

〔美〕 J. 阿西摩夫 著



从元素到基本粒子

自然科学基础知识 第二分册



科学出版社



科工委802 2 0012017 7

1487
35
012799

期 限 表

从元素到基本粒子

自然科学基础知识 第二分册

〔美〕I. 阿西摩夫 著

何笑松 等 译



科学出版社

1978

内 容 简 介

本分册主要介绍微观世界和物质结构。书中从各种元素在化学性质上所表现的周期性谈起,逐步深入介绍原子和原子核的内部结构、各种基本粒子及它们所具有的波粒二重性,然后讨论人类在不断认识物质本性的基础上对各种自然力的利用,以及各种机器(如蒸汽机、内燃机、核反应堆、电影、电视、激光器等)的发明和改进。

本书可供广大具有中等文化水平的读者阅读。

I. Asimov

ASIMOV'S GUIDE TO SCIENCE

Basic books, Inc., New York, 1972

从元素到基本粒子

自然科学基础知识 第二分册

〔美〕I. 阿西摩夫 著

何笑松等 译

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

西安新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1977年11月第一版

开本, 787×1092 1/22

1978年12月第二次印刷

印张, 9 1/4

印数, 19,651—322,470

字数, 213,000

统一书号 13031·584

本社书号, 855·13—18

定 价, 0.75 元

目 录

第四章 元素	1
元素周期表	1
放射性元素	15
电子	24
气体	46
金属	64
第五章 粒子	76
有核的原子	76
同位素	81
新粒子	91
粒子加速器	103
更多的新粒子	115
在原子核的内部	138
第六章 波	143
光	143
相对论	156
热	170
质量与能量	178
粒子与波	183
第七章 机器	195
火与蒸汽	195
电	202
电器	213
内燃机	220
无线电	231

脉泽和激光器.....	242
第八章 反应堆	250
原子核的裂变.....	250
核弹.....	258
核动力.....	275
放射性.....	279
原子核的聚变.....	287

第四章 元 素

元素周期表

古代的希腊哲学家在处理问题时，大多采用论证和推测的方法，他们曾断言说，大地是由很少几种“元素”或基质构成的。例如，公元前430年左右的恩培多克勒 (Empedocles of Akragas) 认为，这样的元素共有四种，即土、空气、水和火。亚里斯多德在一个世纪以后又提出，天是由第五种元素——以太——组成的。中世纪的炼金术士(他们是古希腊人在研究物质问题上的继承人) 虽然很深地掉进了魔术和江湖骗术的泥坑，但由于他们至少还能处理他们所摆弄的材料，因此能得出一些比古希腊人更精明、更合理的结论。

为了解释物质为什么会有不同的性质，这些炼金术士不但又在这几种元素中增添了几种所谓控制性元素，而且还分别为每一种控制性元素加上了一种特性。例如，他们把汞看作是使物质具有金属的各种属性的元素，并把硫看作是使物质具有可燃性的元素。后来，最杰出的炼金术士、十六世纪的瑞士医生提奥夫拉斯塔 (Theophrastus Bombastus von Hohenheim)，又在这些元素中加上了一个元素——盐，并认为它是使物质具有抗热性能的元素。

炼金术士们认为，只要按合适的比例加进某些元素和取出某些元素，一种物质就会变成另一种物质。比如说，只要在铅这种金属中加进适量的水银，铅就会变成金子。为了寻找把“贱金属”变为金子的方法，炼金术士们一直摸索了好几个世纪。他们在这个摸索的过程中，发现了无机酸和磷这类

比黄金更为重要的物质。

他们所发现的几种无机酸——硝酸、盐酸、特别是硫酸——在炼金实验中引起了一场十分巨大的变革。这些无机酸的强度比以前已知的最强的酸（醋酸）要强得多，使用它们，就可以在不用高温和长时间放置的情形下使物质分解。即使在今天，这类无机酸（特别是硫酸）在工业上仍然有巨大的用途。甚至有人说，一个国家的工业化程度，可以根据它每年的硫酸消耗量来判断。

然而，几乎没有一个炼金术士愿意离开他们所追求的主要方向，而把兴趣移到这些重要的问题上来。其中有一些无耻之徒甚至热衷于弄虚作假，伪称他们会变出黄金，以便从有钱的资助者那里骗取所谓“研究经费”。这就使得这个行业声名狼藉，终于使得“炼金术士”这个名称本身也遭到摒弃。到了十七世纪，人们改用“化学家”这个名称来代替“炼金术士”，炼金术也一步步发展成为一门被称为“化学”的科学。

