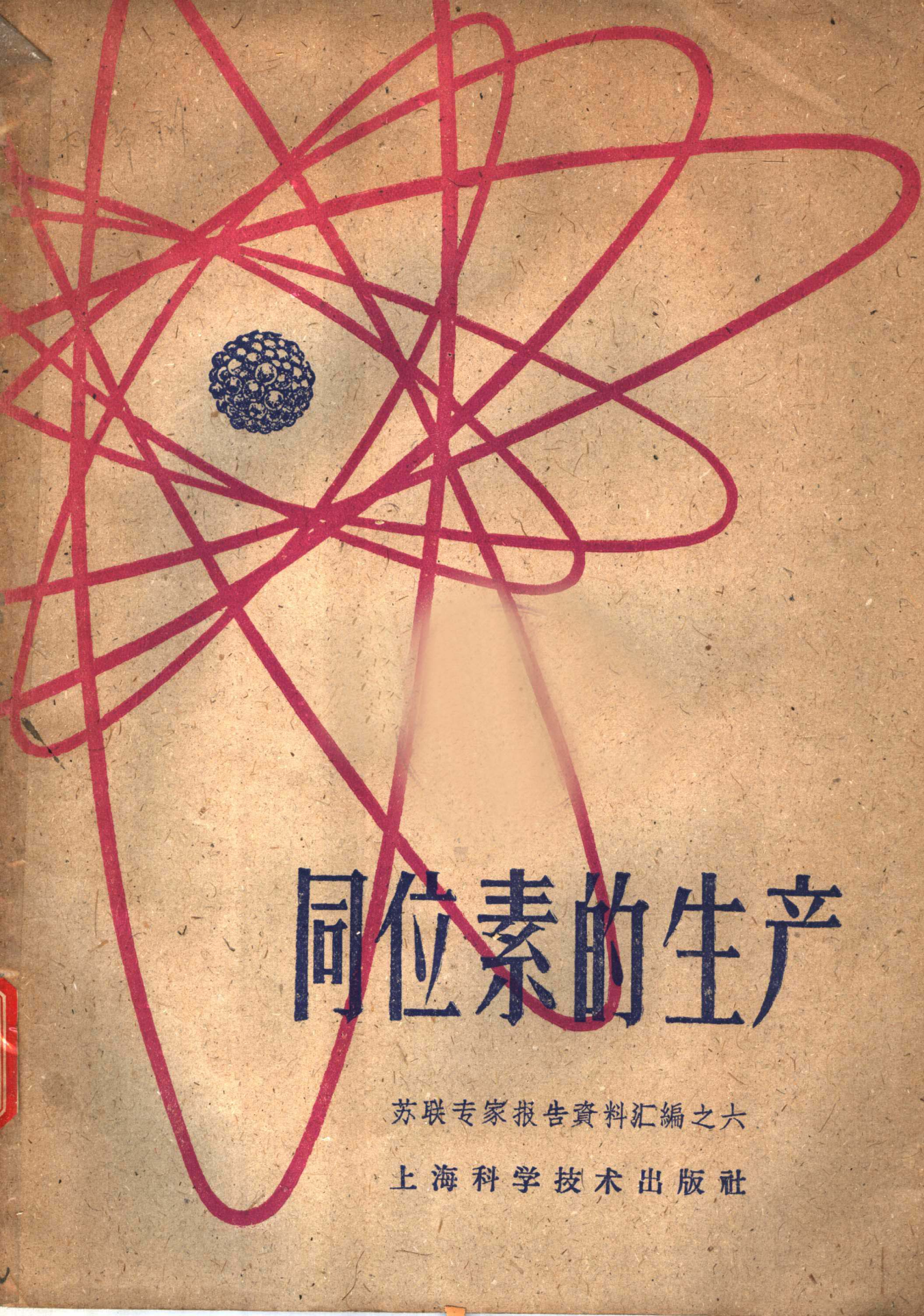
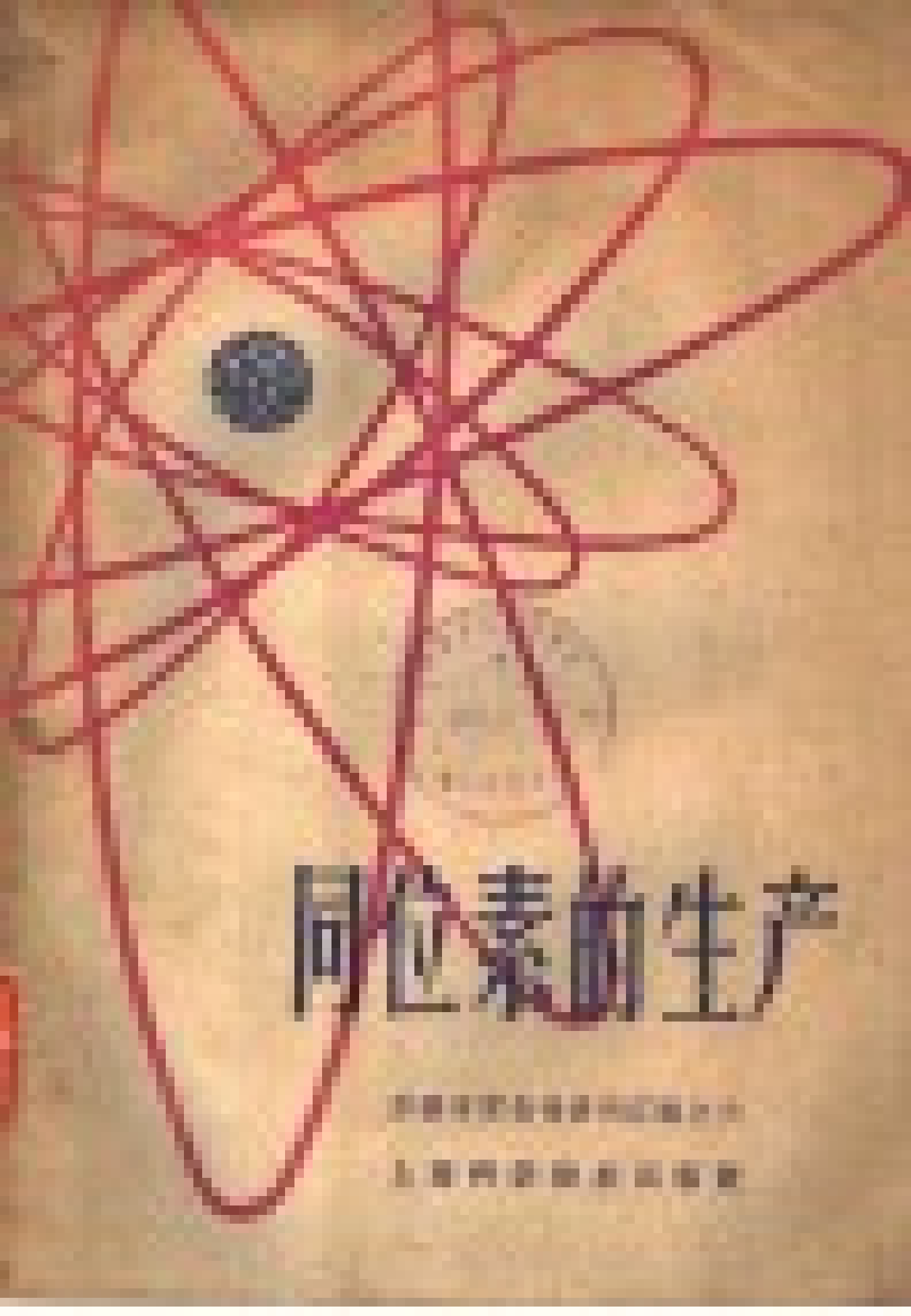




