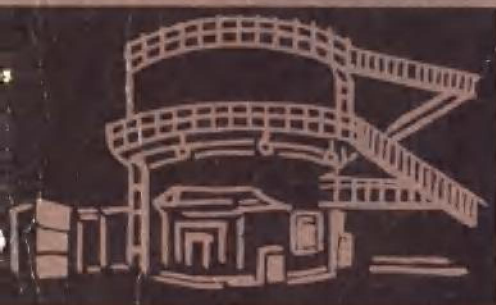
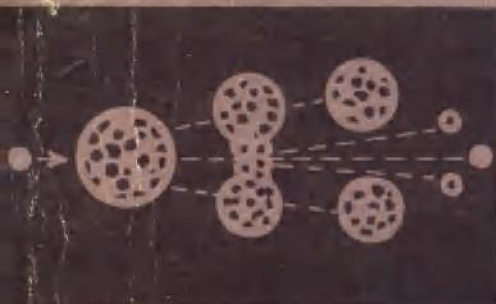


盛正直 编著

铀

最重的天然元素



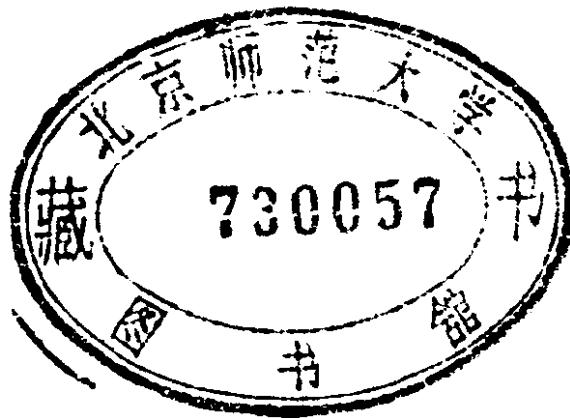
科学普及出版社

铀

最重的天然元素

盛正直 编著

541/90/19



科学普及出版社

内 容 提 要

本书以铀为主题，以最重的天然元素这一特殊性为线索，首先介绍了铀、放射性现象和铀核裂变现象的发现及其重要应用——核反应堆和原子弹；接着有重点地介绍了铀作为天然时钟在地球科学中的应用和饶有趣味的化石反应堆；最后简要地阐述了超铀元素和超重元素问题。

封面设计 陈 德 宝

绘 图 李 淑 英

铀

最重的天然元素

盛 正 直 编著

*

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

沈阳新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米1/32 印张：3³/₈ 字数：71千字

1980年10月第1版 1980年10月第1次印刷

印数：1—4,500册 定价：0.31元

统一书号：13051·1124 本社书号：0141

前 言

我们生活在物质世界里。无论是手头的书本还是周围的空气，无论是娇艳的花朵还是坚硬的岩石，无论是顶天立地的珠穆朗玛峰还是浩瀚无边的太平洋，以至地球、月球、太阳，……这宇宙万物，无不是由化学元素构成的。

随着科学技术的发展，已知的化学元素数目在不断地增加，目前业已达到 107 种之多。翻开周期表，在化学元素的长长行列中，排在第92号位置的是最重的天然元素——铀。

铀在1789年就被发现，但此后一百多年，却一直默默无闻。1896年铀放射性现象的发现，揭开了人类探索原子核秘密的序幕，铀开始在科学史上放射出异样的光彩。

不过，本世纪四十年代以前，铀的实际用途仍是极其有限的，只是在玻璃和瓷器工业中（用作着色剂），或是在电子管制造业中（用作除气剂），有一些无关紧要的应用。

1938年底，铀核裂变现象的发现，打开了大规模释放原子能的大门，迅速地导致了核反应堆的建造和原子弹的制成，并建立起独立完整的原子能工业体系。从此，铀的名字变得响亮起来。最重的天然元素铀终于成了举足轻重的最重要的元素之一。

尤其值得一提的是铀-235这一个铀同位素，它是唯一天然存在的裂变物质，是原子能世纪的“核火种”。没有它，直到今天，甚至今后很长一段时间，将没有反应堆，没有原子弹，也没有氢弹；由于它，科学技术和人类生活才进入了

