

# 西博格和超铀元素

宋世榕

(武汉汽车工业大学)

1951年,核物理学家艾·马·麦克米伦和核化学家格·狄·西博格一起,由于在超铀元素方面的卓越发现而共同获得诺贝尔化学奖金。

## 一 西博格生平简介

格楞·狄奥多尔·西博格(Glenn Theodore Seaborg)于1912年4月19日生于美国密执安州北部矿山城伊什佩明的一个瑞典移民家里。

西博格之父是贫苦的机械师,1922年始让长子上小学。课余西博格常去高尔夫球场当拾球员挣钱。该年全家迁往洛杉矶近郊霍姆加登斯。1925年西博格入洛杉矶一中学后,仍干些抄写工作以补贴家用。他一直是优等生,尤爱理化二课。

1929年,西博格考入加利福尼亚大学洛杉矶分校,起初学文学,三年级转习科学。他还在一家公司的实验室担任助理实验员,以工资维持学业。由于学习成绩优异,校方将他转往本校化学实验室,直至1934年毕业。

毕业后西博格留在加利福尼亚大学伯克利分校担任助教,同时他还在著名化学家刘易斯指导下攻读核化学。他获得了1936—1937年的奖学金,并于1937年取得博士学位。

1939年,西博格任讲师。那一时期,伯克利分校劳伦斯辐射实验室利用回旋加速器轰击普通元素,以产生放射性同位素。西博格主要从事检验工作,并与同事一起,发现了一些新核素,如 $^{54}_{25}\text{Mn}$ 、 $^{59}_{26}\text{Fe}$ 、 $^{60}_{27}\text{Co}$ 、 $^{131}_{53}\text{I}$ 等。

1940年,麦克米伦在发现镎-239以后,与西博格等人合作,于12月初步获得 $^{238}_{93}\text{Np}$ 及其衰变产物( $^{238}_{94}\text{Pu}$ )。由于麦克米伦从事战时军事研究,11月便将研制和确认94号元素的工作交给了西博格,西博格很快完成了任务。

1942年,西博格任副教授。同年,美国原子能委员会聘请他担任美国军方在芝加哥大学筹建的冶金实验室化学分析小组组长,负责从铀反应堆反应产物中分离钚的工作。1944年,西博格参与原子弹爆炸计划的制订。

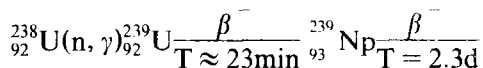
1945年,西博格被聘为加利福尼亚大学教授,1946年被任命为美国原子能委员会委员(兼任顾问至1952年),1946—1958年担任伯克利分校放射化学实验室主任,1954—1961年担任劳伦斯辐射实验室副主任,1958—1961年任伯克利加利福尼亚大学校长和名誉教授,1961年任美国原子能委员会主席,主持了发展美国核动力工业的10年计划。1971年他回到伯克利继任教授。1973年和1978年,他曾率美国科学代表团来华访问。

## 二 镎和钚的发现

1934年,费米发现中子引起的人工放射性。在提出用中子照射元素铀可获取超铀元素的想法不久,他宣称“发现”了93、94号元素。诺达克认为缺少化学证据,她提出核分裂的设想。1938年底,哈恩和斯特拉斯曼从中子轰击铀实验中肯定地获得了中重核 $_{56}\text{Ba}$ ,而在此前他们还验证了同年夏使伊·约里奥-居里和萨维奇在中子轰击铀实验中产生迷惘的元素 $_{57}\text{La}$ 。紧接着,1939年1月,迈特讷和弗里什用实验证实哈恩所获结果,他们将此类现象命名为“核裂变”,作出了正确解释。弗·约里奥-居里也作了类似实验。

1939年春,麦克米伦用快中子轰击氧化铀,以研究裂变产物的射程分布。他在一叠纸上放置氧化铀薄片,中子照后将纸分开,由盖革计数器分别记录各处放射性强度。他测知:大部分裂变产物从薄片上反冲出来进入纸内,但有半衰期(T)各为23min、2.3d的两种放射性