同位素的生产

苏联专家报告资料汇编之六

上海科学技术出版社



同位素的生产

苏联科学院物理研究所编 中国科学院物理研究所译

上海科学技术出版社出版

“内部资料、注意保存”

同位素的生產

蘇聯和平利用原子能科學
技術展覽會上海學習委員會

*

上海科學技術出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

上海勞動印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

*

開本787×1092 1/16 印張3 1/2 字數80,000

1959年5月第1版 1959年5月第1版第1次印刷

印數1—6,500

統一書號: 13119·278

定價: (十二)0.44元

前 言

苏联和平利用原子能科学技术展览会,在上海展出期间,苏联专家组的全体同志,向来自全国 26 个省、市科学研究机关、高等学校、工厂、医院等的科技人员作了百余次的专题报告和座谈会。为了使这些报告更广泛地满足我国原子能科学工作者的需要起见,因此根据报告内容汇编成: 1. 热核反应和反应堆; 2. 放射性同位素在工业上的应用; 3. 放射性同位素在农业和生物学上的应用; 4. 放射性同位素在医学上的应用; 5. 放射性同位素在地质勘探上的应用; 6. 同位素的生产; 7. 防护技术等七本专辑。这些讲稿,有的是从原稿翻译,有的是根据记录稿整理,因时间匆促,水平有限,在内容上一定有不少错误,希望各地读者阅后提出宝贵意见。

苏联和平利用原子能科学技术展览会上海学习委员会
一九五九年三月

目 次

1. 稳定同位素的生产.....	1
2. 放射性同位素的生产.....	11
3. 放射性同位素的生产(具体工艺).....	22
4. 生产放射源的几个问题.....	30
5. 关于建立放射化学实验室的一些问题.....	36
6. 关于同位素生产的座谈会纪录.....	41
7. 核辐射在化学中的应用远景.....	50

1. 稳定同位素的生产

E. E. 庫里施

如果說放射性同位素的应用途徑現在已广泛地察明且在較大程度上掌握了, 則富集的穩定同位素的应用問題很大一部分暫時还有待解决, 显然, 最初的一些实验已給出极有希望的结果 [7, 8, 等]。

以稳定同位素作“示踪原子”的方法是研究得最多的。它广泛地用在化学、生物学、地质学及其它若干科学领域中。稳定性同位素对同位素的物理化学及核的性质研究及其系統化也有很大的帮助。最后, 稳定同位素在原子核工程上也有广泛的应用, 在原子核工程中它們可以用作“特殊”性能的材料, 例如当某一种稳定同位素的含量增加时可增加某物质的有效捕获截面或相反, 使其减少等。大家都知道重水在核反应堆中作为减速剂用的。已分离和富集的穩定同位素在放射性同位素的生产中应该起很重要的作用。的确需要指出, 同位素的分析方法是够复杂的, 这使得已分离的稳定同位素的应用也复杂, 但稳定同位素沒有任何射綫 (这种射綫在实验进行中会改变某些化学过程, 除此以外, 对实验者还有危险), 因此这一点在某种程度上就补偿了由于稳定同位素分析的复杂而产生不便之处。

生产稳定同位素的工艺基础

在稳定同位素的分离技术中所应用的很多方法都是根据稳定性同位素的物理化学性质及物理性质的不同。在这些方法中包括常温和低温精餾、化学交换、电解、电磁法、扩散法、热扩散法及其他等等。

已建立大量能生产較大量同位素的特殊机构及设备, 例如能生产 D 、 B^{10} 、 N^{15} 、 O^{18} 等。利用电磁法可以生产很多其他同位素, 其中包括稀土及鉑系元素, 这方法虽然在經濟上比其他方法較为不合适, 然而由于其普遍性及灵活性而日益增长着用途。电磁分离器的工作原理在近代物理 [9] [10] [11] 等中已介紹得很清楚, 应用不同类型的質譜計已有 20 多年, 其原理是在离子源中形成的且在纵向电场中加速的某元素的离子当在横向磁场中运动时, 它們便按 $\frac{m}{e}$ 值的不同而被分成几种。

