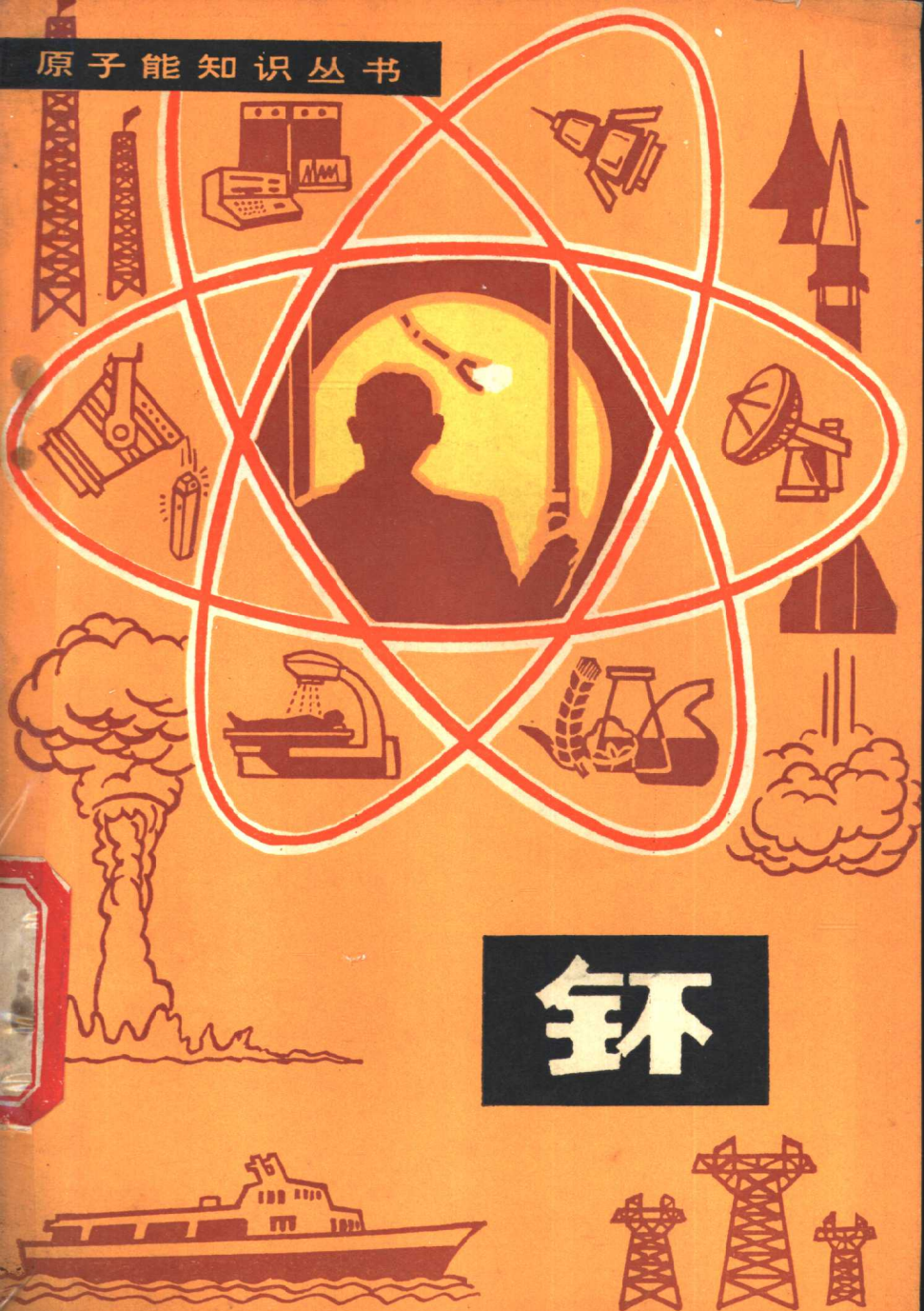


原子能知识丛书



钚

原子能知识丛书

钚

威廉·N·迈因纳 著

童欣译

原子能出版社

怀

威廉·N·迈因纳 著

童欣 译

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

张家口地区印刷厂印刷

(张家口市建国大街8号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 2 · 字数41千字

1980年2月张家口第一版·1980年2月张家口第一次印刷

印数001——5300·定价：0.24元

统一书号：15175·204

出版说明

一提到原子能，就要和不可捉摸的放射性联系在一起，一些人往往望而生畏，敬而远之，这说明原子科学领域对于许多人还是陌生的。其实原子能既不可怕，也不神秘，它在我们的生活中正在起着愈来愈大的作用。

