

开

高等学校教材试用本

放射性元素矿物学和 地球化学

长春地质学院编

只限学校内部使用



中国工业出版社

高等学校教材試用本



放射性元素矿物学和 地球化学

长春地质学院編

中国工业出版社

本书是在曾来长春地质学院讲学的苏联专家 A.Φ. 卡留克帮助下，由进修教师集体编写的。内容丰富，吸收了国内外期刊中所发表的有关最新资料，较充分地反映了当前的科学成就。

本书内容，除绪论外，共分六章。绪论中对放射性元素矿物学及地球化学的概念、用途、研究对象、发展现状等作了扼要的分析。

第一、二章阐述了放射性元素的物理性质和化学性质以及在自然界中的存在形式、分布规律、迁移性质等。第三章主要为铀、钍矿物的描述，其中对最常见的，并具有工业价值的铀、钍矿物作了更详细的描述。第四章介绍放射性元素的地球化学；分别就岩浆、伟晶、热液、氧化带、沉积及沉积变质等地质作用中放射性元素的演化情况，分布规律，迁移和分散、集中的原理，进行详细分析，并且还用了许多实际资料加以说明。第五章为矿物共生组合，其中描述了矿物在各种地质作用中的生成条件、分布特点及共生组合。并且对矿物的标型特征也作了简单描述。第六章为铀、钍矿物的一般鉴定方法，特别对铀、钍矿物常用的鉴定方法，如放射性照相法、荧光法、微化分析法等作了详细的阐述，而对一些实验工作方法，如光谱分析、差热分析、极谱分析等方法因有专门课程单独讲述，因此本书只作了一般介绍。在矿物学鉴定方法后面，附有我们编制的系统矿物鉴定表。

放射性元素矿物学和地球化学

长春地质学院编

*

地质部地质书刊编辑部编辑（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

※

开本787×1092 1/16·印张117/8·字数265,000

1964年3月北京第一版·1964年3月北京第一次印刷

印数0001—1,430·定价（科五）1.40元

*

统一书号：K15165·2612（地质-255）

前 言

本教材的原稿是由全国各地地质院校有关教师在长春地质学院随 A.Φ.卡留克专家进修时共同编写的，参加编写的人主要有：朱钟秀、曾玖吾、蔡炳文、傅永全、张冠英、陈启中、周淑文、蓝天佑、张如柏、陈秀霞、汪清华等十余人。于1960年春完稿后付印。

1961年春，教育部召开编写全国通用教材会议时，确定该教材经修改补充后，可作为全国通用教材试用本。并决定将原稿交长春地质学院负责修改，由南京大学地质系和合肥工业大学地质系派人协助，修改完毕送有关单位部门审查，得到了佟城、奚瑾秋等同志的仔细审阅，提出了许多宝贵意见，于1963年3月又作第二次修改。

放射性元素矿物学及地球化学在我国是一门年轻的科学，由于各方面的迫切需用，特别是教学上的需要，编写了这本教材，故这本教材主要适于地质院校有关专业同学使用，也可供生产部门的同志及地质院校其他专业同学参考。由于修改时间短促，更主要的是本人政治思想和业务水平的限制，教学、科研、生产经验不够，所以在本书中还可能有不少错误之处，行文用字不够妥当流畅，敬希读者指正。请将宝贵意见函寄长春地质学院，以便再版时修改补充，不胜感激之至。

朱钟秀

1963.4.

目 录

前言

緒論	1
§ 1. 放射性元素矿物学及地球化学的一般概念	1
§ 2. 放射性元素发展简史及其在国民经济中的应用 ¹	1
§ 3. 放射性元素矿物学及地球化学的研究内容、目的和研究方法 ²	2
§ 4. 放射性元素矿物学和地球化学的发展现状以及它们在寻找放射性矿产中的作用	3
第一章 放射性元素的物理、化学及晶体化学性质	5
§ 1. 放射性元素在周期表中的位置	5
§ 2. 铀、钍、镭的原子构造	5
§ 3. 铀、钍、镭的物理性质及其放射性	7
§ 4. 铀、钍、镭的化学性质及其化合物的性质	10
§ 5. 铀、钍、镭的晶体化学性质及在矿物晶格中的性状	13
第二章 放射性元素在自然界存在形式及分布规律	20
§ 1. 放射性元素在自然界中的分布规律	20
§ 2. 放射性元素在自然界的存在形式	25
§ 3. 放射性元素在自然界的迁移性质	26
第三章 铀、钍矿物学	30
§ 1. 铀、钍矿物学研究现状及分类	30
§ 2. 铀、钍矿物的一般特征	34
§ 3. 铀、钍矿物各论	35
第四章 放射性元素地球化学	90
§ 1. 岩浆作用中铀和钍的地球化学	90
§ 2. 伟晶作用中铀和钍的地球化学	95
§ 3. 热液作用中铀和钍的地球化学	98
§ 4. 氧化带中铀、钍的地球化学特征	103
§ 5. 沉积作用中铀和钍的地球化学	114
§ 6. 变质作用中铀和钍的地球化学特点	125
第五章 各种成因类型铀、钍矿床中主要矿物组合	127
§ 1. 矿物组合和共生组合的基本概念及其研究的重要意义	127
§ 2. 岩浆矿床中的主要矿物组合	128
§ 3. 伟晶岩矿床中的主要矿物组合	128
§ 4. 矽卡岩矿床中的铀、钍矿物组合	129
§ 5. 各类热液铀矿床中的矿物组合	130
§ 6. 氧化带中的矿物组合	133
§ 7. 沉积铀矿床中的矿物组合	133
§ 8. 变质成因铀矿床中的矿物组合	134
第六章 铀、钍矿物的鉴定及研究方法	136
§ 1. 概述	136