現在簡短地提一下質譜儀的基本公式的推导

正如大家所知道的, 質量为 M , 电荷为 q 的离子, 当其在电位为 u 伏的平面电容器的均匀电场中运动时, 其动能为:

$$\frac{Mv^2}{2} = qu \quad (1)$$

同时,也知道在磁場强度为 H 奥斯特的磁場中,运动的质量为 M (克),电荷为 q [c. g. s. e 单位] 的离子的轨道半径 g 系由离心力和由磁場而致的作用力相等的条件

$$\frac{Mv^2}{g} = qHv \quad (2)$$

所决定或者如以 c. g. s. e 为单位則

$$\frac{Mv^2}{g} = q \cdot 3.33 \times 10^{-11} H v \quad (3)$$

因此当离子在加速电場及聚焦磁場中运动时有:

$$\begin{cases} \frac{Mv^2}{2} = qu \\ \frac{Mv^2}{g} = 3.33 \times 10^{-11} q H v \end{cases}$$

消除 v 得到

$$Hg = \sqrt{\frac{2Mu}{3.33 \times 10^{-11} q}}$$

引入电离的次数及质量数 A 得

$$4.8 \times 10^{-10} \text{cgse} = 4.8 \times 10^{-18} K \text{ 伏}$$

$$M = 1.66 \times 10^{-24} A \quad \text{則} \quad Hg = 144 \sqrt{\frac{Au}{K}} \quad (3)$$

其中 H 表示磁場强度以奥斯特为单位,

u ——加速离子电压以伏特为单位;

A ——离子质量以原子单位为单位;

K ——电离次数;

g ——离子轨道半径。单位—厘米 cm。

因此当电場及磁場一定时不同质量的离子将按不同半径的軌迹运动。

現在已制成有大量的不同类型的质谱計,然而要能利用它們进行同位素的生产分离,尚必須解决一系列复杂的问题,特别是:

1. 建設几十吨乃至几百吨重的强功率磁鉄,保証发散角度大的綫束的无光差聚焦磁場。
2. 建造强功率且能可靠地工作的真空电子仪器。
3. 将离子源的生产能力提高到普通质谱分光仪的 10 万倍等等。

所有这些任务均已成功地解决了 [12], 現在在苏联有着十几个不同类型的大电磁設備。虽然仪器构造是多种多样的,但可以把它們分成 6 个基本部分。下面将簡短地将其結構加以介紹:

1. 磁鉄的分离室: 强功率的仪器在工作时一般系利用不均匀的磁場和 180° 的聚焦角, 这种设备的色散为 $\delta = \frac{\Delta M}{M} \rho$, 这就是当测量离子质量时离子束分离的大小, 其单位通常为毫米每 1% 质量的相对差数。所用的磁鉄按其軌的形状和大小有所不同, 例如便于实验用的单室仪的磁鉄的重量为 220 吨, 需要 45 仟瓦的功率及空气冷却, 磁鉄的大小为 $H=3.8$ 米, $l=5.0$ 米, $d=2.8$ 米, 当室的面积为 2435×1478 毫米²时, 隙間距 350 毫米的磁場强度为 8000 奥斯

特, 每1% 相对质量差的色散为9毫米。四室装置的磁铁重480吨, 需要250仟瓦的功率, 在350毫米的间隙中产生5500奥斯特的磁场, 磁铁的大小为 $H=6.3$ 米, $l=10$ 米, $d=4.6$ 米。

室的結構也有很多共同之点, 仅在另件上、大小上及源和接受器的窗戶的数目上有所不同。例如第一图表示的单室仪器的室正如上面已述面积为 2435×1478 毫米² 而 B. M. Гусев A. B. Гусель 及 M. И. Гусев 为分离锆及鎂的同位素所用的仪器室的全部面积仅有 920×1500 毫米² [13]。

室一般系由黃銅制成, 上部及下部四壁盖有一层板同时作为两极端。为要保护室不致过热将室用冷水冷却, 在室中保持 $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 毫米水銀柱交的真空。

用来制取大量分离同位素的仪器, 一般系有几个室以一个共同的磁导体联結起来, 这可使得經濟上更合算些, 且可在結構上改进仪器。例如在苏联用一个四室仪器, 其大小为 $1470 \times 3870 \times 350$ mm。每一个室可以用1个2个或3个离子源工作(这就是有12道)。

在有些情况下常利用軸对称的磁场设备。这样一种设备曾詳細地刊载于原子能杂志 №12 期3卷1957, 这是用来分离重元素的同位素的。在这个设备中聚焦角为 225° 。每1% 质量相对差别的色散为20毫米。当射线束偏轉的角度为 φ 时 $\delta = \left(\frac{\varphi}{\pi}\right)^2 \frac{\Delta M}{M} \rho$ 。真空室由不銹鋼焊接成, 以一个离子源計算, 磁铁重32吨, 所需功率为10仟瓦, 場强4200奥斯特, 磁繞阻用水冷却。

2. 真空及电子设备: 要在有气体产生的体积达7000立升的金属室中建立 10^{-5} 毫米水銀柱的压力是一个很复杂的工程問題。为此在苏联已造出了强功率的真空联合机 [14], 使得有可能用最短时间使室准备好。

这些联合机的組成部分为: 1个或2个 H-20 型的油蒸汽分餾系, 在压力为 $1.10^{-5} \sim 1.10^{-4}$ mm. Hg 柱压力时其产率为20000立升/秒, BH-3 型輔助系及 BH-1 型的机械前泵。在从大气压开始抽气时系用 BH-4 前泵預先抽气。