物质留存片内,无足够反冲能得以逃出,其中  $T = 23\text{min}$  的放射性物质是  ${}_{92}^{239}\text{U}$ ,由中子打击  ${}_{92}^{238}\text{U}$  形成.他推测  $T = 2.3\text{d}$  的放射性物质由  ${}_{92}^{238}\text{U}$  俘获中子而生.暑假中他邀化学家艾贝尔森合作,进行化学分析,终于获知第一个超铀元素镎(neptunium)的同位素  ${}_{93}^{239}\text{Np}$  的化学性质——类似稀土元素.他们用一个稀土元素作载体,从铀反应产物中分离出  ${}_{93}^{239}\text{Np}$ ;他们还探测到  $\alpha$  粒子.他们获得  ${}_{93}^{239}\text{Np}$  的反应式为



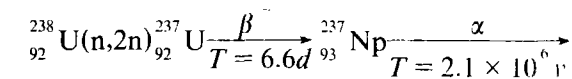
1940年初,麦克米伦、西博格、沃尔和肯尼迪合作,以  $16\text{MeV}$  的氘核轰击铀,实现反应  ${}_{92}^{238}\text{U}(d, 2n) {}_{93}^{238}\text{Np}$ .他们用放射化学分离法取得纯净的单质  ${}_{93}^{238}\text{Np}$ ,  $T = 2.1\text{d}$ .他们还发现一种  $\alpha$  放射性物质随着时间积累起来.西博格、沃尔和肯尼迪于1941年2月确认,  ${}_{93}^{238}\text{Np}$  的  $\beta^-$  衰变产物为新核素钚(plutonium)-238即  ${}_{94}^{238}\text{Pu}$ , 呈  $\alpha$  放射性,  $T = 86.4\text{y}$ .

1941年3月,西博格、肯尼迪、沃尔和塞格雷利用强大中子束实现反应  ${}_{92}^{238}\text{U}(n, \gamma) {}_{92}^{239}\text{U}$

$$\xrightarrow{T = 24\text{min}} \beta^- \xrightarrow{T = 2.3\text{d}} {}_{93}^{239}\text{Np} \xrightarrow{T \approx 2 \times 10^4\text{y}} \alpha \xrightarrow{T \approx 2 \times 10^4\text{y}} {}_{94}^{239}\text{Pu}$$

……,约得到1微克钚-239;还发现  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  受慢中子轰击而裂变,概率较  ${}_{92}^{235}\text{U}$  大50%.

1942年,西博格参加了从钍中分离  ${}_{92}^{233}\text{U}$  的工作,  ${}_{92}^{233}\text{U}$  也是一种核燃料.同年初,西博格和沃尔以快中子作轰击粒子实现反应



…….

1942年9月,在西博格领导下,从400克沥青铀矿中提取2.77微克钚氧化物,发展了一种钚萃取技术;还制订了放射性物质的检测方法.1951年,西博格和莱文对数百克加拿大沥青铀矿进行分离,终于发现  ${}_{92}^{238}\text{U}$  的蜕变产物  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ .

麦克米伦曾于1941年得出结论:超铀元素应当形成第二系列稀土元素.1944年,西博格

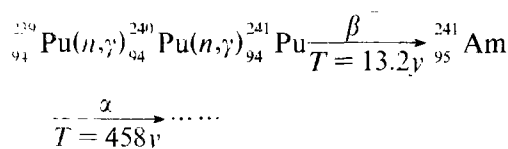
在仔细研究镱、铪等元素的性质而尤其是原子的电子组态之后,提出在周期表中安置重元素的“锕系概念”.依此概念,锕以及重于锕的元素(90—103号)应在周期表中形成单独的重元素系列——第二稀土元素族,不久获得确证.

### 三 第95—101号超铀元素

1944年7月,西博格、摩根、詹姆斯和吉奥索实现反应  ${}_{94}^{239}\text{Pu}(\alpha, n) {}_{96}^{242}\text{Cm}$

$$\xrightarrow{T = 16.25\text{d}} \alpha \xrightarrow{T = 16.25\text{d}} \dots$$

得到镅(curium)-242,属96号.该年后,他们利用反应堆强大的快中子流的连续轰击实现



得到镅(amerium)-241,属95号.