§ 2. 放射性测量法	137
§ 3. 螢光法	137
§ 4. 放射性照相法	144
§ 5. 印痕法	151
§ 6. 定性微量化学分析法	152
§ 7. 定量化学分析法	158
§ 8. 矿物悬浮液 pH 值的鑑定法	159
§ 9. 元素和光学仪器鑑定法	161
§ 10. 矿物綜合鑑定表的編制及矿物系統鑑定的一般步驟	164
参考文献	175
鈾、釷矿物一覽表	179

緒 論

§ 1 放射性元素矿物学及地球化学的一般概念

放射性元素矿物学及地球化学是一门新型的、年轻的科学，是研究有关铀、钍矿物以及地壳中放射性元素的历史和在各种不同自然热动力与物理化学条件下活动状况的科学。它是普通矿物学和地球化学中的独立分支，主要研究的对象是放射性元素——铀、钍、镭的矿物学及地球化学。

本门科学的迅速形成和突飞猛进的发展是因为它与生产实践有密切联系和原子能工业对铀、钍矿产的大量需求。今后还将继续随着生产的发展而向前发展。

目前研究放射性元素矿物学及地球化学的最主要任务是：（1）从矿物学方面：一方面研究放射性元素矿物的化学组成、物理性质及化学性质，以便加强对各种矿物的实际利用；另一方面是研究矿物的形成过程、生成条件、共生组合及生成顺序等，以便进一步了解矿床成因，在普查勘探中加以应用；（2）从地球化学方面：（a）研究放射性元素在地壳中的分布规律，（b）阐明放射性元素在地壳中的转移性质，查明放射性元素与其他元素的共生特点，（B）研究在不同热动力条件下和在地质历史发展的不同阶段中，各种放射性元素在地壳中的行为。

上述诸方面的研究，皆是为了更进一步了解放射性元素矿床的成因、元素的组合等问题。这些问题的解决，不仅对普查勘探工作的理论与实践有重要意义，对工艺技术的加工和运用也都有特别重要的意义。

应当指出，为了正确鉴定放射法矿物和研究放射性元素矿物学及地球化学，除了一般地质学、矿物学的方法以外，还要应用化学和物理分析等方法，如光谱测量和光谱射线结构分析、极谱分析、放射性测量、放射性化学分析、光谱分析、差热分析、荧光分析、微量元素分析、质谱分析等。最新科学技术的不断发展和提高，对放射性矿物和地球化学的研究起着极重要的作用。

§ 2 放射性元素发展简史及其在国民经济中的应用

1789年德国化学家克劳普洛特从土状沥青铀矿中得到了二氧化铀的黑色粉末，并且肯定了它是新发现的一种元素。到1841年法国化学家毕里哥用金属钾还原四氯化铀时获得了金属铀。为了纪念当时新发现的距离地球很远的天王星而将它命名为“Uranium”。当时铀及铀的化合物仅用来作为涂料、反射望远镜上的玻璃及合金钢等。1896年贝克勒尔发现铀及其化合物具有放射性，之后，人们对放射性元素才逐渐地给予很大的重视。但是铀矿石当时主要作为提炼镭的原料，而铀本身并未真正利用起来。1938年奥托·哈恩等人重复进行了用中子射击铀核的实验，以后约里奥·居里证实了 U^{235} 在实行一个中子轰击后立即产生分裂，并放出一定的能量，同时还发现了链式反应。自此铀被广泛应用于原子能工业上。1954年苏联开拓了和平利用原子能的途径，首次建立了原子能发电站，此后放射性元

素逐渐地在国民经济各个部門中广泛地应用起来。

与鈾性质相似的另一放射性元素釷是1829年由瑞典化学家貝里采里烏絲发现的，并用斯堪的納維亞战神“托尔”来命名。在1898年第一次获得了金属釷，釷的化合物过去用来制造安全矿灯罩及探照灯中的碳棒原料，金属釷参于錳中所制造的灯絲可以使錳絲不“老化”，即使錳的結晶不变粗而能延长灯絲的寿命。此外，也用做电子管中对阴极的原料，釷的放射性作用还应用于医疗部門。由于釷可以用人工变成 U^{233} （此为核燃料），所以近年来也作为原子能工业核燃料的新的来源之一。