仪器的电子设备系由下列主要部分組成:

- (1) 磁铁繞阻的电源部分;
- (2) 源的电源部分 (30~35 仟瓦);
- (3) 聚焦角及加速离子用的稳定高电压部分;
- (4) 射线束位置及聚焦自动控制部分;
- (5) 接受器的电源部分;
- (6) 譜的記錄部分。

所有电路应保証电场及磁场有高度稳定性, 同位素分离的品质系直接由 H 及 V 的恒定性所决定。离子轨迹半徑的相对变化与这些数值之間的关系为:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta H}{H} = \frac{1}{2} \frac{\Delta V}{V}$$

因此如果认为在引入接受器时射线束的偏差可达 $\frac{1}{21} \rho$, 那末当 $\rho=900$ mm 时对最重的元素說应使磁场稳定到精确为 0.02%。在最好的设备中磁场的稳定性可达 0.005%, 而电场稳定性可达 0.03%。

3. 离子源及接受器: 离子源的质量是决定分离设备生产率的主要因素, 因为后者直接决

定离子源的大小。在相对分布为 c 时在 t 时间的連續操作中最大的同位素聚集量可用下式粗略估計

$$p = 0.0373 J t M_0 \text{ 克}$$

其中 J 表示落向接受器中的离子源用安培做单位；

t ——運轉時間(小时)；

M ——同位素的质量(原子质量单位)；

c ——在天然混合物中同位素的百分含量。

这种估計是相当粗略的，因为未考虑很多重要因素，例如同位素在接受器中的捕集系数，在取出时的损失等等。

正电荷离子可用不同方式制得：

- (1) 在低压下气体放电；
- (2) 利用真空中高频火花；
- (3) 用慢电子使被研究的气体电离；
- (4) 热电子发射。

最初質譜分光分析的試驗系利用气体放电中所得的离子来进行的，然而从最新分离技术的观点看来，用电子碰撞法生成离子是最有意义的，因为这种方法是最普遍的，用它可得到任意元素及其化合物的离子。

离子源应能符合下列要求：

- (1) 給出稳定的，聚焦良好的单能量的离子流，其强度約达几十或几百毫安培。
- (2) 有較高的物質利用系数，即是說在譜中离子流的强度为最大值时，具有較高的电离程度。
- (3) 保証各种原始物質在其較寬的蒸发溫度圍內能进行工作。
- (4) 保証很長時間內稳定的工作。

現在利用的离子源按工作溫度不同可分成下列三組：

- (1) 低温或万用源——800 到 900°C 时工作；
- (2) 高温源——800 到 1500°C 时工作；
- (3) 超高温源——其溫度可达 2800°C。

每一种源由 3 个基本部分组成

- (1) 高伏特輸入处；
- (2) 气体放电头；
- (3) 加速及聚焦系統。

高伏特的輸入处系作为气体放电头及加速电极系統的固定之用，也是为要引入电綫及冷却水导管以及引入測量工作物質溫度的热电偶之用。

气体放电头由座架，放工作物的坩堝，气体分配室，气体放电室(阳极)，阴极及坩堝炉所組成。头的外壳用水冷却。

在面對加速电极的室壁上割开一个长方形的狭縫，以引出离子，狭縫的高及寬可以改变。加速及聚焦系統是由不同形状的一套电极所組成，其中饋以以数十仟伏的穩压，这个系統的用途是抽出及加速在电离室中所形成的离子。

在原理方面前二种类型的源是一样的,其区别仅在于蒸汽引入系统以及零件的总的结合。例如要减少热量的损失在高温源中所用的系统是—种单柜系统,其中坩埚蒸汽分配器及气体放电室组成一个部件,用防热屏保护。在超高温源中系用电子(20~25 仟电子伏特)撞击电离室的表面来加热的,在电离室中放置有坩埚及待分离物质,此超高温源主要用于分离钨-钼族的同位素。

离子接受器及其制备材料的选择系由待分离的同位素的量、元素的物理——化学性质及仪器的色散所决定,后者显著地使接受器的构造复杂化,接受器要能保证扑集最大多数的离子并要有好的散热性。接受器通常是由几个铜的或石墨制的盒子所构成,这些盒子彼此是隔开的,其数目视待分离的同位素的数目而定。离子的扑集系数由 0.3 到 1.0 不等,视元素的挥发度及盒的构造而定。

可用测定在限于离子束中某一线条中的特殊基点(检验器)上的电流使束对准接受器,也可利用安放在接受器的一个盒或所有盒中的指示器控制次级电子的发射来对准之。

在操作过程中盒子的壁系直接处于离子的轰击之下,将被强烈地破坏,因此接受器的服务时间约为几万毫安小时。

我们已经讲过,电磁分离法是极其普遍的,例如在苏联用已有的设备在由 266 同位素构成的已知 62 种多同位素的元素中分离了约 50 种元素的 222 种同位素,其中有某些制成的同位素可以用公斤为单位来表示其产量。当然,仪器需要极长的操作时间。

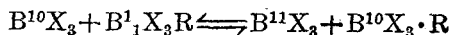
其他的方法有更高生产率,然而其普遍性较差,仅可能供一种元素或不大的一组元素分离之用。根据这些方法建立的设备一般说来系由完全相同的环节所组成的串级或由具有很多理论板数的高柱所组成,因为这样一种柱一次的分离系数只比 1 稍大一些。

精馏法系根据不同同位素化合物挥发度的不同。可以用精馏法获得富集 B^{10} 的方法为例加以说明 [17]。在长 12 公尺、直径 12 mm 的柱内,蒸馏 BF_3 得到 83% 的 B^{10} , 其产量为 4.5 公斤/年。精馏系在 $103^\circ C$ 630 mm 水银柱高的压力下进行。柱系由德国银做成,用直径为 1.2 mm 的康铜线圈作填料。

