



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 169 405** <sup>(13)</sup> **C1**  
(51) МПК<sup>7</sup> **G 21 G 1/12, G 21 F 9/00**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000107659/06, 30.03.2000

(24) Дата начала действия патента: 30.03.2000

(43) Дата публикации заявки: 20.06.2001

(46) Дата публикации: 20.06.2001

(56) Ссылки: RU 2100858 C1, 27.12.1997. RU 2003191 C1, 15.11.1993. US 5764715 A, 09.06.1998. GB 2246467 A, 29.01.1992. EP 0099946 A1, 08.02.1984. СИВИНЦЕВ Ю.В. Трансмутация радиоактивных отходов в ядерных реакторах. - Атомная техника за рубежом, N 1, 1992, с. 3 - 10.

(98) Адрес для переписки:  
117485, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 27А-1

(71) Заявитель:  
Закрытое акционерное общество  
"НЭК-Элтранс"

(72) Изобретатель: Бутцев В.С.,  
Бутцева Г.Л., Зулькарнеев Р.Я.

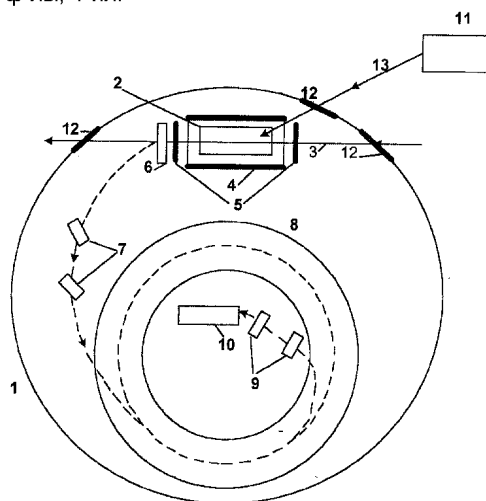
(73) Патентообладатель:  
Закрытое акционерное общество  
"НЭК-Элтранс"

### (54) СПОСОБ ТРАНСМУТАЦИИ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В КОРОТКОЖИВУЩИЕ ИЛИ СТАБИЛЬНЫЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерной физике и может быть использовано для обезвреживания долгоживущих радиоактивных изотопов, содержащихся, например, в радиоактивных отходах (РАО) ядерной энергетики. Трансмутацию долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные осуществляют под воздействием электромагнитного облучения. При этом из атомов долгоживущего радиоактивного изотопа получают глубоко ионизированные атомы с энергетически разрешенным каналом ускоренного  $\beta$ -распада из ядер и удерживают их в ионизированном состоянии до перехода материнских ядер в дочерние короткоживущие или стабильные. При заданном коэффициенте  $k$  наработки дочерних ядер удержание атомов долгоживущего радиоактивного изотопа в глубоко ионизированном состоянии осуществляют по меньшей мере в течение времени  $k\tau$ , где  $\tau$  - время жизни материнских ядер в условиях ускоренного  $\beta$ -распада. В качестве электромагнитного облучения могут быть использованы пучок ускоренных заряженных частиц (электронов, или протонов, или ионов) или поток фотонов. Облучение

пучком заряженных частиц может быть совмещено с облучением потоком фотонов. Технический результат заключается в том, что способ позволяет осуществлять эффективную трансмутацию долгоживущих радиоактивных изотопов без использования ядерных реакций столкновительного характера и образования побочных радиоактивных продуктов. 6 з.п. ф-лы, 1 ил.



RU 2 169 405 C1

RU 2 169 405 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 169 405** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **G 21 G 1/12, G 21 F 9/00**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 2000107659/06, 30.03.2000  
 (24) Effective date for property rights: 30.03.2000  
 (43) Application published: 20.06.2001  
 (46) Date of publication: 20.06.2001  
 (98) Mail address:  
 117485, Moskva, ul. Miklukho-Maklaja, 27A-1

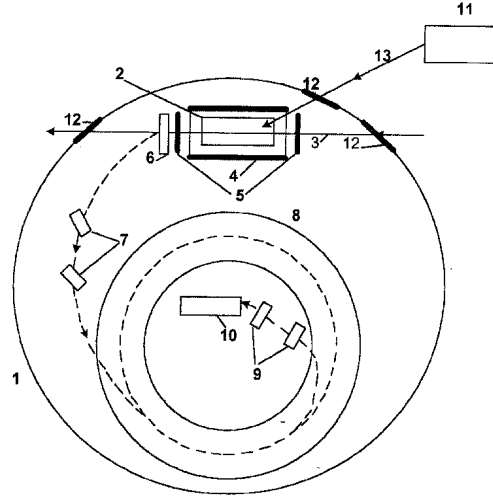
(71) Applicant:  
 Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo  
 "NEhK-Ehltrans"  
 (72) Inventor: Buttsev V.S.,  
 Buttseva G.L., Zul'karneev R.Ja.  
 (73) Proprietor:  
 Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo  
 "NEhK-Ehltrans"