为了介绍原子能的基本知识和应用情况，我们有选择地翻译出版美国当代原子能学者和专家编写的原子能知识丛书（Understanding the atom series）。这套丛书取材广泛、内容丰富、语言生动、深入浅出，具有中等文化水平的读者，花一些气力，读懂它是不成问题的。

随着科学技术的急速发展，书中引用的有些材料已经过时，但是这些材料对于理解基本概念还是有价值的。

目 录

引言.....	(1)
钚的自然性质	(2)
一种人造金属	(2)
在元素中的位置	(2)
钚的同位素	(2)
裂变	(4)
钚的发现	(6)
指路	(6)
发现	(7)
新元素的命名	(8)
早期的工作	(8)
第一批金属钚	(10)
进一步的研究	(10)
反应堆钚	(10)
钚实验室	(11)
钚的形成	(11)
核反应	(11)
自然界中的钚	(14)
钚的生产	(15)
冷却期	(15)
分离	(15)
还原成金属	(18)
金属加工	(19)
钚的性质	(20)

核性质	(20)
化学性质	(22)
物理性质	(23)
钚的用途	(29)
核反应堆	(29)
同位素电池	(34)
中子源	(34)
阈探测器	(35)
超钚元素	(35)
热核爆炸	(35)
钚的操作	(35)
临界状态	(36)
预防措施	(36)
毒性	(37)
词汇表	(44)

引 言

设想有一种物质，它荷载着巨大的能量，一磅这种物质能够产生相当于两千万磅梯恩梯炸药的爆炸威力。我们还可以设想，这种物质又是一种重要的能源，甚至以现有的知识水平来看，将来世界上常规燃料资源如煤和石油用尽之后，它可用来长期地满足人类对能量的需求。我们再为这种物质构想一些奇妙的性质。例如，在某些条件下，它几乎象窗上的玻璃那样既硬又脆；而在另一些条件下，却似铅一般柔软可塑。在空气中加热时，它不仅会燃烧，而且很快地碎成粉末；在室温下置于空气中，它也会慢慢地蜕变。同时，允许它的原子连续不断地变成完全不同元素的原子，其变化速度很慢，要经过好几千年后才有一半物质变成新元素；但是，这一反应的速度又相当快，它产生的热量足够使这种物质温暖你的手。最后，假想这种物质比毒气室中的氰化物或侦探小说中谋杀所用的毒物还毒得多，但是人们天天操作它时却安然无恙。

大约三十年前，这样的一种物质仅存在于科学幻想小说作家的想象中。而今天，我们已经知道它是一种真实的元素，这就是钚。

钚是什么东西？它是怎样被发现的？又是怎样形成和制造的？它的性质如何？它有何用处？人们又是怎样操作它呢？这本小册子不打算对这些问题给出完整的回答，但是将作些简明的阐述。书中所用的某些专门名词，在其出现的页下加注说明，或列于书后的词汇表里。

钷的自然性质

一种人造金属

钷是第一种以可见量制造的人造元素。(佩里埃和西格雷于1937年发现的镨，是公认的第一种人工制造的新元素。)

钷是一种重金属元素(密度约为铁的两倍)。新制出而尚未侵蚀的钷，表面光亮，外观似银，但暴露在空气中很快就失去光泽。虽然大多数金属都是电和热的良好导体，但钷却不然。钷的电导率(导电的能力)和热导率(导热的能力)都非常低，仅为银的百分之一左右。

在元素中的位置

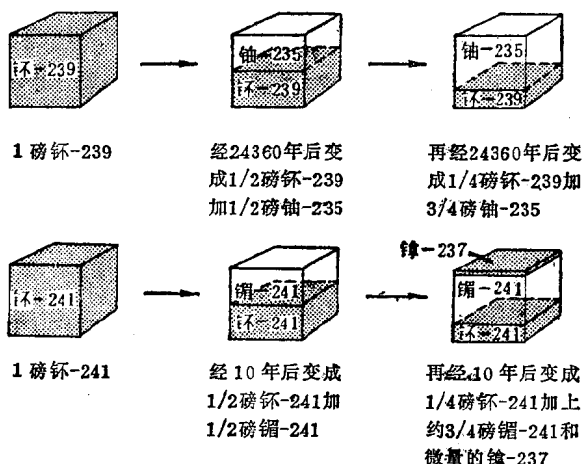
钷是一种放射性元素。它的原子序数为94，从它在元素周期表里的位置可以看出，它是锕系元素系列中的第六个成员。该系列的第一个成员是锕，原子序数为89。钷也是“超铀”元素之一，因为它的原子序数高于铀(原子序数为92)。凡是原子序数大于92的元素，都是通过嬗变(从一种元素转变成另一种元素)由人工制造出来的。