玻意耳是化学这门科学刚刚诞生时涌现出来的第一批化学家之一，他建立了玻意耳气体定律（参看第三章）。在他1661年出版的《怀疑主义的化学家》一书中，他第一次给元素下了一个明确的新准则：元素是一种基质，它可以和其他元素相结合而形成“化合物”，但把它从化合物中分离出来以后，它便不能再被分解为任何比它更简单的物质了。

但是，玻意耳在什么是真正的元素这一问题上，仍保留了中世纪的观点。例如，他认为金不是一种元素，而是可以通过某种方式由其他金属变成的。事实上，他的同时代人牛顿也是这样，他曾花费了大量时间去搞炼金术。（奥匈帝国的国王法兰西斯·约瑟晚至1867年，还拿钱让人去搞炼金试验。）

玻意耳去世以后，化学工作者开始想弄清哪些物质可以再分解为更简单的物质，哪些物质不可以再分解。例如，卡文迪许曾经指出，由于氢可以和氧相化合而形成水，所以水不可能是一种元素。后来，拉瓦锡又把曾被认为是元素的空气分为氧和氮。这样一来，事情就变得十分明显了：古希腊人所设想的那四种元素，如果按玻意耳所定的准则来判断，就没有一种可算得上是元素。

至于中世纪的炼金术士们所列出的那些元素，那么，其中的汞和硫，按玻意耳的准则，确实可算得上是元素。但是，没有被他们当作元素的铁、锌、铅、铜、银、金等金属和磷、碳、砷等非金属，这时也都被判明是元素；而被提奥夫拉斯塔当作元素的盐，则终于被分解成两种更简单的物质。

要判别一种物质是不是元素，这当然依赖于当时的化学水平。只要某种物质用当时的化学技术还不能加以分解，这种物质就会一直被看成是一种元素。例如，在拉瓦锡的元素表中共有三十三种元素，其中就包括石灰和镁灰。但是在拉瓦锡死后十四年，英国化学家戴维(Humphry Davy)用电流来分解这两种物质，结果把石灰分解为氧和一种被他称为“钙”的新元素，把镁灰分解为氧和另一种被他称为“镁”的新元素。

另一方面，戴维在当时就已经能够指出，瑞典化学家谢勒(Carl Wilhelm Scheele)用盐酸制出的绿色气体并不像人们所设想的那样，是盐酸和氧的化合物，而是一种名副其实的元素，他把这种元素定名为“氯”（这个名词出自希腊文，原意是“绿色的”）。

十九世纪初期，英国化学家道尔顿(John Dalton)提出了一种研究元素的崭新方法。但是，十分令人惊讶的是，

从古希腊人那里可以找到与此相类似的观点,从这一点来说,古希腊人确实为我们提供了一个已被证明也许是在了解物质的本质方面最为重要的论点。

古希腊人曾经展开过这样一场辩论:物质到底是连续的,还是不连续的,也就是说,物质究竟是可以无止境地分成越来越小的质点呢,还是最后将发现它是由一些不可再分的质点所组成的?留基伯(Leucippus of Miletus)和他的学生德谟克利特(Democritus of Abdera)在公元前450年左右就坚持后一种看法。事实上,德谟克利特还给这种不可再分的质点定了名,把它叫做“原子”(意思是“不可再分的东西”)。他甚至还认为,不同的物质是由不同的原子或者不同的原子组合所组成的;只要把这些原子重新安排,就可能把一种物质转变为另一种物质。这种观点今天看来虽然似乎是显而易见的,但在当时则完全不是这样,因而立即遭到柏拉图(Plato)和亚里斯多德的反对。

但是,这种观点在伊壁鸠鲁(Epicurus of Samos)于公元前300年前后所写的讲义中以及在伊壁鸠鲁学派中留存了下来。罗马哲学家卢克莱修就是伊壁鸠鲁学说的著名信奉者,公元前60年左右,他在长诗《物性论》中很具体地表述了原子的概念。卢克莱修的这首长诗经过中世纪一直流传下来,它是印刷术问世以后很快就印出的早期著作之一。