1949年12月,西博格、汤普森、吉奥索实现反应  ${}_{95}^{241}\text{Am}(\alpha, 2n) {}_{97}^{243}\text{Bk} \xrightarrow{T = 4.5\text{h}} \text{E.C. (轨道电子俘获)}$

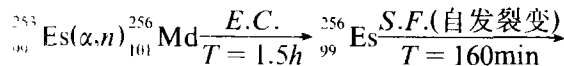
……,获得镱(berkelium)-243,属97号.1950年2月,他们三人以及斯特里特实现反应  ${}_{96}^{242}\text{Cm}(\alpha, n) {}_{98}^{245}\text{Cf} \xrightarrow{T = 44\text{min}} \alpha; \text{E.C.}$

……,获得镅(californium)-245,属98号.

1952年11月1日,美国在太平洋埃尼维托克岛上进行了一次热核爆炸,美国三个实验室的科学家将上吨带有放射尘的珊瑚礁取来进行分析,从中发现了99、100号元素.尔后,西博格、吉奥索、汤普森和希金斯利用铀-238对钚进行多重俘获再经过多次  $\beta^-$  衰变,于1952年12月用离子交换实验确认了镱(einsteinium)-253,属99号;于1953年初又确认了镱(fermium)-255,属100号.

1954年开始利用重离子作轰击粒子,西博格等实现了  ${}_{92}^{238}\text{U}({}_{7}^{14}\text{N}^{6+}, 6n) {}_{99}^{246}\text{Es}$ ,瑞典人实现了  ${}_{92}^{238}\text{U}({}_{8}^{16}\text{O}^{6+}, 4n) {}_{100}^{250}\text{Fm}$ .

1955年2月,西博格、吉奥索、哈维、肖邦和汤普森实现



.....

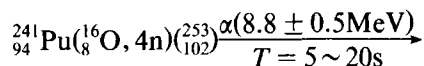
获得钷 (mendelevium)-256, 属 101 号, 收集 17 个原子.

#### 四 102 号元素的困惑

从 1957 年起, 围绕超铀元素的发现, 有关国家 (主要是美苏) 的科学家产生分歧, 他们所得的有关超铀元素的性质彼此有异, 因而互不承认, 元素的命名也各不相同. 其中分歧比较明显的是 102—106 号元素.

1957 年 7 月, 美、英、瑞典科学家在斯德哥尔摩诺贝尔物理研究所宣称, 用  $^{13}\text{C}^{4+}$  离子轰击钷-244, 获得 102 号元素. 但是, 他们的实验不够严密和精确, 重复性不好, 疑点颇多, 得不到充分支持. 他们将 102 号元素取名为 nobelium —— 锗, 符号是 No.

1957 年末, 弗辽洛夫等人认为他们可能已在苏联杜布纳原子能研究所实现反应

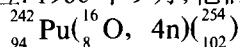


他们用核乳胶测量了  $\alpha$  粒子的能量, 但新元素未取得化学确认.

1958 年 4 月, 吉奥索、希克兰、沃尔顿和西博格在伯克利辐射实验室用 60—100MeV 的碳离子轰击钷-246. 实验中束流参量较诺贝尔研究所超过很多, 实验的灵敏度高. 新元素是用离子交换法分离的, 确认对象也是一个个原子. 但他们得不到斯德哥尔摩的结果, 从而将其否定.

1961 年初, 吉奥索、希克兰、拉什和拉提默宣称, 在合成 103 号元素时可能制得  $(^{255}_{102})$ , 其  $\alpha$  衰变半衰期为  $T = 15\text{s}$ .

1963 年, 弗辽洛夫等宣称实现了一系列反应. 1966 年 9 月, 他们又实现反应

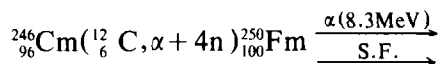


他们还测得  $(^{251-257}_{102})$  的性质, 其中  $T = 3\text{min}$ ,  $E_\alpha = 8.11\text{MeV}$ .