钷的同位素

钷的同位素*已知的有十五种，它们的原子量从232到

* 一种元素的各种同位素具有相同的原子序数，不同的原子量。

246. 所有这些同位素都是放射性同位素，它们依据各自的衰变序列自发地衰变，最终形成稳定的元素，例如铋或铅。虽然所有钚同位素的化学性质几乎相同，但它们的放射性蜕变速率却大不相同。例如，钚-233同位素的半衰期约为20分钟，而钚-244同位素的半衰期却长达7600万年。目前，钚-239是最重要的同位素，因为它不仅容易裂变，同时半衰期相当长（24360年），而且能够大量制造，以供实用。



两种钚同位素的半衰期*

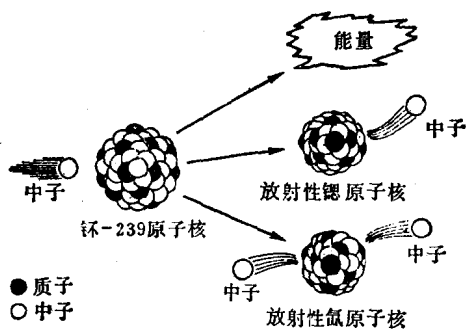
钚-235的半衰期很长，超过七亿年，它能衰变成钍-231。即使过了48720年（钚-239的两个半衰期），也只有万分之一的钚-235变成钍-231。

钚-241的半衰期为500年，能衰变成镅-241，因此，只需20年（钚-241的两个半衰期），便可用仪器探测到与钚-241及钚-241同时存在的微量镅-241。

* 为了简便起见，叙述时未考虑母体元素与子体元素的重量和体积的变化。同时也未表示出子体元素形成时衰变的情况。

裂 变

铀具有可裂变的性质，因而它是一种重要的核能源。当一个中子撞击一个铀-239原子核，并被核吸收（而不是一擦而过）时，该原子核分裂（或裂变）成两个不同元素的原子，新形成的每个元素的原子序数大约为铀的一半。（例如，分裂成锶和氙，或者分裂成钡和氪。）同时，从铀原子核内放射出二、三个中子。这些新的中子又能被其他的铀原子核吸收，再引起分裂，并放出更多的中子。如此进行下去，反应急剧增强，于是构成了核链式反应。除非所有的铀原子全已用尽，或者中子被某些其他物质所俘获或中子逃逸出系统致使中子不再与铀原子反应，否则这种链式反应将继续进行下去。



铀-239的裂变

当一个铀-239的原子核俘获一个中子时，它裂变（即自身分裂）成两个大小大致相等的放射性原子核，并释放出中子和大量的能量。释放出的能量相当于一个中子及铀-239原子的质量和两个新生成的放射性原子加上放出的中子的质量之差。

在核裂变过程中，巨大的能量以热的形式释放出来。这一能量相当于反应物的质量和反应产物的质量之间的差额。在铀裂变反应中，反应物是铀原子和一个中子，反应产物是新生成的两个原子序数较低的元素原子和若干个中子。由于在这种反应中反应产物的质量总是小于反应物的质量，看起来好像是某些质量损失掉了。但是，依据爱因斯坦的质量-能量方程式，这些质量的差额并非真正损失掉，而是由质量转变成能量。质能方程式为：

$$E=mc^2$$

式中 E 为能量， m 为质量， c 为光速。

我们可以用一些实际数值代替式中以英文字母表示的各个通项，以计算与那些少量物质所相当的数值。例如，假定我们取质量 $m=1$ 克（1常衡盎司的 $1/28$ ），光速 c 以 3×10^{10} 厘米/秒计算。采用一致的单位，能量以尔格*表示；则

$$\text{能量（尔格）} = 1 \text{ 克} \times (3 \times 10^{10})^2$$

$$= 1 \times 9 \times 10^{20}$$

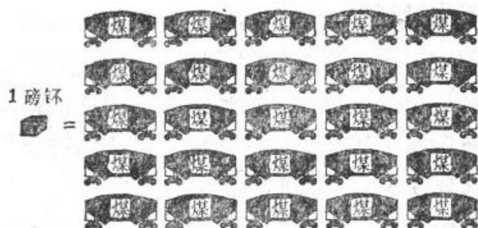
$$\text{能量} = 9 \times 10^{20} \text{ 尔格}$$