原子的概念从来没有完全被西方学者所遗忘过。在现代科学诞生初期的原子论者当中,最著名的要算是意大利学者布鲁诺(Giordano Bruno)和法国学者加桑迪了。布鲁诺持有很多非正统的科学观点,例如,他认为宇宙是无限的,在这无边无际的宇宙中有许许多多恒星(远方的太阳),而行星就围绕着它们自己的太阳运转。他非常勇敢地阐述了自己这

些非正統的观点，結果在1600年被加上了異教徒的罪名而被活活燒死——他為科學革命獻出了自己的生命。人們為了紀念他，曾用他的名字來命名月球背面的一个隕形山。

加桑迪的观点給了玻意耳很大的启发。玻意耳演示氣體很容易壓縮和膨脹的实验似乎說明，氣體一定是由彼此有很大間隔的質點所組成。由此可見，玻意耳和牛頓都是十七世紀的原子論者。

道爾頓曾經指出，決定氣體性狀的各种規律實際上是可以物質的原子特性的基礎上加以解釋的。（他承認德謨克利特是最先使用“原子”這個名詞的人。）道爾頓認為，每一種元素都代表一種特定的原子，不管這一種元素的数量有多大，它总是由完全相同的原子所組成的。一種元素之所以會不同於另一種元素，是因為它們的原子的性質不相同。一種原子與另一種原子之間的最基本的物理差別，則在於它們的重量不同。例如，硫原子比氧原子重，氧原子又比氮原子重，氮原子又比碳原子重，而碳原子又比氫原子重。

意大利化學家阿伏伽德羅（Amedeo Avogadro）曾用一種辦法把原子理論應用到氣體上，使得它能夠證明，同一体積的氣體，不論它的性質如何，都是由同一数量的質點組成的。這就是著名的“阿伏伽德羅定律”。起初，人們認為這些質點就是原子，但後來終於弄清楚，在大多數場合下，這些質點是一種稱為“分子”的小小的原子團。一個分子如果含有幾個不同種類的原子（例如，水分子是由一個氧原子和兩個氫原子組成的），這個分子就是一個“化合物”分子。

這樣一來，測出各种原子的相對重量——也就是找出各種元素的“原子量”——自然就成為一項十分重要的工作了。可是，靠十九世紀的稱量技術，是甯想把這樣小的原子的重量測定出來的。然而，如果能把人們從一個化合物中分離出

来的每一种元素的重量测定出来，再根据各种元素的化学行为进行推测，就有可能把各种原子的相对重量确定下来。第一个着手有系统地进行这项工作的是瑞典化学家白则里。他在1828年发表了一张原子量表，他的原子量是以下面两项标准作为根据的：1）他任意地把氧的原子量取为100，2）他把氢的原子量规定为1。

白则里这个原子量表在当时并没有立即引起人们的重视，但是到了1860年，在卡尔斯鲁厄召开的第一届国际化学会议上，意大利化学家坎尼札罗（Stanislao Cannizzaro）应用了到那时为止一直遭到忽视的阿伏伽德罗定律，提出了确定原子量的新方法。由于他十分有力地说明了自己的观点，他的观点得到了化学界的赞同。

这时用作标准的已不再是氢的重量，而是氧的重量了，这是因为氧更容易和其他元素相结合（而让它和其他元素相结合，是用普通方法来确定原子量时的一个关键步骤）。由于比利时化学家斯塔斯（Jean Servais Stas）在1850年任意地把氧的原子量定为准确地等于16，因此，氢这个已知的最轻元素的原子量应该大体上等于1（精确值是1.0080）。

从坎尼札罗那时以来，化学家们不断想法越来越精确地测定原子量。就纯化学的方法来说，这项工作在美国化学家理查兹（Theodore William Richards）的测定中达到了最高峰，他自1904年以来，以前人从未达到过的精确度测定了各种元素的原子量。正因为这项功绩，他获得了1914年的诺贝尔化学奖。此后，人们又根据在原子的物理结构方面的一些新发现，对理查兹的原子量数据作了修订，并得出了更为精确的数据。

在整个十九世纪中，尽管人们在原子和分子方面作了大量工作，而且科学家们也普遍认识到原子和分子是确实存在

的，但是并没有直接证据表明它们是确实存在的东西，而不只是为了方便而臆想出来的抽象概念。有一些相当著名的科学家，如德国化学家奥斯瓦尔德 (Wilhelm Ostwald)，就曾否认它们是实在之物。他认为，它们虽然是很有用的，但并不是“真实的”。