一个新的时代。

作为一个天然放射性元素，铀还是一架优良的天然时钟和一个重要的地球内部能源；作为一个最重的天然元素，它又是超铀元素这一新兴科技领域的根基。

我们希望通过本书，使读者能对铀的特性及重要应用有一个概括的了解，并能从发现史中得到某些有益的启示。但由于水平所限，未必能如愿以偿。我们愿意用伟大导师马克思的至理名言与读者共勉：“在科学上没有平坦的道路可走，只有那不畏劳苦沿着陡峭山路攀登的人，才有希望到达光辉的顶点。”

在本书编写和修改过程中，曾得到许多同志的热情鼓励和切实帮助，在此表示衷心的感谢。

目 录

1. 化学元素中的“天王星”	1
2. 原子能世纪的曙光	8
3. 放射性衰变系列	14
4. 铀核的裂变	26
5. 链式反应	36
6. 核反应堆	47
7. 原子弹	56
8. 铀的提炼	67
9. 优良的天然时钟	73
10. “化石”反应堆	81
11. 比铀还重的元素	90

1. 化学元素中的“天王星”

德国南部出产一种矿物，从十八世纪上半叶起，就有许多矿物学家试图对它进行分类，但意见很不一致。有的认为它是锌矿，有的则把它归入铁矿。1781年发现了新元素钨以后，还有人认为这种矿物中含有钨。

1789年，德国化学家克拉普罗特（图1）对这种矿物进行了全分析。他用硝酸处理这种矿物，得到一种黄色溶液。向这种溶液中加入“钾碱”进行中和时，便析出一种黄色沉淀。沉淀物的性质与所有已知元素相应化合物的性质很不一样，所以克拉普罗特认为它是一种新元素的“氧化物”。



图1 德国化学家克拉普罗特

于是，克拉普罗特将这种“氧化物”与碳放在一起，加热到很高温度，企图把这种“氧化物”还原成金属。他确实得到了一种金属态的黑色物质。这种黑色物质的化学性质与所有已知元素的化学性

质不同，因此克拉普罗特认为自己发现了一种新的元素。

1789年9月4日，克拉普罗特报告了自己的发现，题目是“乌拉尼特 (Uranit) ——一种新的半金属”。他之所以将“新元素”命名为“乌拉尼特”，是为了纪念八年前新行星——天王星 (Uranus) 的发现。

次年，克拉普罗特将“新元素”改称为铀 (Uranium)，他说：“我根据类推法将该新金属的名称乌拉尼特改为铀。”铀的历史就这样开始了。

这种“新元素”的发现，确实引起了许多化学家的兴趣，不少人对它进行了研究。但实际上，“新元素”不是元素而是化合物。在长达半个世纪的时间内，竟没有人认识到这一点。克拉普罗特本人一直到死 (1817年)，仍然深信自己发现并已分离出了铀元素。

曾有少数人对克拉普罗特的结论表示过怀疑，认为“乌拉尼特”可能是一种化合物。例如瑞典著名化学家贝采利乌斯，就曾试图用纯钾来还原“乌拉尼特”，但未成功；同一时期，阿弗维特逊也曾用氢来还原“乌拉尼特”以及铀和钾的一种二元氯化物，但得到的最终产品依然是“乌拉尼特”。

直到1841年，法国



图2 法国化学家佩里戈特

化学家佩里戈特（图2）才揭开了“乌拉尼特”的秘密，证实“乌拉尼特”确是铀的化合物而不是元素铀。

佩里戈特将“乌拉尼特”同碳一起加热，并通入氯气，从而得到一种升华出来的氯化铀晶体。奇怪的是，生成氯化铀所消耗的“乌拉尼特”和氯气的总量竟是化学计算量的110%，而且在气态产物中还含有二氧化碳。这说明，“乌拉尼特”原来是一种金属氧化物^①。