弗辽洛夫等比较苏美两家数据, 发现所测  $(^{254}_{102})$  发射的  $\alpha$  粒子能量相近, 但半衰期相差甚远. 他们就伯克利所获核素  $(^{254}_{102})$  与杜布纳所获核素  $(^{256}_{102})$  加以评论, 前者  $T = 3\text{s}$ ,

$E_\alpha = 8.5\text{MeV}$ ; 后者  $T = 6\text{s}$ ,  $E_\alpha = 8.41\text{MeV}$ , 认为这不合理. 他们指出,  $N = 254 - 102 = 152$  是一中子壳层,  $(^{254}_{102})$  应比  $(^{256}_{102})$  更加稳定,  $\alpha$  粒子能量应更小, 半衰期应更长; 而他们所得  $(^{254}_{102})$  的性质 ( $T = 50\text{s}$ ,  $E_\alpha = 8.11\text{MeV}$ ) 和  $(^{256}_{102})$  的性质 ( $T = 6\text{s}$ ,  $E_\alpha = 8.41\text{MeV}$ ) 则比较合理.

弗辽洛夫等推论伯克利 1958 年的实验结果应是



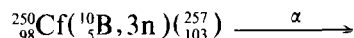
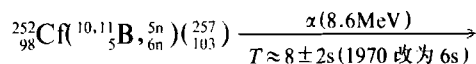
他们并提出裂变产物的同质异能态中有一个  $T = 3\text{s}$  的核素, 原子序数  $Z > 100$ , 可能是在碳离子轰击钷靶不久即已产生, 被吉奥索等误认作  $(^{254}_{102})$  的半衰期了.

1966 年末, 吉奥索小组对 102 号元素诸核素进行检测, 所得  $(^{251-255}_{102})$  的性质与杜布纳基本相同, 但  $(^{256}_{102})$  的半衰期则为  $T = 3\text{s}$ , 较 6s 为短.

弗辽洛夫等认为他们于 1963—1966 年做的工作才是对 102 号元素的确证, 而吉奥索和西博格等则坚持认为是伯克利科学家于 1958 年首先发现了 102 号元素.

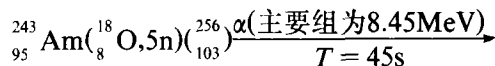
#### 五 103 号元素的困惑

1961 年 4 月, 吉奥索、希克兰、拉什和拉提默宣称用 70MeV 硼离子轰击 3 微克钷 (含  $^{249-252}_{98}\text{Cf}$ ) 而获得 103 号元素, 反应式为



他们将所得元素命名为“lawrencium”, 即“钷 Lr”. 实际上他们只进行了核鉴定, 未作化学确认.

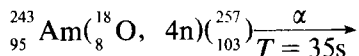
1965 年, 弗辽洛夫等实现反应



吉奥索等于 1968 年实现反应:  $^{249}\text{Cf}(^{11}_5\text{B}, 4\text{n})(^{256}_{103})$ , 与弗辽洛夫等的反应产物相符.

1967 年, 弗辽洛夫等将  $(^{256}_{103})$  的半衰期改为  $T = 35 \pm 10\text{s}$  (70 年代又改为  $31 \pm 3\text{s}$ , 并实现反

应



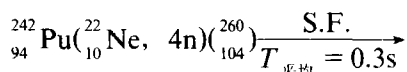
他们所获得的 $({}_{103}^{257})$ 的半衰期与伯克利迥然不同。

不久,美国出版一份同位素表,称1961年合成的不是 $({}_{103}^{257})$ ,所测得的 $T=8\pm 2\text{s}$ 、 $E_{\alpha}=8.6\text{MeV}$ 是由核素 $({}_{103}^{258})$ 或 $({}_{103}^{259})$ 所产生。但苏联学者指出 $({}_{103}^{259})$ 只能由反应 ${}_{98}^{252}\text{Cf}({}_{5}^{10}\text{B}, 3n)({}_{103}^{259})$ 产生,应具有较窄的激发曲线;然而,伯克利于1961年所得激发曲线却比较宽。