分子的真实性，后来终于通过“布朗运动”而变得很明显。“布朗运动”是苏格兰植物学家布朗 (Robert Brown) 在1827年最先发现的，他注意到，悬浮在水中的花粉会发生不规则的运动。起初，他曾以为这种现象的出现，是由于花粉有生命的缘故，但是后来发现，同样微细的、完全没有生命的染料质点也会发生这样的运动。

1833年，有人第一次提出，这种运动之所以会发生，是由于质点受到了周围水分子的不均衡的撞击。对于大一点的物体，从左右两面撞击它的分子的数量即使稍有不同，也不会引起这种现象。但是，对于极微小的质点，当它们每秒钟也许只受到几百个分子的撞击时，只要某一边的分子稍稍多几个，就会引起可以觉察出的无规运动了。因此，质点的这种不规则运动是水的粒子性，同时也是物质普遍具有的粒子性的一个几乎可以看得见的证明。

爱因斯坦曾对布朗运动的这种论点作了理论分析，并指出怎样根据染料质点的这种无规运动的程度来计算出水分子的大小。1908年，法国物理学家佩林 (Jean Perrin) 研究了水中的质点在重力作用下往下沉的情况。他发现，这样的下沉被来自下面的分子碰撞所抵消，因此，布朗运动是和重力的吸引相抵消的。佩林应用他的这项发现，根据爱因斯坦研究出的方程计算了水分子的大小，这样，就连奥斯瓦尔德也不得不放弃他原来的看法了。佩林就因为这项研究获得了1926年的诺贝尔物理学奖。

原子也同样逐步从带有半神秘性的抽象变成了几乎可以看得见的东西。的确，我们今天可以说，人类终于“看到”了原子，这是借助于宾夕法尼亚州立大学的米勒（Erwin W. Mueller）1955年所发明的“场离子显微镜”而实现的。米勒的装置能够从一个极细的针尖上打出一些正离子，并把它们射到一个荧光屏上，让它们产生一个放大五百万倍的针尖像。结果，这个像果真使组成针尖的一个个原子呈现为很小的光点。这项技术后来又经过了改进，可以得到单个原子的像。1970年，美国物理学家克鲁（Albert Victor Crewe）报道说，他已经借助于扫描电子显微镜观测到单个的铀和钍原子。

随着元素数目在十九世纪的增多，化学家们开始感到他们像是迷失在一座茂密的丛林中。每一种元素都具有不同的特性，他们找不到依据把这些元素按顺序排列成一个表。由于科学的精髓就在于要从表面的杂乱中理出秩序来，所以科学家们一直想从元素的特性当中找出某种规律来。

1862年，即在坎尼札罗把原子量确定为化学上的一个重要的研究手段以后，法国的地质学家比古耶·德尚库图瓦（Alexandre Emile Beguyer de Chancoutois）发现，如果按原子量递增的顺序把元素排列成表的形式，他能使性质相似的元素处在同一栏内。两年以后，英国化学家纽兰兹（John Alexander Reina Newlands）也独立地得到了同样的排列方案。但是，他们两人的工作不但没有得到重视，反而遭到了人们的嘲笑。他们的研究成果在当时都没有能够得到发表。许多年以后，即在元素周期表的重要性得到普遍承认以后，他们的论文才得以发表。纽兰兹甚至还因此而获得了勋章。

俄国化学家门捷列夫终于从杂乱无章的元素迷宫中理出了一个头绪。1869年，他和德国化学家迈耶(Julius Lothar Meyer)提出了一个元素表，他们的元素表的主要点基本上同德尚库图瓦以及纽兰兹的相同。但是，因为门捷列夫比他们具有更大的勇气和信心来宣扬他的观点，所以，他的观点得到了人们的承认。

首先，门捷列夫的“周期表”（其所以称为周期表，是因为在这个表中化学性质相同的元素周期性地重复出现）比纽兰兹的元素表更为复杂，也更接近我们今天认为是正确的东西。第二，当某一元素的性质使它不能按原子量来排列时，门捷列夫就大胆地把它的排列位置掉换一下，他这样做的根据是：元素的性质比元素的原子量更为重要。后来终于证明，他这样做是正确的。例如，碲的原子量是127.61，如果按原子量排，它应该排在碘的后面，因为碘的原子量是126.91。但是在这个分栏的周期表中，门捷列夫把碲提到碘的前面，以便使它位于性质和它极为相似的硒的下面，并使碘位于性质和碘极为相似的溴的下面。