1898年法国科学家居理夫妇在瀝青鈾矿的残渣中，发现有很强的放射性物质存在，并放出强的螢光，后証明为鐳。到1910年才得到了金属鐳。鐳及其化合物主要应用于医学上和制造自行发螢光的涂料，应用于国防工业上。

原子能的实际利用，标志着人类在改造自然方面跨进了一个新的世紀。目前原子能的利用正在日益扩大，在工业和运输事业上用于生产便宜的电能，制造原子能的发动机；在反应堆中生产的大量放射性同位素也广泛应用于工业、农业、医疗部門等。另外也用来检查金属部件的质量，测量自动控制各种产品的厚度等。所以原子能科学对于今后人类文化科学的发展起着很大作用。

解放前，我国原子能科学事业是空白点。解放后，在党的领导下，原子能事业迅速发展起来。1958年，制成了重水型实验反应堆和迴旋加速器。接着我国又自建了高气压靜电加速器。目前原子能和放射性同位素的应用在我国正在蓬勃发展。

为了把我国建成具有现代农业、现代工业、现代国防和现代科学技术的社会主义强国，努力发展原子能科学有重要的意义。

§3 放射性元素矿物学及地球化学的研究内容、目的和研究方法

放射性矿物学及地球化学是放射性地質学的一个組成部分。由于世界上原子能科学的飞跃发展，在进行大量研究和积累了大量实际材料的基础上，丰富了放射性矿物学及地球化学的内容，使它形成一个比較完整的科学。它是理論科学，又是一門实用科学。研究这門科学的目的在于了解放射性元素在地壳中的分布規律及活动性状以及它們的共生元素。进一步了解在成矿过程中的分散和富集的原因，这对于鈾、釷矿床的勘探工作具有重大意义。因此这門科学与其他科学一样，是通过实际資料的不断丰富积累和逐步完善精确，最后綜合提高到理論，又进一步用于实际工作中。

学习放射性矿物学及地球化学的一个重要問題就是要有正确的观点和思想方法。正如毛主席在矛盾論中指出的，“不但要研究每一个大系統的物质运动形式的特殊的矛盾性及其所規定的本质，而且要研究每一个物质运动形式在其发展长途中的每一个过程的特殊的矛盾及其本质。一切运动形式的每一个实在的非臆造的发展过程內，都是不同质的。我們的研究工作必須着重这一点，而且必須从这一点开始”^①。我們研究放射性元素也是这样，研究它們在地壳中的特殊的运动規律，以及迁移、分散、集中、轉化等。例如鈾在外

① 毛泽东选集第一卷，第298—299頁，人民出版社，1960年。

动力作用下，从矿石或岩石中分离出来，进入溶液，經迁移到还原环境中又沉淀析出来。这个运动的过程就经历了集中、分散和再集中的轉化。同时在这个过程中，鈾的存在形式及化合物的成分也不止一次地經過不同质的轉化。如果我們不很好認識这一点，对鈾矿床的寻找和勘探将是盲目行动。

我們研究这门科学不应该采取抽象的、教条式的态度，而必須和实践相結合。毛主席在实践論中指出，“認識的能动作用，不但表現于从感性的認識到理性的認識之能动的飞跃，更重要的还須表現于从理性的認識到革命的实践这一飞跃”^①。我們作为学习者和研究者來說，只有从实践中来又到实践中去，才不致于陷入脱离实践追求理論的唯心主义的泥坑里。

§ 4 放射性元素矿物学和地球化学的发展现状 以及它們在寻找放射性矿产中的作用

放射性元素矿物学和地球化学是在当前由于寻找鈾、釷矿床的迫切需求而发展起来的，是建立在普通矿物学、地球化学、矿床学等的基础上而发展的，所以还是近十多年来的事。

近几年来，放射性元素矿物学的发展与其他科学一样迈进了一大步。作为普通矿物学中的一門独立分支來說，目前对鈾、釷矿物的描述和成因特点有了更深一步的研究。对于鈾、釷矿物早在20世紀初維尔納茨基就进行过研究，由于当时科学技术还落后，对矿物的性质研究还不够完整（特别是矿物的結構构造分析，化学分析的数据等）。所以在当时对晶质鈾矿和瀝青鈾矿（那时称非晶质鈾矿）的結構构造沒有搞清楚，直到近几年来，由于一切新技术（鑠琴分析、光譜分析、差热分析、紅外線分析等），新方法的发展，确定了晶质鈾矿和瀝青鈾矿的构造属于同一类型。对其他鈾矿物（特别是鈾的次生矿物）的构造分析也日益趋于完全，現已知有鈣鈾云母和变鈣鈾云母、硅鈣鈾矿、鉀鈳鈾矿、鉍鈾矿（умохолат）等等。同时近年来，几乎在每一个新的鈾、釷矿床中均发现有新的鈾矿物。在研究自然界中的鈾、釷矿物时，不仅对矿物个体素描及結晶构造要重視，而且对矿物的产状特点及共生組合等也必须更加重視。