证实这一结论的实验有很多。例如，使四氯化铀水解，得到的产物是“乌拉尼特”和氯化氢，这表示“乌拉尼特”是化合物而不是元素。

为了得到元素铀，佩里戈特采用的也是钾还原法。但他是还原四氯化铀，而不象贝采利乌斯那样还原“乌拉尼特”。

佩里戈特将四氯化铀同钾一起，放在白金坩埚中加热。因为需要将反应物加热到白热状态，所以这是一个有危险的实验。为了谨慎起见，他把一只小白金坩埚放在一只大白金坩埚里，当小坩埚中的物质开始反应的时候，便立刻把火源熄灭，以免金属钾从白金坩埚中飞溅出来，发生事故。等到激烈的反应变得和缓了，再对白金坩埚加强热，以除去其中所剩余的钾，并使已被还原出来的铀聚结。待到冷却后，用水将其中所含的氯化钾溶解而除去。结果，在留下的黑色残渣中找到了银白色的金属铀颗粒。

至此，一种新的化学元素铀——化学元素中的“天王星”，经过半个多世纪的孕育，才真正诞生了。

^① 事实上，因为“乌拉尼特”是二氧化铀，所以上述化学反应的方程式为： $UO_2 + C + 2Cl_2 = UCl_4 + CO_2$ 。消耗的“乌拉尼特”和氯气的总量，当然比生成物四氯化铀的重量要大。如果“乌拉尼特”是元素，则消耗的“乌拉尼特”和氯气的总量，就应和生成物四氯化铀的重量相等，产物中也不应有二氧化碳存在。

1789年克拉普罗特发现含铀化合物“乌拉尼特”的时候，已知的化学元素还只有25种；但是到1841年佩里戈特制得真正的元素铀的时候，已知元素的数目已经增加到55种。

这么多的元素，重量有轻有重，性质千差万别，真好似一团乱麻。但是化学家深信物质世界是秩序井然的，因此他们一直试图透过表面的混乱现象，从元素的特性中找出某种内在的规律性来。

1869年，已知化学元素的数目已经增加到62种，俄国化学家门捷列夫终于在前人工作的基础上，把当时象一团乱麻似的杂乱无章的元素理出了一个头绪。他发现，随着元素原子量的增加，元素的性质呈现出明显的周期性变化。这就是著名的元素周期律。两年后门捷列夫加以充实改进的周期表（图3），已经达到了成熟的程度，与现代的周期表已相差无几了。

在编制周期表时，门捷列夫认为，元素的性质比它的原子量更为重要，因此，当某一元素的性质使它不能按原子量排列时，他便不顾当时公认的原子量，大胆地把它的位置调换一下。例如碲和碘的原子量，当时测定的值分别是128和127，如果按原子量排列，碲应该排在碘的后面。但是门捷列夫把碲提到碘的前面，以便使它位于性质与它非常相似的硒的下面，并使碘位于性质与碘非常相似的溴的下面。

门捷列夫坚信自己已发现了一条最基本的自然规律。因此，为了使排列不违背既定的原则而又没有别的解决办法时，门捷列夫就毫不犹豫地周期表中留出一些空位。门捷列夫指出，这些空位的元素将来一定会被发现，并预言了这些元素的性质。在轻元素中，他断定将来一定会发现原子量大约等于44、68和72的三种元素：类硼、类铝和类硅。

排	族 I	族 I	族 II	族 IV	族 V	族 VI	族 VII	族 VIII
	— R ₂ O	— RO	— R ₂ O ₃	RH ₄ RO ₂	RH ₃ R ₂ O ₅	RH ₂ RO ₃	RH R ₂ O ₇	— RO ₄
1	H = 1							
2	Li = 7	Be = 9.4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
3	Na = 23	Mg = 24	Al = 27.3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35.5	
4	K = 39	Ca = 40	— = 44	Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63
5	(Cu = 63)	Zn = 65	— = 68	— = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	
6	Rb = 85	Sr = 87	? Yt = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	— = 100	Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
7	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125①	I = 127	
8	Cs = 133	Ba = 137	? Di = 138	? Ce = 140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	? Er = 178	? La = 180	Ta = 182	W = 184	—	Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
11	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208	—	—	
12	—	—	—	Th = 231	—	U = 240	—	—

图 3 门捷列夫于1871年修正的元素周期表

① 一位科学家，无论多么伟大，有时也难免会犯这样那样的错误。门捷列夫也不例外，他在1871年修正的周期表中，把铈的原子量128改成了125，这是不符合客观实际的。

科学理论对实践有着巨大的推动作用。在随后的十五年中，在门捷列夫还活着的时候，这三个未知的元素——钷、镱和镱——就相继被发现了，它们的性质几乎与门捷列夫预言的完全一样。元素周期律取得了决定性的胜利。

