
- [16] Francis, D. *Word Ways* **2017**, 50 (1), 12.