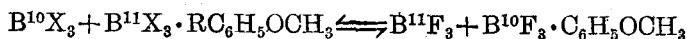
在很多工作 [18, 19] 等叙述了精馏 BCl_3 的方法。

用精馏法可由液态氩制得 HD。

在 1953 年 T. M. Панпенков В. Д. Ионсеева. В. Макаров 建议利用气态卤化硼 (BX_3) 及其液态络合物 $BX_3 \cdot R$ 之间的同位素交换反应来分离硼的同位素方法。



特别是



他们证明轻同位素 B^{10} 富集于液相。

在这种基础上,作者们建造了工业规模的设备,今极简单地以图表之(图 1)。

在贮藏器 (1) 及 (2) 中倾入溶剂苯甲醚,然后将 BF_3 通入其中之一,例如 (2) 使其饱和,令液态络合物由贮藏器进入柱 (3) (系由同心柱所构成),两柱之间有一定温度的水在循环。

管内系用 Фенске 式玻璃圈填满,其直径 12.5 mm, 厚 0.7 mm; 在通过柱以后,液体络合物进入炉中,加热到 $140 \sim 150^\circ C$, 此处络合物分解,放出的气态 BF_3 再进入柱中与液体络合物对流仅进入容器 (1)。这样在整个柱中液体苯甲醚络合物及气态三氟化硼之间进行同位素的交

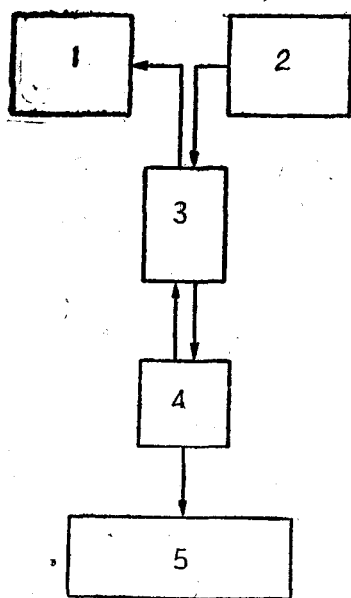


图 1

换。富集了 B^{10} 的液体络合物收集于容器 5 中,而贮藏器(1)中的络合物则富集了 B^{11} 。这一过程重复了很多次。三节 Cascade 由 4 个塔组成全长为 18.5 公尺,其理论层高度 5cm,分离系数 1.013,可在第一步 10.3 公尺的塔中分离后得 76% 的 B^{10} 的浓集液,在第二塔(长 5.2 米)后得 92%,第三塔(长 3 米)后则可能得 96% 的浓溶液 B^{10} 。当流速 10 毫升/分时产量为 16 克/昼夜。

为要得到小量的若干气体的高度浓集的同位素可用在蒸汽气流中扩散的方法分离同位素,设备很简单。1957 年 И. Г. Гвердцитени 及 В. К. Цхакая 叙述了分离很多气体用的简单泵 [15], Cascade 由 80 个玻璃做的系所组成。用这种泵可得 Ne^{22} 和 Ne^{20} (其浓度达 99.99%) Ar^{36} (浓度可达 45%) 以及其它若干气体。在 1958 年他们又研究了扩散柱,效果很好 [20]。辅助蒸汽(二甲苯)在蒸发器 1 中形成,通过蒸汽供给管(1)进入充满被分离的同位素混合物的器皿中。蒸汽进入蒸汽供给管及隔膜(3)之间的空间(4)。气体的主要部分通过

薄膜的孔隙进入内冷凝器(5)。凝聚液沿着冷凝器的壁回到蒸发器中去。有少量补充部分的气体进入空间(1)的下部,因而在空间(1)中除有蒸汽的径向运动外尚有蒸汽的垂直流形成,被它带走的气体分子进入外冷凝器(7)。气体由外冷凝器进入内冷凝器及薄膜间的空间(2)同时向下流动。在柱的下部气体扩散到正在进入柱的纯蒸气中去又回到了空间(1)。这样就形成气体的闭流,其大小可用进入空间下部及给出到外冷凝器(7)的蒸气的流速来控制。径向蒸汽流将同位素的气态混合物排挤到内冷凝器的壁上,因此蒸汽中,沿着柱的直径产生了气体浓度梯度。

产生的扩散流倾向于抵消这种梯度。由于不同同位素扩散能力的不同,在建成的系统中较轻的同位素与较重的相比以更快的速度向隔膜扩散。结果上升的蒸汽流中轻同位素较为富集而向下流的蒸汽中此同位素较为贫乏。

基柱的薄膜系由 1 米长的不锈钢所构成,直径 4 cm,有效厚度(从扩散观点看来相当于薄膜的气体层的厚度) 0.6 cm,薄膜两边的空隙为 0.35 cm,每 10 个柱组成一个 Cascade 用这种 Cascade 可分离同位素 Ne^{20} 和 Ne^{22} 。产物中 Ne^{22} 的浓度为 99%。取样的速度为 400 H. cm³/昼夜。氦、碳及其它许多轻的同位素都可用此法分离。

气体扩散法与上述的在蒸汽中扩散的方法有所不同,它较为复杂,其区别在于它穿过薄膜向真空扩散。由于轻的分子运动速度比重的分子快,故其向隔膜孔隙碰撞的次数比重的分子碰撞的次数多,使轻同位素向真空穿透的能力较大,因此使得混合物中同位素的比例得以改变。气体扩散法广泛地应用在从 UF_3 的气体中分离铀的同位素。热扩散法系根据了由于在混合物中产生温度差而引起的同位素组成的改变可使不同同位素扩散的速度改变。