在地球化学領域內发展到現阶段已經形成三个学派。

一、以克拉克为代表的經驗統計学派，他們把地球化学看作是研究地球的科学。几乎把全部的工作从事于元素分析数据的堆积，而忽略了元素在地壳中的活动性状和分布規律的特征。

二、以戈尔德斯密特为代表：认为解释地球中的各种元素的分布是地球化学的重要任务，并以結晶化学的观点进行了对元素的結晶化学分类。其中特別強調了离子半径和原子半径，原子价在元素迁移中的作用，因而比較忽略了影响元素的其他迁移性质，因此也不够全面。

三、維尔納茨基創立的原子历史学派，在苏联得到了继承和发展。他全面地确定了地球化学的内容和任务，即研究地壳中元素的迁移和在各种不同条件下的行为。

与放射性元素矿物学和地球化学理論相适应地发展的地球化学找矿法已获得了很大的

① 毛泽东选集第一卷，第281頁，人民出版社，1960年。

发展，如铀量测量、放射性水化学及生物地球化学找矿法等，特别对寻找盲矿体很有效。另外在地表形成的次生铀矿物，对寻找铀矿床是一个重要标志，同时根据其分布面积和矿物的颗粒大小，能够大致圈定矿体范围和估计铀的含量。

第一章 放射性元素的物理、化学 及晶体化学性质

§1 放射性元素在周期表中的位置

铀的原子序数为 92，属于第七周期第Ⅵ族，但铀所表现的化学性质及其在自然界所表现的地球化学性质并不完全符合于周期表上所占有的位置。在性质上更接近于第Ⅲ族元素，所以现在一般将铀和超铀元素与稀土元素一样，划出单独一列。从镧开始，将以后各个元素(如 Th、Po 和超铀元素)列入第Ⅲ族的镧系中。

在自然界发现的元素当中，铀的原子量最大，为 238.07。原子序数更大的元素(93—102)在自然界中不存在(只有钍在铀矿物中有微量的存在)，只能用人工的方法，通过各种核反应制取。

铀的同位素有 12 种，但自然界中只有 U^{234} 、 U^{235} 、 U^{238} 。自然界中各种同位素的含量为 U^{238} —99.28%、 U^{235} —0.715%、 U^{234} —0.0058%。测定了天然放射性同位素之原子比率大致为 $\frac{U^{238}}{U^{235}}=138$ ； $\frac{U^{235}}{U^{234}}=141.5$ ； $\frac{U^{238}}{U^{234}}=19527$ 。其余九种是在核反应中制取的人工同位素，原子量数由 228—240，仅占 0.00n%—0.000n%，它们的半衰期很短。 U^{235} 及 U^{234} 和 U^{238} ，都是重要的核子原料。

钍的原子序数为 90，原子量为 232.05，过去将钍列入第七周期第Ⅳ族，最近的研究证明，钍也为第Ⅲ族的镧系元素。

钍的天然同位素有几个，但以半衰期长的 Th^{232} 的意义最大，可作为合成核子燃料—— U^{233} 同位素的原料。其余的钍的同位素，半衰期很短，用人工方法通过核反应制取。

镭是碱土元素的典型代表，位于门氏周期表中第Ⅱ族中。原子序数为 88，原子量为 226.05，与其他二价碱土元素性质相近。尤其与钡的性质很相近，甚易水解，并形成 $Ra(OH)_2$ 的溶液。镭被水从岩石中淋滤出来，使许多镭富集于矿化水中(可达 10^{-8} — 10^{-9} 克/升)。这些放射性水为提取镭的来源。镭有几个同位素 Ra^{226} 、 Ra^{224} 、 Ra^{223} 是在实验中制取的，这些同位素可以代替镭使用。

§2 铀、钍、镭的原子构造

铀原子似椭圆形，其短半径为 1.4Å，长半径为 1.65Å，原子体积为 12.72。众所周知，中性原子是由原子核和电子壳层二个基本部分组成的。铀原子的电子层及其电子排列，根据原子结构理论得出，原子的核电荷在数值上等于元素的原子序数，也等于核外电子数。因此，铀的原子核外有 92 个电子围绕。其电子在电子层和能级上的排列见表 1，为了便于比较，其他有关第Ⅲ族元素也一并列入表 1 中。