(54) **METHOD FOR TRANSMUTATION OF LONG-LIVING RADIOACTIVE ISOTOPES INTO SHORT-LIVING OR STABLE ONES**

(57) Abstract:

FIELD: nuclear physics; decontamination of radioactive wastes and the like from long-living radioactive isotopes. SUBSTANCE: transmutation of long-living radioactive isotopes into short-living or stable ones is conducted under the action of electromagnetic radiation. In the process, highly ionized atoms with energy-resolved hole of accelerated beta-decay are produced from atoms of long-living radioactive isotope and held in ionized state until transmutation of mother nuclei to daughter short-living or stable ones takes place. With coefficient of operating time  $k$  preset for daughter nuclei, atoms of long-living radioactive isotope are held in highly ionized state for at least time  $\beta$ , where  $\beta$  is lifetime of mother nuclei under accelerated beta-decay conditions. Electromagnetic radiation may be effected by beams of accelerated charged particles (electrons, protons, or ions) or by photon flux. Radiation by charged-particle beam may be

combined with photonflux radiation. EFFECT: enhanced transmutation efficiency dispensing with nuclear reactions of collision character and avoiding formation of by-products. 7 cl, 1 dwg



RU 2 169 405 C 1

RU 2 169 405 C 1

Изобретение относится к области ядерной физики и может быть использовано для обезвреживания долгоживущих радиоактивных изотопов, содержащихся, например, в радиоактивных отходах (РАО) ядерной энергетики.

Уровень техники

Известные способы обезвреживания РАО, содержащих долгоживущие радиоактивные изотопы, могут быть разделены на пассивные и активные.

Пассивные способы предполагают контролируемое хранение РАО или радиоактивных продуктов их переработки в течение времени, достаточного для естественного снижения уровня радиоактивности до безопасных значений.

К числу пассивных относится способ обезвреживания РАО путем их контролируемого хранения в защитных контейнерах, изолирующих радиоактивные отходы от окружающей среды, предусматривающий глубокое захоронение защитных контейнеров на время обезвреживания отходов [1]. Время обезвреживания, в течение которого должно осуществляться контролируемое хранение радиоактивных продуктов, составляет около 1000 лет.

Недостаток способа [1] - длительное время обезвреживания, в течение которого возможна утечка радиоактивных продуктов в результате нарушения герметичности контейнеров, например, при проявлении тектонической нестабильности или других аварийных ситуаций.

Активные способы обезвреживания РАО предусматривают трансмутацию долгоживущих радиоактивных компонентов в короткоживущие или стабильные под воздействием внешнего поля или облучения [2], [3], [4], [5], [6].

Согласно способам [2] и [3] на радиоактивные продукты воздействуют внешним электростатическим полем. В качестве источника электростатического поля ("излучателя магнитных монополей") по способу [2] используют электростатический генератор Ван де Граафа (Van de Graaf), а по способу [3] - систему проводящих полос, свернутую в ленту Мебиуса.

Недостаток способов [2] и [3] - низкая эффективность (скорость) трансмутации. Кроме того, отсутствие надежных физических оснований механизма воздействия электростатическим полем на скорость распада радиоактивного изотопа делает практически невозможным целенаправленное совершенствование этих способов.

По способу [4] долгоживущие компоненты радиоактивных отходов облучают потоком быстрых нейтронов, полученных в результате взаимодействия с мишенью-конвертером пучка ускоренных протонов с энергией 1-10 ГэВ, по способу [5] - непосредственно потоком ускоренных протонов с энергией 20-40 МэВ, а по способу [6] - потоком гамма-квантов, получаемым в результате магнитного торможения электронов, ускоренных до ультрарелятивистских энергий.

Общими недостатками способов [4] [5] и [6] являются недостатки, характерные для превращений, основанных на ядерных реакциях столкновительного характера, - дороговизна процесса трансмутации и

образование побочных радиоактивных продуктов.

Известен выбранный в качестве прототипа способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные под воздействием электромагнитного облучения [7].

По способу [7] облучение осуществляют излучением СВЧ-диапазона с высокой плотностью потока энергии. Этот способ реализуется с использованием более простого и дешевого оборудования, чем оборудование, требуемое для реализации способов [4], [5] и [6].

Недостаток способа [7] - низкая эффективность трансмутации.

Так, согласно [7] сокращение времени распада радиоактивного изотопа, характеризующее эффективность трансмутации, составило 0,65% при плотности потока энергии  $0,5 \cdot 10^{-2}$  Дж/см<sup>2</sup> и 1,0% при плотности потока энергии  $5 \cdot 10^{-2}$  Дж/см<sup>2</sup>.