热扩散柱常系一个轴直径为 8~100 cm 的金属或玻璃管,其中有一伸直的铂丝,直径为 0.4 毫米,可用电流加热。管的外部加以冷却。用来分离氯的同位素的装置有 5 个长为 7 及 8 米的柱,2 个长为 6 米的管及一个长为 9 米的管,在下部每天收集 8 cm³ HCl,其中 Cl^{37} 的含

量为 99.4%，而在上部每天收集 $25 \text{ cm}^3 \text{ HCl}$ ，其中 Cl^{35} 的含量为 96.6%。

用电解法作为分离同位素的工具，是第一次以工业规模来生产重氢的方法，然而尽管其所得的产量通常是很高的，但用这种方法生产不一定是有利的，因为它的单位生产量所消耗的能量太大。对其他同位素来说分离系数太小了以致使这种方法没有价值。

用低温蒸馏 [21] 的方法制取重氢更有意义。这种方法是根据 D_2 及 HD 以及 H_2 沸点的不同（各为 23.5°K 、 22.8°K 以及 20.38°K ），使富集系数可达 1.1（这已足够高了）。在苏联已建立了两个实验性设备，每个塔约 9 米高，其中有 53 个泡罩板直径为 150 毫米。产量如以被分离的气体说为 70 公尺³/小时，其中 HD 的含量由 0.05% 计高达 2.5%，提取度大于 95%。

在这些实验性设备的基础上曾经研究了并创造了电解氢制取重氢的工业设备如图 2。被分离的原料在压缩机 (1) 中被压倒 2~4 大气压；通过热交换及过滤除去湿气、油及氮的杂质，然后在 $24^\circ\sim 26^\circ\text{K}$ 时进入分离柱的 (3) 中部。液体的馏分系在柱的蛇形管中获得，其中氢系由压缩机 (5) 加以压缩液化。在气液对流中发生分子的交换，其中饱和蒸汽压较大的液体分子富集于气相中，而饱和蒸汽压较小的分子富集在液相中，线路 (6) 供应 40~70 大气压的氢，用来补偿向周围介质损失的冷度。热交换器及柱都使用液态氮冷却。分离柱有 77 个泡罩型的塔板，直径为 1050 mm，这套设备每小时能处理 4000 立方公尺原始气体，在处理 HD 含量为 0.03% 的原料时，收集的产物 HD 的浓度可达 7.9%，提取度达 85~90%。仪器可连续操作 2 个月以上。这些就是制取已分离的稳定同位素的基本方法。

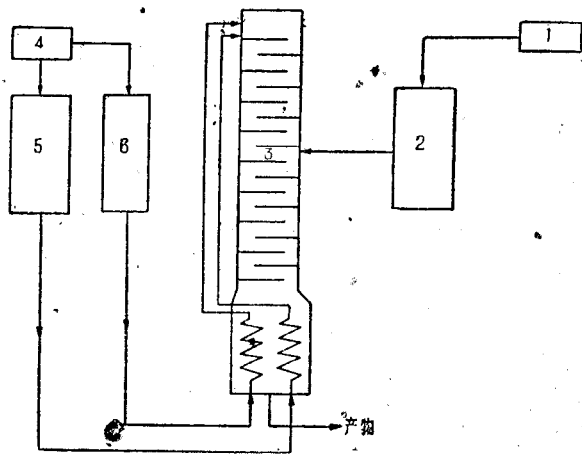


图 2

同位素分析方法

正如同分离法一样，稳定同位素的分析方法也是极其众多的，这些分析方法根据的是同位素质量的不同、磁矩的不同、活化截面的不同以及其他等等。最常用的方法有密度法、质谱法及活化法，我们将简短地介绍一下。

密度法主要利用同位素混合物密度的不同，在这组方法中最特征的代表是浮沉子法及点滴法。其中第一个方法系得小的石英浮沉子或者某元素的盐的小晶体 1 到 2 毫克浸在含有待研究的同位素的液体中，测量其达到没有差别时的平衡温度。例如锂或钠的同位素组成可由相当的 LiCl 或 NaCl 的密度来加以测定。浮沉子法可以极其简便地以很高的精密密度测得密度差。点滴法系根据测量研究样品的小滴在已知密度的液体中落下的速度。密度法要求将研究的样品用化学方法加以仔细的纯化，这往往不是简单的。

更普遍的是同位素的光谱分析法，这是根据元素的光谱线的同位素位移。这种现象能使我們根据比较同样光谱线或光带的强度来确定同位素分子在混合物中的比例。同位素光谱分

析在高度的灵敏度时,不需要将样品加以特殊的纯化以除去杂质。除此而外,这方法可用来测定有不同程度同位素置换的分子浓度 (NH_2D 、 NHD_2 及 ND_3)。比较新的而更有前途的方法是活化分析法,这方法是根据对被研究的稳定同位素实施核反应。这方法可用中子源加以实现的,然而其灵敏度是随着中子场的密度的加大而增加。当被研究的样品放到核反应器中去照射可以记录某一同位素存在量 $10^{-10} \sim 10^{-15}$ 克。

上面所提到的方法已有很大的优点——方法简便——同时也有很大的缺点——应用范围有限。

最普遍的,同是也是最广泛的同位素分析法是质谱计的方法,此法无例外地适用于所有的元素。

用质谱计方法可迅速地由一些同位素的分析转到其他同位素的分析,质谱计有很好的鉴别能力,高的灵敏度及测量的精确度。其物理基础与我们在上面讲过的同位素的电磁分离法是相同的。