第三点，也是最重要的一点：当找不出任何别的办法使排列不致违背既定的原则时，门捷列夫就毫不踌躇地在周期表中留出空位，并以一种似乎是非常大胆的口气宣布说：属于这些空位的元素将来一定会被发现。不仅如此，他还用表中待填补进去的元素的上、下两个元素的特性作为参考，指出表中三个待填补的元素的大致性状。门捷列夫在这件事上是很幸运的：他所预言的这三种元素全都在他还活着的时候被发现了，因此，他亲眼看到了他所提出的这个体系的胜利。1875年，法国化学家德布瓦博德兰(Lecoq de Boisbaudran)发现了第一个待填补的元素，他把它定名为镓。1879年，瑞典化学家尼尔森(Lars Fredrik Nilson)发现了第

出腹中官素素元前章天唐泰从干共夫同共门家学升国赠

1 氢 (H) 1.008								
3 锂 (Li) 6.939	4 铍 (Be) 9.012							
11 钠 (Na) 22.990	12 镁 (Mg) 24.312							
19 钾 (K) 39.102	20 钙 (Ca) 40.08	21 钪 (Sc) 44.956	22 钛 (Ti) 47.90	23 钒 (V) 50.942	24 铬 (Cr) 51.996	25 锰 (Mn) 54.938	26 铁 (Fe) 55.847	27 钴 (Co) 58.933
37 铷 (Rb) 85.47	38 锶 (Sr) 87.62	39 钇 (Y) 88.905	40 锆 (Zr) 91.22	41 铌 (Nb) 92.906	42 钼 (Mo) 95.94	43* 锝 (Tc) 98.91	44 钌 (Ru) 101.07	45 铑 (Rh) 102.905
55 铯 (Cs) 132.905	56 钡 (Ba) 137.34	57 镧 (La) 138.91	58 铈 (Ce) 140.12	59 镨 (Pr) 140.907	60 钕 (Nd) 144.24	61* 钷 (Pm) 144.91	62 钐 (Sm) 150.35	63 铕 (Eu) 151.96
			72 铪 (Hf) 178.49	73 钽 (Ta) 180.948	74 钨 (W) 183.85	75 铼 (Re) 186.2	76 锇 (Os) 190.2	77 铱 (Ir) 192.2
87* 钫 (Fr) 223	88* 镭 (Ra) 226.05	89* 锕 (Ac) 227	90* 钍 (Th) 232.038	91* 镤 (Pa) 231	92* 铀 (U) 238.03	93* 镎 (Np) 237	94* 钚 (Pu) 242	95* 镅 (Am) 243
			104* 镆 (Mt) 259	105* 镎 (Nh) 288				

元素周期表。表中有网点的格子代表两个稀土族，即镧族和锕族。每一长方格上方的数字代表原子序数

案學外圖勝，年8881，龍火各室明共，素元前林樹將个二
三葉出寫公又 (Clemens Alexander Winkler) 又分寫出第
階升卦前素元个三友育祖。龍火各室明共，素元前林樹將个
孫聯全完平几言順的夫同姓