这一能量大约相当于 9×10^{10} 英热单位（BTU）**，其热量足以使一个长1英里、宽50码和深13英尺的湖的水温从70°F升到沸点（212°F）！

当原子核能非常快速地释放出来时，就会产生原子爆炸。然而，当核能较缓慢地释放出来，例如在核反应堆内进

* 尔格是量度功的单位。1尔格指1达因的力作用于物体使之移动1厘米距离所作的功。达因是力的单位，1达因表示使1克质量的物体获得1厘米/秒²加速度所需的力。

** 1英热单位指1磅（纯）水温度增加1°F所需的热量。



能量的比较

从一磅铀释放出的核能相当于从三百万磅煤（足够装二十五 个火车皮）获得的化学能。

行反应时，我们就可以控制它，利用生成的热能来进行有益的工作。一磅铀裂变所释放的核能，相当于从大约二千万磅梯恩梯炸药或三百万磅煤所得到的化学能。

铀的发现

指 路

1900—1934年间，核物理学家们曾就超铀元素存在与否这一问题进行了大量的推测，他们当中有许多人根据自己的实验结果判断超铀元素不可能存在。然而，1934年，在罗马大学物理实验室工作的恩里科·费米、阿玛尔迪、阿戈斯蒂诺、弗朗科·雷斯蒂和埃米利奥·西格雷等人发现，经中子照射过的铀产生了若干种放射性物质，他们认为这些物质就是“超铀”元素。在他们的实验中，用一个内充氘气和铍粉的小玻璃管来提供中子，以每秒释放大约一百万个中子的速率照射铀溶液。

在随后的四年间，在柏林工作的科学家奥托·哈恩、莉泽·迈特纳、弗里思·斯特拉斯曼和其他科学家研究了这些假定的超铀元素。1938年，哈恩和斯特拉斯曼成功地证实：虽然这些“新”元素大多数是钡和更轻的元素的同位素，但是有些元素确实是超铀元素。

发 现

对费米的工作继续研究所取得的这一成果，促使许多学者深入探究裂变过程和裂变产物。结果是，在伯克利的加利福尼亚大学工作的埃德温·麦克米伦和菲利普·艾贝尔森，于1940年发现了93号元素——镎，这是人们发现的第一种超铀元素。几个月后，在加利福尼亚大学致力于镎的化学性质研究的阿瑟·沃尔、格伦·西博格和约瑟夫·肯尼迪，又发现了94号元素——第二种超铀元素。他们是在回旋加速器内用中子^{*}轰击铀氧化物进行实验的。（有关回旋加速器和类



*此处原文疑误。据其他资料报道，该实验系用16兆电子伏特的氦核轰击铀氧化物，其合成反应为 $^{238}\text{U}(\text{d}, 2\text{n})^{238}\text{Np} \xrightarrow{\beta^-} ^{238}\text{Pu}$ 。——译者注

似设备的论述，可参见本丛书《加速器》分册。）然后用化学方法将形成的93号元素与剩余的氧化物分离开来并进行分析检验。这时发现，在这份物质中形成了一种发射 α 粒子的放射性物质。根据化学性质来判断，这种新物质不同于93号元素。就在1941年2月23日夜晚，它被确证为94号元素的一种同位素（钚-238）。

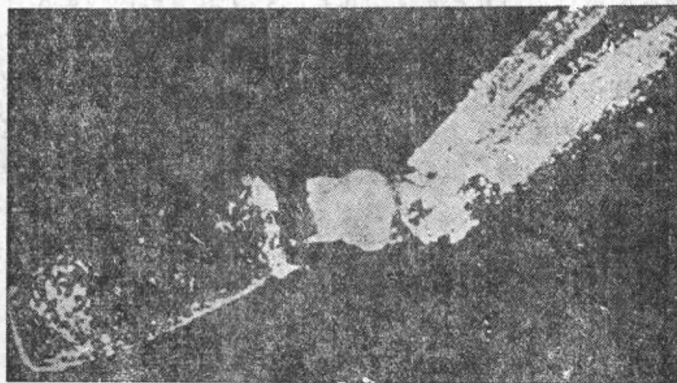
新 元 素 的 命 名

1942年，西博格和沃尔在他们所写的关于94号元素的化学性质的第一篇报告中，建议采用钚（Plutonium）这一名称。这两位科学家认为，以“冥王星”（Pluto）作为第二种超铀元素的名称是合适的，因为冥王星是在太阳系中位于天王星（Uranus）外的第二颗行星，而铀（Uranium）就是取名于天王星。麦克米伦曾提议，93号元素——第一种超铀元素——仿“海王星”（Neptune）的名称取名为镎（Neptunium），因海王星是在天王星外的第一颗行星。西博格他们的建议被采纳了；钚便成为94号元素的正式名称，Pu成为钚的化学符号。