在苏联已研究出并制造出一批质谱计,其详细的特征可在“原子能”杂志 5 卷 4 期 474~475 页 (1958 年) 中找到,我们仅列出其简短的摘要。

质谱计的类型	特 征	测量质量 的范围	鉴别 能力	当分析同位素 时的相对误差 以 % 表示 (对 平均数值的比 例)	灵敏度	磁场的最 大强度 (奥斯特)	加速 电压 (千伏)	启动 时间 (小时)	外廓的大小 (mm)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MN-1301	分析气体及易挥发的液气同位素组成用的	2-40	300	± 0.2	0.001	7000	2-3	2-3	$2200 \times 1800 \times 900$
MN-1303	供气体、液体和固体及蒸气的同位素分析之用	1-250	300	± 1.0	0.01	6000	3.4及5	2-3	$2600 \times 1800 \times 960$
MN-1305	供气体、液体和固体及蒸体的同位素分析之用;代替 MN1301 及 MN1303	1-400	300	± 0.2	0.001	—	—	2-3	$2600 \times 1800 \times 9600$
MX-1302	供气体及易挥发物质的同位素组成及分子组成分析之用	1-4 12-80	80	—	0.02	5500	0.8	2	$1200 \times 850 \times 1800$
MB-1303	供饱和和蒸气压在不超过 300°C 时已达到 0.5mm 水银柱的气、液、固体的同位素及分子组成的分析之用	1-600	400	—	0.02	—	2及4	—	—
MB-2301	供气体及易挥发物质的同位素及分子组成分析之用	1-100	500	—	0.0005	5000	2.5及5	3	$1900 \times 1890 \times 1285$
MN-1101	供合金金属的同位素分析之用	4-40	25-40X	$\pm 3XX$	—	1350-2300	0.6-1.2	1	$860 \times 650 \times 530$

X: 与仪器的型式有关, (XX) 按照用同位素标准混合物所得刻度计算。

除去列入的质谱仪以外,还研究了很多其他的系统,其中包括动力质谱仪,其工作原理系按离子在一定构型电场中飞过的时间加以分析的。

在 1951 年出现的 [23] 所谓射频质谱计有极大的鉴别能力,实际上这是以电子管作为填在其中的气体质量的指示剂。这种灯泡的工作原理已在 [10] 及 [11] 中详细介绍过,因此我们将不予叙述。放射光谱法仅用来分析那些有偶极矩的分子的。

从质谱学的目的来说可以应用能量大的荷电粒子的各种加速器。然而这种设备按其直接的用途或许比用于质谱学的目的更为合适。

文 献 目 录

- [1] Г. В. Курдюмов, М. Б. Нейман, Г. М. Фрапк
“Применение радиоактивных изотопов в СССР” Атомная энергия т. III в II СТР. 465(1957).
- [2] А. В. Топтнев, И. Т. Аладьев, П. С. Савидский
“Применение радиоактивных изотопов в СССР” Атомная энергия т. 5, в 3 СТР. 321(1958).
- [3] Н. Н. Шумиловский и Л. В. Мельтнер
“Использование в СССР ядерных излучений для контроля и автоматизации технологических процессов” Труды Всесоюзной Конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений. Изд. АН СССР, (1958).
- [4] А. А. Добринская “Применение радиоактивных изотопов в строительной промышленности” ТФН Т. LX в 2 СТР. 327 (1956).
- [5] Л. Полозова, Р. Рейзман “Определение влажности строительных материалов посредством гаммаскопии” Атомная энергия, т. II, в. 5 СТР. 476 (1957).
- [6] В. Н. Дахинов “Достижения отечественной науки и промышленности в области использования радиоактивных методов при поисках, разведке и разработке полезных ископаемых”. Труды Всесоюзной Конференции по применению радиоактивных и стабильных изотопов и излучений. Изд. АН СССР, 1958 г.
- [7] Кондратьев В. Н. “Применение меченых атомов и изучению механизма химических реакций” Доклад на Международной конференции в Женеве, август 1955 г. об. трудов т. 15 ООН (1958).
- [8] Туркэвич Дж. “Стабильные и нестабильные изотопы в гетерогенных каталитических реакциях”, Доклад на международной конференции в Женеве, август, 1955 г. об. трудов т. 15 ООН (1958).
- [9] Шпольский Э. В. “Атомная Физика” ГГГИ, Москва, 1949 г.
- [10] Рик Г. Р. “Масс-спектрокопия” ГГГИ, Москва, 1953 г.
- [11] “Экспериментальная ядерная Физика” Реа. Э. Сегр. т. 1. ИЛ, Москва, 1955.
- [12] В. С. Золотарев “Стабильные изотопы, обогащенные электромагнитным методом” Труды Всесоюзной Конференции по применению изотопов и ядерных излучений. Изд. АН СССР, Москва, 1958 г.
- [13] В. М. Гусев, ДВ. Чукасели, М. И. Тусев. “Разделение изотопов термания и магния в малом электромагнитном сепараторе”. Атомная Энергия т. IV № 9, 1957 г.
- [14] К. А. Савинский, “Вакuumное оборудование” Приборы и Техника лабораторной работы №9 1975 г.
- [15] И. Г. Гвердцители, В. К. Цхакая “Разделение изотопов легких элементов методом диффузии в парах”. труды всесоюзной конференции по применению изотопов ядерных излучений. Изд. АН СССР, Москва, 1958 г.
- [16] Т. Ф. Барвих и Р. Я. Кучеров “Диффузионная колонка для разделения изотопов”, Труды всесоюзной конференции по применению изотопов и ядерных излучений, Изд. АН СССР, Москва, 1958 г.
- [17] Международная конференция по миру использованию атомной энергии научно-техническая выставка, СТР. 30—31 (1955 г.)
- [18] Кач М. Я., Кукавадзе Г. М., Сердюк Р. Л., Ж. Т. Ф. т. 26 № 10 2401 (1956)
- [19] Кач М. Я., Кукавадзе Г. М., Сердюк Р. Л., Ж. Т. Ф. т. 26 № 12 2744 (1956)
- [20] Гвердцители И. Т., Кучеров Р. Я., Цхакая В. К. “Разделение изотопов методом диффузии в потоке пара. Доклад на 2-й Международной Конференции ООН по применению атомной энергии в мирных целях (В. печати).
- [21] М. П. Мелков, А. Г. Зельдович, А. Б. Фрадков, И. В. Данилов “Промышленное существование

выделения деутерия методом низкотемпературной дистилляции", доклад на 2-й международной Конференции ООН по применению атомной энергии в мирных целях, 1958 г.