门捷列夫在制订周期表时，还根据元素的性质，并考虑到周期表中的可能位置，校正了一些元素的原子量。其中就包括铀。

铀的原子量，佩里戈特等测得的数值是 120。按照这一当时公认的数值，铀应该排在锡（原子量为118）和铟（原子量为 122）之间。但是周期表中锡和铟是连续排列的，中间没有空位，而且按照铀的性质，它也不应该排在这个位置上。

门捷列夫相当准确地将铀的原子量加大了一倍，即加大为 240，这样就使铀排在了比较正确的位置，同时也使铀成了最重的元素（见图 3）。

虽然后来随着新元素的不断发现，一直到锕系理论确立之后，铀才排到了更为合适的位置——锕系元素的第三个成员，但在当时，门捷列夫校正了铀的原子量，确立了铀的最重元素的地位，无疑是一个杰出的成就。

1886年，齐默尔曼测得铀的原子量约为 240，从而证实了门捷列夫从理论上对铀原子量所作修改的正确性。

各种元素在周期表中按原子量依次排列，每种元素编有一个序号，称为原子序数。铀排在第92号位置，因此是92号元素。1913年，莫斯莱应用X射线测定了原子核所带的正电荷的数目，进一步发展了元素周期律。这一工作指明了周期律的真正基础不是原子量，而是原子的核电荷数或核外电子数，同时证实了，原子的核电荷数或核外电子数在数值上正

好等于原子序数，从而最终确定了铀是92号元素，并且是当时已知的最重的元素。

铀作为最重的元素，其地位是很特殊的。人们往往习惯于一般而敏感于特殊。早在1871年，门捷列夫就在一篇关于铀的文章中写道：“在所有已知的化学元素中，铀的原子量最大。……我深信，研究铀，从它的天然来源开始，一定会导致许多新的发现。我大胆地建议寻求新的研究课题的人，特别认真地去研究新的铀化合物。”

虽然，铀作为最重的天然元素的意义，只有在人们深入到物质的更深层次，即从分子、原子深入到原子核的时候才能显示出来——门捷列夫处在他那个时代是无法预见的，但是，门捷列夫首先注意到铀作为最重元素的特殊性，无疑是有了一定先见之明的。

2. 原子能世纪的曙光

1895年，德国物理学家伦琴在研究克鲁克斯管中产生的放电现象时，发现了一种奇妙的射线。这种射线肉眼看不见，但能使照相底片感光，使荧光物质发出荧光，并能象普通光线透过玻璃那样透过黑纸、衣服、甚至金属薄片。伦琴为了强调他自己还不能确定这种奇妙射线的真正本质，就把这种射线叫做X射线。

X射线的发现，轰动了当时整个科学界，许多科学家立刻着手对这种射线进行详细的研究。科学杂志上出现了许许多多关于X射线的文章。在匆忙和激动之下，有些研究者竟以为他们自己也发现了其它的新射线，什么“Z射线”、“黑光”之类的报告竞相发表。X射线的狂热，笼罩着整个欧美大陆的所有科学实验室，人们到处都在议论奇妙射线的神秘性质。

X射线的热潮把法国的一位物理学家兼数学家波因凯也卷了进去。当波因凯得到一本载有伦琴叙述自己关于X射线发现过程的杂志时，他为其中的一个细节感到十分惊讶。伦琴指出：在克鲁克斯管中，X射线正是发生在受到电微粒流冲击的地方，那里发出的荧光也特别强烈。

于是，波因凯推想，既然X射线发生在发出强烈荧光的地方，那么，所有发出强烈荧光的物质或许都能发射这种奇妙的射线，而不单单是通电的克鲁克斯管才能发出吧！

另一位法国学者亨利照着波因凯的想法做了实验。实验竟获得了“成功”。1896年2月10日，他在法国科学院宣读了一篇论文，声称荧光材料硫化锌能产生X射线，使照相底片感光。