自80年代起,吉奥索和西博格等将1961年的反应式作了修改。这样,苏联学者便认为103号元素是1965年在杜布纳发现的。

### 六 第104—106号超铀元素

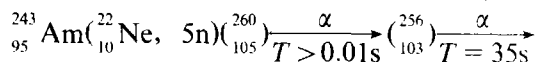
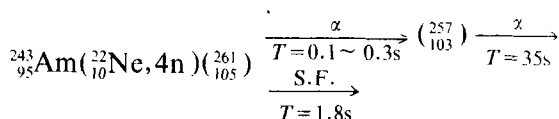
104号:1964年末,弗辽洛夫和奥甘涅祥等以113—115MeV的 ${}_{10}^{22}\text{Ne}^{4+}$ 离子轰击二氧化铀,实现



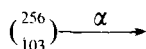
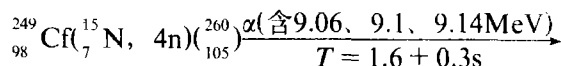
1969年奥甘涅祥测得 $({}_{104}^{260})$ 的自发裂变半衰期为 $0.1\pm 0.01\text{s}$ ;后来的实验数据不排除反应生成 $({}_{104}^{261})$ 的可能性,苏联学者用快速化学分离法对104号元素进行了鉴定。

1969年,吉奥索等用加速碳离子轰击60微克的铀-249,实现了一系列反应,并且宣称获得核素 $({}_{104}^{258})$ ,自发裂变半衰期为10ms。

105号:1970年2月,弗辽洛夫、奥甘涅祥等宣称实现

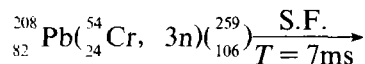
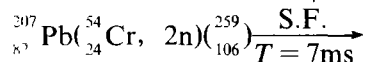


1970年4月,吉奥索等人以85MeV的 ${}_{7}^{15}\text{N}$ 离子轰击60 $\mu\text{g}$ 的铀-249,实现

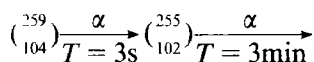
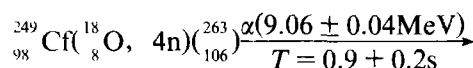


等反应。

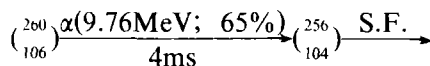
106号:1974年4月,奥甘涅祥等以280MeV的 ${}_{24}^{54}\text{Cr}^{8+}$ 离子轰击铅,实现



1974年9月,吉奥索等以95MeV的 ${}_{8}^{18}\text{O}$ 离子轰击铀-249,实现

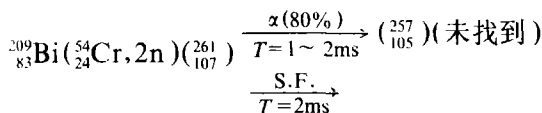


1984年初,西德达姆斯塔特重离子研究中心获得 $({}_{106}^{260})$ 的衰变链。

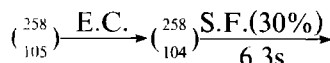
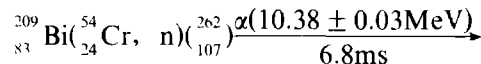