[22] С. П. Тогатов П. С. Савицкий, Г. М. Фрадкин "Производство и Использование стабильных изотопов (в печати).

[23] УФН 63 301 1951 г.

2. 放射性同位素的生产

E. E. 庫里施

引 言

从所有可能利用原子能的形式中,放射性同位素和稳定性同位素的应用是我們所掌握的技术領域之一,它在現在已經給人类带来很大利益。

还在原子能工业产生以前很久,天然放射性物质和用实验室方法制得的微量人工放射性物质就已经比較經常地用于科学研究工作中和医学上。約在 1945~1946 年原子能技术开始了蓬勃的发展,因而不仅給实验室中同时也給工业上真正应用放射性物质开辟了广寬的道路。各种核反应堆和带电粒子的强功率加速器的出現,在几年中便奠定了生产人工放射性同位素的工艺基础并且安排了大量生产各种可能的化合物和用放射性示踪的成品。

人工放射性同位素由于价格低廉和具有一系列特殊物理性质日益排斥着天然放射性物质而在研究者手中成为强有力的武器,并且在技术,医学和农业中获得了极广泛的应用。

有关放射性同位素在苏联国民經济各部門的应用,即使是极其不完全的概論印起来也有好几十頁[参看例如 1 和 2]。这里最重要的研究是在有机和无机化学中和檢查化学工艺过程中以及在生物物理和医学等方面的研究。同位素最广泛应用于技术上、航空事业造船工业冶金工业、机器制造业、和化学工业中的探伤法;各种工艺檢查仪、水平仪、密度仪、厚度仪等等[3]也都应用得很广。在建筑工程[4, 5]中,在煤碳和石油工业[6]中应用同位素也能获得很有意义的結果。

一、有关核反应的某些概念

用某一种方法使核反应实现是放射性同位素示备法的基础,因此,我想简单提一下核反应理論中的某些概念。

稳定或放射性同位素的核与某基本粒子、另外的核或是电磁辐射(γ 射线)的一定形式的相互作用可称为核反应。

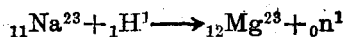
研究核反应和研究一般的化学反应有很多共同点。但,化学是和大量物质——克分子,毫克分子等的相互作用有关,而核反应理論是研究单个核的相互作用。当然,这就需要有特别的方法。

我們所要研究的核反应是在用較輕的核粒子袭击核时产生的,反应的結果可能得到一个或者几个核——产物。此时,核——产物的质量数或核子(质子+中子)数、还有电荷、即核内

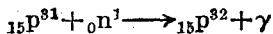
质子数、核外轨道上的电子数可能会改变几个单位。

为了记录反应的过程采用两种系统：

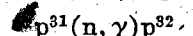
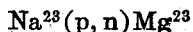
完全式



或

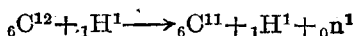


而简式

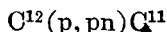


在第一个反应中——核产物的质量数和原核的质量数没有区别，而电荷则改变了一个单位，因而，得到在周期表中与原物相邻的元素的同位素。在第二种情况下电荷未变，但质量数改变了，因而我们得到的核——产物是同一元素的同位素。

下面一个反应是较复杂反应的例子：



或简写

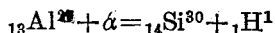


在这个反应中有两个核参加反应，而结果生成三个核。

研究了上面列举的反应可以指出下列规律性：

- 1) 在任何反应中总的电荷保持不变。
- 2) 总的核子数也不变。
- 3) 经典力学的运动积分不变，即总能量，冲量和动量不变。

为此，估计核反应的能量平衡是很有意思的，研究下一反应：



$$\text{Al}^{27} \text{ 静止核的能量} = m_{\text{Al}} c^2$$

$$\text{静止的 } \alpha \text{ 粒子的能} = m_{\alpha} c^2$$

$$\alpha \text{ 粒子的动能} = W_{\alpha} \text{ 等等。}$$

令 Q = 反应能，则

$$m_{\text{Al}} c^2 + m_{\alpha} c^2 + W_{\alpha} = m_{\text{Si}} c^2 + m_{\text{p}} c^2 + W_{\text{p}} + W_{\text{Si}}$$

或

$$\frac{W_{\alpha} - (W_{\text{p}} + W_{\text{Si}})}{c^2} = (A_{\text{Si}} + A_{\text{H}}) - (A_{\text{Al}} + A_{\text{He}}) = Q \text{ 反应能}$$

$$\left. \begin{array}{l} A_{\text{Si}} = 29.98290 \\ A_{\text{H}} = 1.00813 \end{array} \right\} 30.99103$$

$$\left. \begin{array}{l} A_{\text{Al}} = 26.99096 \\ A_{\text{He}} = 4.60386 \end{array} \right\} 30.99455$$

$$- 0.00352$$

考虑到 1 个质量单位相当于 931 百万电子伏特，则

$$Q_{\text{反应能}} = -3.28 \text{ 百万电子伏特。}$$

因此，由于一个反应就放出巨大的能量 (3.3 百万电子伏特)。

4) 量子力学的运动积分——宇称性和统计性也不变。

简单讲一下核反应的特征。

产率和截面 核反应的最简单特征是其产率。经常要考虑实验条件而确定的这个数值指