从表 1 可知，铀原子核自内而外有四个完全充满的电子层(K、L、M、N)和三个未完全充满的电子层(O、P、Q)。对镧系元素和部分的镧系元素的原子，三个外电子层

表 1

原子序数	元素符号	电 子 层							
		K	L	M	N	O	P	Q	
		电 子 亚 层							
		s	s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d	s	
86	Rn	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6		
88	Ra	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6	2	
57	La				2 6 10	2 6 1	2		
58	Ce				2 6 10 2	2 6	2		
59	Pr				2 6 10 3	2 6	2		
60	Nd				2 6 10 4	2 6	2		
61	Pm				2 6 10 5	2 6	2		
62	Sm				2 6 10 6	2 6	2		
63	Eu				2 6 10 7	2 6	2		
64	Gd				2 6 10 7	2 6 1	2		
65	Tb				2 6 10 9	2 6	2		
66	Dy				2 6 10 10	2 6	2		
67	Ho				2 6 10 11	2 6	2		
68	Er				2 6 10 12	2 6	2		
69	Tm				2 6 10 13	2 6	2		
70	Yb				2 6 10 14	2 6	2		
71	Lu				2 6 10 14	2 6 1	2		
89	Ac	2	2 6	2 6 10	2 6 10 14	2 6 10	2 6 1	2	
90	Th					2 6 10	2 6 2	2	
91	Pa					2 6 10 2	2 6 1	2	
92	U					2 6 10 3	2 6 1	2	
93	Np					2 6 10 5	2 6	2	
94	Pu					2 6 10 6	2 6	2	
95	Am					2 6 10 7	2 6	2	
96	Cm					2 6 10 7	2 6 1	2	
97	Bk					2 6 10 9	2 6	2	
98	Cf					2 6 10 10	2 6	2	
99	Es					2 6 10 11	2 6	2	
100	Fm					2 6 10 12	2 6	2	
101	Md					2 6 10 13	2 6	2	
102	No					2 6 10 14	2 6	2	
103	Lw								

都未充满，并且最外电子层只有 2 个 s 电子，次外层的 6d 亚层或是没有，或是只有一个电子。而只有镧系元素的钐有 2 个 6d 电子。可见在这些原子中，对于决定元素的性质起着主要作用的最外层和起着次要作用的次外层电子数几乎相同，仅有外数第三电子层上电子有所不同。因此镧系元素彼此间性质很相似。锕系元素也是这样。这就是为什么把钍元素列入第 III 族锕系内的基本原因。由于它们原子的外电子层相同及在性质上表示的相似性，所以用化学分析方法都不易将它们分开。

镧系和锕系各元素的原子结构属于惰性气体型，即最外电子层具有 (2+6) 个电子。根据 V.M. 戈尔德斯密特的元素地球化学分类，属于亲氧元素。这一点镧系和锕系相同，因

为它們在內生岩浆活动过程中往往同时富集在一起。在相同的地质环境下共生于岩石中和形成相似的矿物种类。因此鈾在地壳中，特別在伟晶岩期往往和大量稀有元素共生以及呈类质同像存在于矿物的結晶格架中。这些地球化学的相似性都取决于它們的原子构造相似性，特別取决于它們最外电子层数目的一致性和在周期表中的共同位置。因此把鈾从第IV族列入第Ⅲ族是完全符合实际情况的。

鈾所表現的价电子有： $5f^3$ ， $6d^1$ 和 $7s^2$ 。

鈾的原子核构造：核內有 92 个带正电荷的质子，而中子数大大超过了质子数。这就使原子核产生自发的蜕变。根据 $N(\text{中子}) = A(\text{质量数}) - Z(\text{原子序数})$ 公式得出 U^{238} 的电荷及质量的关系如下：

238	92	146
质量数	质子数	中子数
(核子数)	(原子序数)	

V.M. 戈尔德斯密特根据鈾的电子结构和原子容积大小把鈾列入亲石元素类的意义很大，这完全反映了鈾在地壳上分布特征和規律。鈾在原子容积曲綫上的位置处在曲綫最末端的底部，如图 1。