Задача изобретения - повышение эффективности трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов без образования побочных радиоактивных продуктов.

Сущность изобретения

Предметом изобретения является способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные под воздействием электромагнитного облучения, отличающийся согласно изобретению тем, что атомы долгоживущего радиоактивного изотопа ионизируют до открытия канала ускоренного  $\beta$ -распада их ядер и удерживают в ионизированном состоянии до перехода материнских ядер в дочерние короткоживущие или стабильные.

Это позволяет осуществить эффективную переработку радиоактивных отходов без использования ядерных реакций столкновительного характера и тем самым избежать образования побочных радиоактивных продуктов.

Изобретение имеет развитие, состоящее в том, что атомы долгоживущего радиоактивного изотопа удерживают в ионизированном состоянии по меньшей мере в течение времени  $k \tau$ , где  $k$  - заданный коэффициент наработки дочерних ядер,  $\tau$  - время жизни материнских ядер в условиях ускоренного  $\beta$ -распада.

Это позволяет трансмутировать в атомы дочернего короткоживущего или стабильного изотопа заданную часть атомов долгоживущего радиоактивного изотопа.

Изобретение имеет другие развития, состоящие в том, что в качестве электромагнитного облучения используют пучки ускоренных электронов или протонов, или ионов, или поток фотонов.

Это позволяет выбирать вид электромагнитного облучения в зависимости от имеющегося оборудования.

Изобретение имеет еще одно развитие, состоящее в том, что долгоживущий радиоактивный изотоп дополнительно облучают потоком фотонов.

Это позволяет повысить эффективность ионизации атомов долгоживущих изотопов.

Осуществление изобретения

На чертеже представлена принципиальная схема, иллюстрирующая пример осуществления способа с учетом его развития.

Предлагаемый способ трансмутации основан на физическом явлении, заключающемся в том, что глубокая ионизация атомов меняет параметры потенциальной ямы, в которой находятся нуклоны ядра. Следствием этого является смещение системы ядерных энергетических уровней в ионизированном радиоактивном атоме относительно уровней исходного ядра в нейтральном атоме. Указанное смещение открывает в радиоактивном ионизированном атоме канал ускоренного  $\beta$ -распада с переходом материнских долгоживущих ядер в дочерние короткоживущие или стабильные ядра-изобары с соседним порядковым номером. Для радиоактивных ядер в нейтральном атоме такие переходы запрещены законом сохранения энергии. За счет быстрого  $\beta$ -распада ядер глубоко ионизированных атомов (ионов материнского изотопа) их время жизни оказывается на несколько порядков меньше, чем время жизни ядер в нейтральных атомах при естественном радиоактивном распаде исходного изотопа.

Этот физический эффект известен из [8], [9].

Согласно результатам этих работ времена жизни материнских ядер при распаде рения  ${}_{75}^{187}\text{Re}$  в осмий  ${}_{76}^{187}\text{Os}$  и йода  ${}_{53}^{129}\text{I}$  в ксенон  ${}_{54}^{129}\text{Xe}$ , составляющие в нейтральном атоме  $7 \cdot 10^{10}$  лет и  $2,3 \cdot 10^7$  лет соответственно, в полностью ионизированном состоянии атомов составляют 14 мсек и 11 мсек соответственно.

Предлагаемый способ может быть осуществлен, например, на установке, принципиальная схема которой приведена на чертеже.

На чертеже обозначено:

- 1 - вакуумная камера,
- 2 - газовая мишень,
- 3 - пучок заряженных частиц,
- 4 - цилиндрический электрод,
- 5 - торцевые электроды,
- 6 - ускоряющий электрод,
- 7 - вводные фокусирующие элементы,
- 8 - электромагнитная ловушка,
- 9 - выводные фокусирующие элементы,
- 10 - контейнер-сборник трансмутированного вещества,
- 11 - источник фотонов, например лазер,
- 12 - окна вакуумной камеры,
- 13 - поток фотонов.

Трансмутацию осуществляют следующим образом.

Порцию подготовленного к трансмутации радиоактивного вещества в газообразном состоянии вводят в газовую мишень 2, размещенную внутри вакуумной камеры 1. Средства реализации газовой мишени в вакуумной камере, включая средства ввода и отвода газа, описаны, например, в [10].

Электромагнитное облучение в виде пучка 3 заряженных частиц, многократно пересекает замкнутым орбитам, многократно пересекает газовую мишень 2. Такой пучок заряженных частиц может быть получен, например, на ускорителе заряженных частиц [11].