### 七 第107—111号超铀元素

107号:1976年奥甘涅祥等以260MeV的 ${}_{24}^{54}\text{Cr}$ 离子轰击铋-209,实现

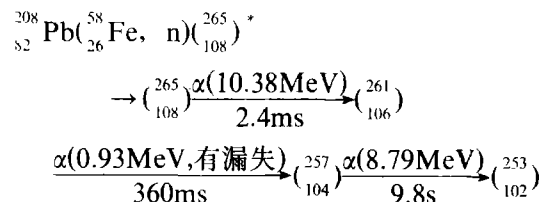


1981年4月,西德达姆斯塔特重离子研究中心的安布拉斯特、明曾伯格等人以260MeV的 ${}_{24}^{54}\text{Cr}$ 离子轰击铋-209,实现



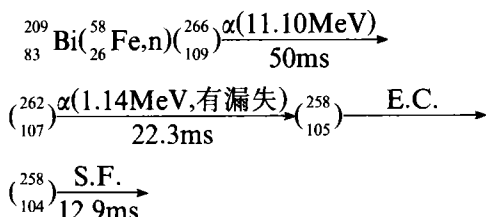
式中标出的时间是核寿命。

108号:1984年3月,安布拉斯特领导的12人小组利用291MeV的 ${}_{26}^{58}\text{Fe}$ 离子轰击铅-208,得到三个 $({}_{108}^{265})$ 原子,寿命各为24、22、24ms,反应如下:



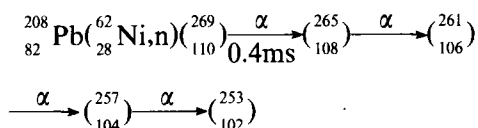
1984年5月,苏联科学家宣称,利用产生强大重离子回旋加速器合成108号元素,寿命比理论预言高一个量级,但具体材料未有透露。

109号:1982年8月,安布拉斯特、明曾伯格和霍夫曼等用299MeV的 $^{58}_{26}\text{Fe}$ 离子轰击铋-209而得到单个109号原子:

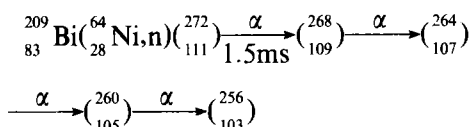


110号:1987年8月5日,弗辽洛夫宣布,以奥甘涅祥为首的苏、法、罗及当时的民主德国的科学家,利用热核反应,以重离子回旋加速器加速的强大钙、氩原子核轰击钷、铀的稀有同位素,获得40个110号原子,其平均寿命为0.01s,将发生自发裂变。不过,他们对这一结果并不十分肯定。

1994年11月初,在德国达姆斯塔特重离子研究中心,由安布拉斯特领导的12人研究小组获得了几个110号原子,反应式及衰变链为



111号:1994年12月,安布拉斯特小组又合成了111号元素,反应式及衰变链为



### 八 101—109号元素的命名

1994年12月,国际纯粹和应用化学协会(JUPAC)无机化学命名委员会,发表101—109号元素的命名,今逐一列出并附上汉译名:

原子序数	元素	汉译名	符号
101	mendelevium	钷	Md
102	nobelium	锗	No
103	lawrencium	镭	Lr
104	dubnium	钽	Db
105	joliotium	钷	Jl
106	rutherfordium	钷	Rf
107	borium	钷	Bh
108	hahnium	钷	Hn
109	meitnerium	钷	Mt

其中106号元素曾于1994年3月21日被美国化学学会命名为“seaborgium”,但鉴于西博格在世,国际上未加采用。

到目前为止,科学家们已发现19种超铀元素和大量核素。麦克米伦、西博格、吉奥索、弗辽洛夫、奥甘涅祥、安布拉斯特、明曾伯格和他们的合作者,都为新元素的合成作出了巨大贡献。西博格本人,曾为元素周期表中增添94—101号元素而竭尽全力;他还为获取93号元素的同位素、协助鉴定102号元素做了许多工作;他对超铀元素的进展始终表现出极大关注。

西博格的工作,为大量制造放射性核素做出了突出的贡献,为把放射性同位素应用于工农业、医疗卫生和科学研究事业开辟了广阔的途径。研究超铀元素,动摇了铀的最重元素和最重天然元素的地位,对于研究元素周期律、证实超重元素“稳定岛”的存在,对于提供特殊能源与发展原子能事业,对于研究元素起源、核结构、天体演化等,都提供了更加充分的科学论证。

西博格的著作(包括与他人合著)有:《超铀元素》(1949,1958)、《锕系元素》(1949)、《锕系元素化学》(1957)、《宇宙中的元素》(1958)、《同位素表》(1958)、《人造超铀元素》(1963)、《重元素的核性质》(1964)、《人造元素》(1969)、《教育和原子》(1971)、《人类和原子》(1971)、《原子能的里程碑》(1972)等等。