一个星期后，又有人报告说，荧光材料硫化钙被太阳光照射时，也能产生一些穿透性射线，透过黑纸而使照相底片感光。

但这些结果都是错误的，未能经得起验证。

这时，专门研究荧光现象的法国物理学家贝克勒耳（图4），也着手探索荧光物质能否发射X射线的问题。他试验了许多荧光物质，得到的结果都是否定的。但是贝克勒耳是幸运的，当他用自己十五年前制备的硫酸铀酰钾晶体进行试验时，终于得到了肯定的结果。



图4 法国物理学家贝克勒耳

2月24日他报告说：“在太阳光直接照射下，薄层硫酸铀酰钾晶体在几小时的过程中，放出一种穿透性射线，它透过黑纸而使照相底片感光。若在铀化合物和黑纸包着的照相底片之间放一块金属薄片，则这一部分不能感光而留下了金属片的像。”

贝克勒耳还发现，散射的太阳光也能使硫酸铀酰钾晶体产生荧光，对照相底片也能产生同样的效果。

因此，最初贝克勒耳毫不怀疑自己发现的这种穿透性射线就是X射线，而荧光正是产生X射线的原因。但是，他很快发现自己错了。

2月26日贝克勒耳做实验时，碰巧遇到阴天，铀盐晶体几乎完全没有发出荧光来。他以为这次实验不顺利，便把照相底片和铀盐晶体一起放进了柜子。

四天以后，在做新的实验前，贝克勒耳对这块照相底片是否还能使用没有把握，因此就把它冲洗出来。结果使他大为惊讶，照相底片上竟出现了铀盐晶体的黑影！而且感光度很大。

在黑暗的柜子里铀盐晶体并没有发出荧光，哪儿来的穿透性射线呢？逻辑的推论必然是：即使没有荧光，也有一种东西在对照相底片发生作用。

进一步的研究表明，这种穿透性射线的产生确实与荧光毫无关系。早已知道，铀化合物并不是都能产生荧光的。但是，那些不产生荧光的铀化合物却同样地具有使照相底片感光的本领。将铀化合物长期地保存在黑暗处，它的穿透性射线的强度不会发生丝毫的改变。铀盐的溶液以及在未曝光的条件下从铀盐溶液中析出的晶体，也能放出这种射线。这表明，穿透性射线不可能是由于可见光照射晶体以后，晶体把吸收的能量缓慢地放出来的结果。

实验终于确定了放射穿透性射线是铀元素所固有的特性。这种射线被称为铀射线或贝克勒耳射线。

贝克勒耳发现的铀射线与伦琴发现的X射线有些相仿，它们都能穿过黑纸或不太厚的金属片，对照相底片发生作

用。但是两者之间有着很大的区别。X射线是在极稀薄的气体中放电时产生的，气体的压强大约是一个大气压的百万分之一；在放电的两个电极间需要加上极高的电压，它比我们日常生活中使用的 220 伏电压高数百倍。在这样的条件下，X射线的产生与放电管中所充气体的性质和电极物质的性质均无关。而铀射线则不需要加任何电压，也用不着什么稀薄气体。X射线只是在放电时才产生，而铀射线却时时刻刻都在放射。

铀射线时时刻刻都在自发地放射着！它给人们带来了原子核内部的第一个信息，它是原子能世纪的第一缕曙光。铀在它被发现后沉睡了一百多年，终于被贝克勒耳唤醒，这个最重的天然元素，开始在科学史上放射出奇光异彩。

贝克勒耳发现铀射线以后，很自然使人们联想到：是否还有别的元素也象铀一样能放出这种看不见的射线呢？于是对所有元素进行普查便成了必然的趋势。

当时，原籍波兰的法国女科学家玛丽·居里 大学刚毕业，对贝克勒耳发现的现象特别感兴趣，于是就决定把它作为自己的第一个研究课题。

要对看不见的射线进行研究，就要有一种探测射线的仪器。当时一般是使用照相底片进行探测的，但这种方法很麻烦，而且灵敏度也不高。于是玛丽·居里的丈夫皮埃尔·居里设计了一种灵巧的射线探测仪。这种仪器实际上是一种验电器。测量时，只要把待测样品放在验电器的平行金属板电容器之间，然后观察验电器的指针是否摆动，便可知道样品中是否含有放出看不见的射线的物质。

居里夫人有了这种灵巧的仪器，就可以方便地进行研究工作了。她小心翼翼地测量着她所能得到的每一种化学物质，