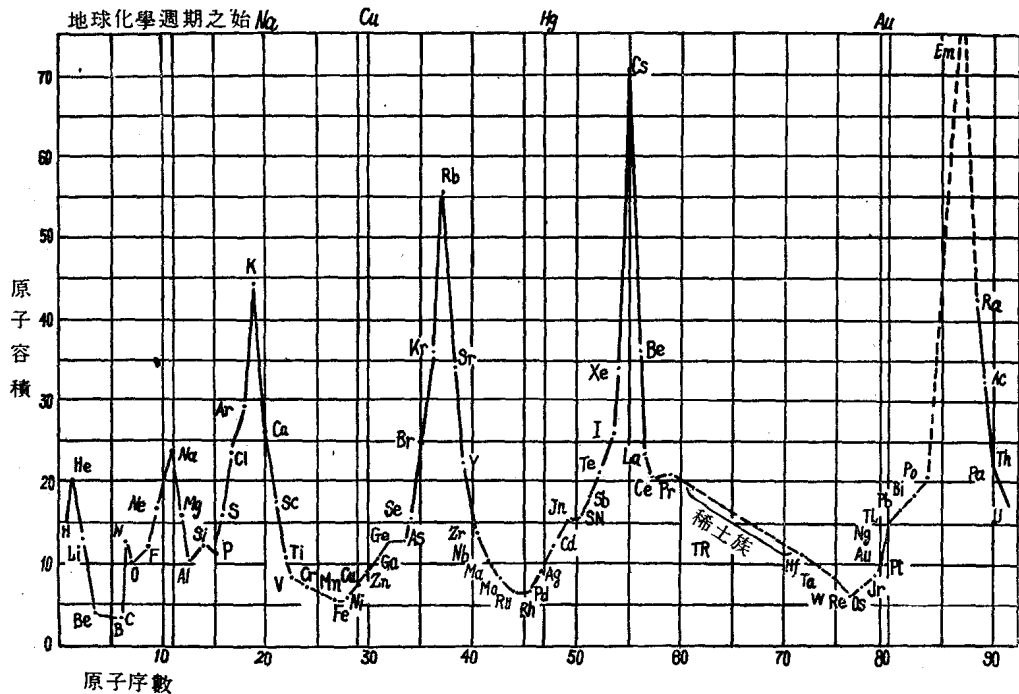


图 1 元素原子容积曲綫图

§ 3 鈾、鈷、鐳的物理性质及其放射性

一、金属鈾的物理性质

金属鈾都是人工制得的。制取的方法，大致可分为还原法、电解法、分解法三种。純金属鈾具有很好的光泽，为带蓝綠色調的銀白色，密度大（約为 19.05 克/立方厘米），在

高温下能铸造、延展、扭曲和化学加工,还可进行冷处理。铀的比重为 18.7, 熔点 1133°C , 沸点 3500°C , 导电率为 3.1×10^4 (欧姆厘米) $^{-1}$, 热传导率为 7.0×10^{-3} 卡厘米 $^{-1}$ 秒 $^{-1}$, 在 13° 以下即成超导体, 顺磁性弱。

金属铀有三种变态, 其性质如下表:

铀 变 态 类 型	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	晶 系	性 质
低温相 α -U	640° 以下	斜方晶系	薄片状有延展性
中温相 β -U	640° — 760°	未肯定	性脆
高温相 γ -U	高于 760°	立方晶系	薄片状

以上的物理常数, 都因金属铀所含微量的杂质及外界条件(温度、压力)的不同而变。

二、金属钍的物理性质

金属钍为银白色, 冷却时可以轧成板, 拉成丝, 很像铜和铅。钍很容易进行热处理与煅烧, 能延展。钍的比重为 11.7, 熔点为 1942°C , 沸点为 3200°C , 在空气中表面易氧化, 形成一层氧化钍的薄膜, 此薄膜可防止金属钍的继续氧化。金属钍能溶于盐酸中。低于 14°C 时变成超导体。

三、金属镭的物理性质

金属镭为银白色, 密度为 6 克/立方厘米, 熔点 960°C , 沸点 1140°C 。当温度接近 700°C 时即很快昇华, 其蒸气压力很强, 一克镭在一小时内能发出 137 卡热量, 所以镭及镭的化合物的温度总是比周围介质的温度高 1.5° 。

四、铀、钍、镭的放射性性质

放射性是铀、钍、镭重要性质之一。因为这些元素有这个性质, 所以称为放射性元素。

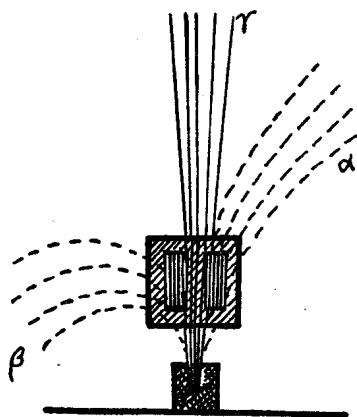


图 2 磁场分离放射线的实验

放射性——这是某些元素的原子核本身发生蜕变并放出 α 、 β 、 γ 射线的能力。在这个过程中, 由不稳定的原子核变为稳定的原子核。

放射性蜕变时产生 α 、 β 、 γ 三种射线, 即带正电的 α 粒子、带负电的电子流及不带电的电磁射线。此三种射线, 在磁场中的偏转如图 2。图中说明有镭的盐类从铅孔射出 α 、 β 、 γ 三种射线。在垂直于纸面的磁场作用下, γ 射线不偏转, 即不带电; 而 α 射线向左稍偏转, β 射线向右偏转很剧烈。这说明 α 、 β 带电。

α 射线是 α 粒子流, 是氦原子核。这是从铀原子核分裂出的二个质子和二个中子所组成的, 即为核力达到饱和的氦原子核 2He^4 。因此铀的 α 蜕变成氦;



一克鐳蜕变时，每年可形成0.1立方厘米的氢，常常堆积在放射性岩石及矿石之中。

α 射线的传播的速度很大，为光速的1/20，即15000公里/秒左右。当通过几厘米的空气层或一张纸时，就易被吸收，很快地降低速度。依此即可计算出 α 粒子在空气中的正常射程。在温度15°C，压力760厘米时为2.6—8.6厘米(铀的 α 粒子射程为2.67厘米，镭为3.39厘米，钍为2.90厘米)。

α 射线使气体及固体电离的能力很强。气体和固体电离后，即可导电。原子的电离是电子数发生变化时所引起的。增加电子，造成带负电离子。失去电子，则造成带正电的离子。

α 射线的强度以“居里”来表示。居里与一克镭处于平衡状态的氢的量，它相当于每秒蜕变370亿次(1居里= 3.7×10^{10} 蜕变/秒)。

β 射线使气体和固体电离的能力较 α 射线弱，速度较高，接近光速300000公里/秒。穿透能力较 α 射线为强，能穿透几毫米的铅板，在空气中的射程为数米。因为铀属于重元素，所以铀不会产生像轻元素的原子核蜕变时所发生的正子蜕变。