早期的工作

由于考虑到原子能有可能用于军事目的（那时第二次世界大战已经爆发了），因此具有极其重大意义的钚的发现，在当时并没有公开发表，有关镎和钚的化学性质的进一步研究，都是在严格保密的情况下进行的。对钚-239的探索终于成功，理论上的推测得到进一步的证实。1941年3月28日，

在加利福尼亚大学工作的肯尼迪、西格雷、沃尔和西博格等人首次证明，用慢（热）中子照射，铀-235能发生裂变。于是，这种同位素作为核能源的潜在价值被证实了。这一验证表明，裂变过程中放射出的中子能够触发更多的裂变，因而核链式反应就能维持下去。由于取得了实验成果，紧接着就制订了大规模生产有可能用于核武器的金属铀的计划。



这是1942年9月10日首次称量出的铀化合物（2.77微克铀氧化物），放在铂称量舟皿上经高倍放大的照片。照片放大大约20倍。这个铀氧化物看起来象是一种有硬皮的沉淀物（照片左下方），它放在靠近铂称量舟皿的末端；一把钳子紧紧地夹住舟皿的小柄（照片右上方）。

用回旋加速器里产生的中子轰击铀已经制造出微量的铀，通过实验发现，将铀作回旋加速器的靶子，可以制造出微克*量的铀。铀-238原子俘获中子后形成铀-239，尔后经过两次 β 衰变形成铀-235。但是，要生产出所需的大量铀，

*1 微克 = 0.000001克。

用回旋加速器方法是做不到的。

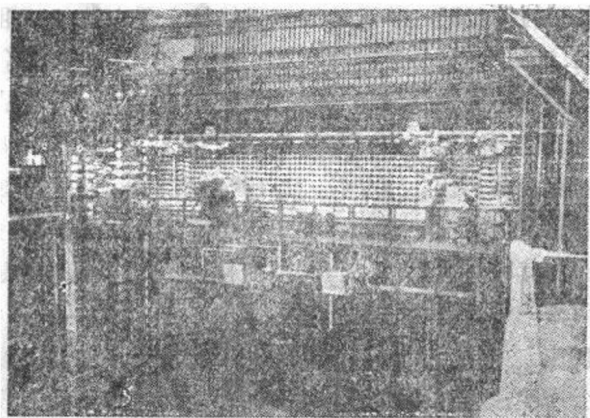
第 一 批 金 属 钚

在没有找到大量制造钚的方法之前，只能利用超微量方法来研究钚化学。在美国芝加哥大学从事实验工作的坎宁安和塞福拉曾设计了一座灵敏度高的天平，可以称出小到0.01微克的重量，而其荷重能力可达0.5微克。至1942年8月，已制造出大约50微克的钚（化合物形式）。1943年11月，用金属钡作还原剂，在真空中与三氟化钚（ PuF_3 ）一起加热到 1400°C ，生成若干个钚金属小球，每个球重约3微克。这就是人们制出的第一批金属钚。

进 一 步 的 研 究

反 应 堆 钚

1942年12月2日，费米及其同事们在芝加哥大学的一个铀-石墨“堆”（pile），亦即栅格装置中实现了自持核链式反应，于是生产实用量钚的问题就解决了。在短短的几个月内，在田纳西州的橡树岭和华盛顿州的里奇兰均建造起生产钚的反应堆；并且在新墨西哥州的洛斯阿拉莫斯制订了研制原子弹的秘密计划——Y计划。随后，又在南卡罗来纳州靠近阿尔肯的萨凡娜河工厂建成钚生产堆，该堆和华盛顿州的里奇兰的反应堆成为美国主要的钚生产基地。（有关反应堆及其运行方面的资料，参见本丛中《核反应堆》分册。）



这是美国原子能委员会所属的汉福特工厂生产钚的 K 反应堆的正面。该厂位于华盛顿州里奇兰附近。

钚 实 验 室

美国有许许多多的大学、工业企业、政府机构和私人的实验室参与了钚的研究。这些由大学、工业公司以及其他单位经营的实验室都为美国原子能委员会工作，它们提供许多重要的有关钚的资料。

除美国之外，加拿大、英国、苏联、法国、德国和其他国家也都获得了有关钚的知识。

钚 的 形 成

核 反 应

如前所述，铀-238原子俘获中子后形成铀-239，然后经放射性衰变形成钚-239。在这里我们应该研究一下这些过程，以便更清楚地了解钚是怎样形成的。