			5 硼	6 碳	7 氮	8 氧	9 氟	10 氖
			(B) 10.811	(C) 12.011	(N) 14.007	(O) 15.999	(F) 18.998	(Ne) 20.183
			13 铝	14 硅	15 磷	16 硫	17 氯	18 氩
			(Al) 26.982	(Si) 28.086	(P) 30.974	(S) 32.064	(Cl) 35.453	(Ar) 39.948
23 钠	24 铜	30 锌	31 镓	32 锗	33 砷	34 硒	35 溴	36 氙
(Na) 22.990	(Cu) 63.546	(Zn) 65.38	(Ga) 69.723	(Ge) 72.64	(As) 74.922	(Se) 78.96	(Br) 79.904	(Xe) 131.29
37 铷	47 银	48 镉	49 铟	50 锡	51 锑	52 碲	53 碘	54 氙
(Rb) 85.468	(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29
55 铯	56 钡	57 镧	58 铈	59 镨	60 钕	61 钐	62 铕	63 钆
(Cs) 132.905	(Ba) 137.327	(La) 138.905	(Ce) 140.12	(Pr) 140.908	(Nd) 144.242	(Sm) 150.36	(Eu) 151.964	(Gd) 157.25
69 铊	70 铅	71 铋	72 钋	73 铟	74 铊	75 铋	76 铋	77 铋
(Tl) 204.384	(Pb) 207.2	(Bi) 208.980	(Po) 209	(In) 202.97	(Tl) 204.384	(Bi) 208.980	(Bi) 208.980	(Bi) 208.980
79 铂	78 金	80 汞	81 铊	82 铅	83 铋	84 钋	85 砷	86 氙
(Pt) 195.084	(Au) 196.967	(Hg) 200.59	(Tl) 204.37	(Pb) 207.19	(Bi) 208.98	(Po) 209	(At) 210	(Rn) 222
87 铯	88 钡	89 镧	90 铈	91 镨	92 铈	93 铈	94 钍	95 钍
(Cs) 132.905	(Ba) 137.327	(La) 138.905	(Ce) 140.12	(Pr) 140.908	(Nd) 144.242	(Sm) 150.36	(Th) 232.0377	(Th) 232.0377
97 钬	98 铈	99 镨	100 铈	101 铈	102 铈	103 铈	104 钍	105 钍
(Ho) 164.9303	(Er) 167.259	(Tm) 168.9303	(Yb) 173.045	(Lu) 174.967	(Hf) 178.49	(Ta) 180.948	(W) 183.84	(W) 183.84
107 铈	108 铈	109 铈	110 铈	111 铈	112 铈	113 铈	114 铈	115 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
127 铈	128 铈	129 铈	130 铈	131 铈	132 铈	133 铈	134 铈	135 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
147 铈	148 铈	149 铈	150 铈	151 铈	152 铈	153 铈	154 铈	155 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
167 铈	168 铈	169 铈	170 铈	171 铈	172 铈	173 铈	174 铈	175 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
187 铈	188 铈	189 铈	190 铈	191 铈	192 铈	193 铈	194 铈	195 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
207 铈	208 铈	209 铈	210 铈	211 铈	212 铈	213 铈	214 铈	215 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe) 131.29
227 铈	228 铈	229 铈	230 铈	231 铈	232 铈	233 铈	234 铈	235 铈
(Ag) 107.868	(Cd) 112.411	(In) 114.818	(Sn) 118.710	(Sb) 121.757	(Te) 127.60	(I) 126.905	(Xe) 131.29	(Xe

，本圖的結構與凡的表並有具个一量本晶。謝光標的並得能
核的並有具且注，交聯的並有並有以聯而平个各的並
的本晶與凡因是，對順順的並得能並有以聯之本晶。對得
方格右下方的數字是各該元素的原子量。標有星号的元素是放射性的。每一長
的並有果成。本並有並有X于並有本大翻同的並有于並有
。並有並有並有X并金并並有本晶，公應，此成實

二个待填补的元素，并把它定名为钷。1886年，德国化学家温克勒（Clemens Alexander Winkler）又分离出第三个待补的元素，并把它定名为锿。所有这三个元素的性状都和门捷列夫的预言几乎完全相符。

X射线的发现为周期表的历史开辟了一个新的时代。1911年，英国物理学家巴克拉（Charles Glover Barkla）发现，当X射线被金属散射时，散射后的X射线的穿透本领会随金属的不同而迥然不同；换句话说，每种元素会产生它自己的“标识X射线”。巴克拉曾由于这一发现而获得1917年的诺贝尔物理学奖。

但是，当时还不清楚X射线究竟是一束流动的质点呢，还是像光线一样，是一种类波辐射？检验这一点的方法之一，是用一个有一系列很细的刻痕的衍射光栅，看看X射线是否会被这种衍射光栅所衍射（亦即是否会被强制改变方向）。但是，为了使X射线能很好地衍射，刻痕之间的距离就应该大体上等于辐射波的波长。过去所能制备的间隔最小的刻痕只能用来检测普通的光，但是根据X射线的穿透本领来判断，如果它果真是波的话，它的波长就应当比普通光的波长短得多。因此，一般的衍射光栅是不适于进行X射线的衍射实验的。

但是，德国物理学家劳厄（Max Theodore Felix von Laue）想到，晶体是一种天然的、比任何人造衍射光栅都细得多的衍射光栅。晶体是一个具有整齐的几何形状的固体，它的各个平面都以特定的角度彼此相交，并且具有独特的对称性。晶体之所以会有这种明显的规则性，是因为构成晶体的原子是按照一定的规则排列的。有理由认为，一层原子和下一层原子之间的间隔大体上相当于X射线的波长。如果事情确实如此，那么，晶体就应当会使X射线发生衍射。