γ 射线是一种电磁波，和X射线相似。当原子核多余的能量(由于 α 或 β 蜕变激发而产生的能)射出时，就发生 γ 射线。 γ 射线不带电荷，但穿透能力强，一米厚的岩层和数百米厚的空气都很容易穿过，所以在地质找矿中常用此 γ 普查法找寻铀矿床。

α 射线的电离作用强度比 β 射线强得多，比例为100:1，穿透能力则相反， γ 射线最强， β 射线弱， α 射线最弱。

放射性元素除了电离作用外，并能引起周围物体的颜色变化，如萤石、方解石颜色变暗，岩盐变成蓝色，放射性矿物周围出现“多色晕”。

元素发生蜕变时常常放热，一克镭及其蜕变产物能放出136卡/小时的热，可使100克的水升高1.36°C。

不同的放射性元素在蜕变时放出的射线亦不同，如镭只放出 α 射线，铷($_{37}\text{Rb}^{217}$)只放出 β 射线，镧($_{57}\text{La}^{175}$)放出 β 和 γ 射线，铀、钍能放出三种射线。

五、放射性元素的半衰期及放射性平衡

1. 放射性元素的半衰期

根据衰变定律，可以推演出放射性元素在衰变时的一种重要特征：即不论放射性元素量的多少，它衰变掉一半所经历的时间，为一个常数。这段时间，称为“半衰期”。各种元素的半衰期，长短各不一致，如 U^{238} 的半衰期为 4.51×10^9 年， U^{234} 为 2.5×10^5 年。根据放射性元素的半衰期可计算矿物或岩石的地质年代。

2. 放射性平衡

在铀的蜕变过程中，铀变成镭。随着时间的变化，铀与镭之间可达到一定的平衡比例 $\text{U}:\text{Ra}=0.36 \times 10^{-6}$ ，即一吨金属铀中有0.36克的镭。但镭不能产生更多，因它本身也能蜕变为其他元素。当岩石中的镭及铀被水溶解后，平衡便破坏。平衡的破坏程度(T)以百分数来表示： $T = \frac{\alpha \times 100}{0.36 \times 10^{-6}}\%$ ，其中 $\alpha = \text{Ra} = \text{U}$ 。Ra是在射气测量基础上求出的，

U是用化学分析求出的。在 $\alpha > 0.36 \times 10^{-6}$ 时，镭的数量增加，反之则镭的数量减少。由于镭和铀在不同的地球化学环境下有不同的迁移能力，而使铀和镭分开。因此，由放射性

的平衡破坏可以証明近代鈾与鐳的再沉积作用。

海水中鈾是鐳的5—7倍(与平衡要求相比),而在淡水中相反,尤其在石油中鐳比鈾更多。如果鈾和鐳趋向一定的比例,而鈾与鉛之間的比例随年代而变化,則鈾减少,而鉛增多。

六、超 鈾 元 素

除了自然放射性元素砷、氡、釷、釷、鐳等外,还有一些人工放射性元素。这些元素是用核反应的方法合成的,它們是門氏周期表中的第93—103的元素,即超鈾元素:錒(Am)、錒(Cm)、鉍(Bk)、鐳(Cf)、釷(Es)、鐳(Fm)、錒(Md)、鐳(No)、鐳(Lw)。此外,还有鉍(Pm)和錒(Tc)。

錒和錒是用近代核子反应方法制取的。錒的电子构造与釷相同。

鉍和鐳是最近才制成的,鉍是釷在反应堆中受到中子照射后形成。1958年用同法分出了肉眼能見到的鐳。鐳与稀土元素很相似。

釷、鐳是美国热核炸弹爆炸試驗时发现的。鐳是在鈾通过 U^{238} 中子的“夺取”而后形成的,釷是唯一可分出的超鈾元素,此元素至今尚未分出肉眼能見的数量,它是用中子照射釷后造成的。

錒有二个同位素,是用 α 粒子撞击釷而得到的。現在用慢中子照射法还不能取得錒或其他超鈾元素,因为用此法可以造成半衰期很短的同位数,并且要制的元素不可能堆积到肉眼能見的数量。

鐳是用高能量(C^{12})的离子照射超鈾元素而合成的。

目前发现了錒系最后一个元素103号的鐳,并指出今后能发现在鉛、鉍、鐳等下面的104号、105号等元素。有人认为制造这些元素最困难的是:具有高原子序数的材料不多,試驗时期很长(如用中子照射一公斤的釷(Pu^{239}),十年內只能得到一毫克的鐳)。

根据放射性现象,如鈾的半衰期为45亿年,这造成了鈾原子的不断破坏及消失,并产生新的原子——氡、鐳、鉛。

放射性元素与衰变产物之間有一定关系。

放射性蜕变是純物理作用,不受化学及地球化学的影响,而鈾的地球化学則与其衰变产物鐳、氡、鉛之間有密切关系。

§4 鈾、釷、鐳的化学性质及其化合物的性质

鈾、釷、鐳的放射性及其在地壳中的分布决定于原子的构造,但这些元素的化学性质决定于外电子层的构造,特別决定于外层电子的数目。鈾原子的电子层构造决定鈾的价数和离子的大小。价数及离子半径之間的关系决定元素的碱性或酸性。鈾的原子构造是所有元素中最复杂的一个。鈾、釷、鐳的电子在各电子层軌道上的分布情况如表2(圓圈內的电子为价电子)。从表2可見,鈾原子的价电子分布在三个不同的O、P、Q电子层中,这和稀土元素的同位素的特征相同。釷的价电子分布在最外两层,鐳仅在最外一层。

鈾和超鈾元素(錒、釷、錒、錒等)的价电子分布,在Q层有2, P层1, O层3, 最高原子价为6。此外还有5、4、3、2价。但在周期表中随原子序数的增大,由鈾到錒六价漸漸不稳定,而三价則变为稳定,說明这类元素应属錒系元素。

鈾、釷、鐳的价电子分布

表 2

元素 \ 电子层	K	L	M	N	O	P	Q	元素最大价数
鈾	2	8	18	32	18+③	8+①	②	6
釷	2	8	18	32	18	8+②	②	4
鐳	2	8	18	32	18	8	②	2

鈾、釷、鐳的电子分布，造成了鈾的自然化合物为四价和六价，而釷仅有四价，鐳只有二价的化合物。

由于鈾原子的电子结构与稀土元素相似，决定了鈾和稀土元素的许多地球化学性质相似。例如鈾矿物和稀土元素的矿物在花崗伟晶岩中的共生，鈾与稀土元素呈类质同像替换存在于鈹鉭酸盐矿物及其他稀土矿物中。

一、由于原子结构而引起的鈾的化学特性

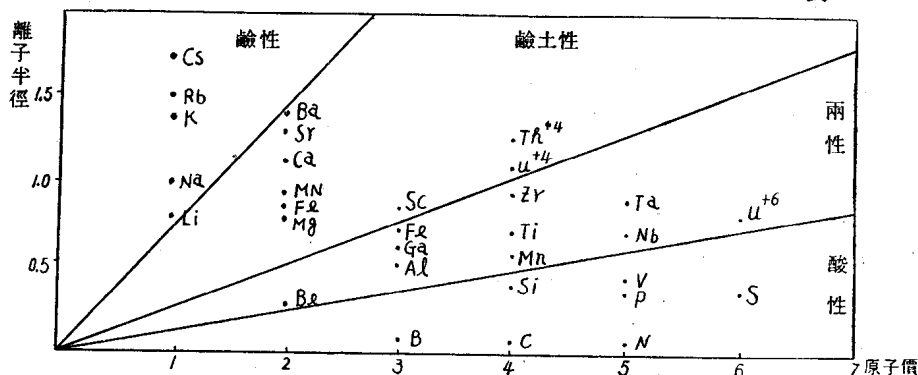
1. 鈾可以完全氧化，形成带六个正电荷的阳离子。这时外电子层（P层）有8个电子，与惰性气体原子结构相同，所以和碱性元素及碱土元素、铝、硅、磷、稀土等元素一样，属于亲石元素。釷与鈾一样，也是亲石元素。

2. 鈾的价电子分布在不同的电子层中，所以鈾有不同价的化合物，也就使鈾的地球化学作用变得复杂了。因为不同价数的离子在自然界中的活动方式和活动条件不同，并可发生氧化和还原作用。

鈾在自然界中形成六价和四价化合物，釷只有四价化合物，所以鈾矿物比釷矿物多得多。 U^{6+} 的离子所形成的化合物是在表生条件下，矿物的颜色鲜明。 U^{4+} 是在深部条件下形成的黑色化合物，过渡性的是棕黑色或红褐色。

3. U^{6+} 和 U^{4+} 的化学性质截然不同。 U^{4+} 具弱碱性，而 U^{6+} 为两性性质，即在碱性条件下呈酸性，在酸性条件下呈碱性。从 U^{4+} 和 U^{6+} 的离子电位（电价/离子半径）数值可得到同样的结果，如 U^{4+} 的离子电位是3.8属碱性，而 U^{6+} 的离子电位属7.7为两性。 U^{6+} 具有两性的原因，是鈾能造成六价络合物，高价氧化物具酸性，但鈾有高的原子序数，则使氧化物具弱碱性，两者的结合即具两性的性质（如表3）。

表 3



鈾的弱碱性，表现在酸性盐类的生成过程中。如鈾酸(UO_2) $^{2+}$ 可以成碳酸盐类的沉淀，也表现在某些复盐的络合物之形成，如 $[(UO_2)(SO_4)_3]^{-2}$ ，在此 $(UO_2)^{2+}$ 络阳离子