Воздействуя на вещество, находящееся в мишени 2, ускоренные заряженные частицы пучка 3 ионизируют атомы этого вещества, выбивая из них электроны.

Газовая мишень 2 окружена цилиндрическим электродом 4 и торцевыми

электродами 5, на которые подан положительный потенциал относительно земли. Поэтому образовавшиеся в результате облучения положительные ионы радиоактивного вещества запираются в газовой мишени 2 электрическим полем положительных электродов 4, 5 и накапливаются в ней. Электроды 4 и 5 не должны препятствовать облучению и для этого могут быть выполнены, например, сетчатыми.

Многочисленное прохождение заряженных частиц пучка 3 через накапливающееся в газовой мишени 2 атомы трансмутируемого изотопа приводит к удалению ("обдирке") их электронных оболочек и глубокой ионизации радиоактивных атомов, открывающей канал ускоренного  $\beta$ -распада их ядер. В нейтральном атоме трансмутируемого изотопа этот канал распада ядер энергетически запрещен.

Согласно предлагаемому способу полученные в газовой мишени 2 ионизированные атомы радиоактивного изотопа удерживают в ионизированном состоянии до их перехода (в результате  $\beta$ -распада ядер) в атомы короткоживущего или стабильного дочернего изотопа. Удержание ионизированных атомов от рекомбинации может быть осуществлено, например, в той же газовой мишени 2, запертой полем электродов 4, 5, или в электромагнитной ловушке 8.

В последнем случае полученные ионы радиоактивного вещества перемещаются из газовой мишени 2 в электромагнитную ловушку 8 с помощью ускоряющего электрода 6 и фокусирующих элементов 7. Для этого снимается положительный потенциал с одного из торцевых электродов 5, а на соседний с ним ускоряющий электрод 6 подается отрицательный потенциал. Объем газовой мишени 2 освобождается от ионов и может быть заполнен новой порцией трансмутируемого вещества.

В ловушке 8 (устройство и принцип действия электромагнитной ловушки описаны, например, в [12]) полученные ионы радиоактивного вещества движутся в вакууме вдоль замкнутых орбит и тем самым удерживаются от рекомбинации до их перехода в атомы короткоживущего или стабильного изотопа. После этого трансмутированное вещество с помощью фокусирующих элементов 9 выводится в контейнер-сборник 10, а ловушка 8 освобождается для новой порции ионизированных атомов материнского изотопа.

Необходимое время удержания атомов материнского изотопа в ионизированном состоянии определяется величиной  $\tau$  - временем жизни ядер материнского изотопа в условиях ускоренного  $\beta$ -распада. Если заданная степень снижения радиоактивности вещества требует трансмутации  $kN$  атомов исходного вещества, где  $k$  - коэффициент наработки атомов дочернего изотопа, то суммарное время удержания атомов материнского изотопа в ионизированном состоянии (в газовой мишени 2 и ловушке 8) должно превышать  $k\tau$ . Время удержания, равное  $3\tau$ , как правило, достаточно для практически полной трансмутации

ионизированного радиоактивного изотопа.

В качестве электромагнитного облучения в пучке 3 может использоваться пучок ускоренных заряженных частиц: электронов или протонов, или ионов, а также поток фотонов. Для повышения эффективности ионизации облучение мишени 2 пучком 3 ускоренных заряженных частиц может быть совмещено с дополнительным облучением от источника 11 (например, лазера) потоком 13 фотонов. Пучок 3 и поток 13 проходят через прозрачные для них окна 12, которыми снабжена вакуумная камера 1.

Общее количество N ионов материнского изотопа с открытым каналом ускоренного ( $\beta$  -распада, образующихся под воздействием облучения, может быть определено по формуле:

$$N = 6 \cdot 10^{23} \gamma \rho l \sigma t n / A,$$

где  $\gamma$  - интенсивность облучающего пучка,

$\rho$  - плотность облучаемого вещества,

$l$  - длина области облучения,

$\sigma$  - сечение ионизации,

$t$  - время облучения,

$n$  - кратность прохождения пучка через область облучения,

$A$  - величина грамм-атома облучаемого изотопа, выраженная в граммах и численно равная его атомному весу.

Оценка скорости образования (наработки) материнских ионизированных атомов под воздействием облучения, например, пучком заряженных электронов, выполненная по вышеприведенной формуле, исходя из значений:

$$\gamma = 10^{13} \text{ сек}^{-1}, \rho = 10^{-3} \text{ г/см}^3, l = 10 \text{ см}, \sigma = 10^{-22} \text{ см}^2, t = 10^7 \text{ сек}, n = 10^7 \text{ и } A = 200 \text{ г},$$

дает  $N = 3 \cdot 10^{24}$ .

Пренебрегая потерями ионов на этапе их удержании от рекомбинации и временем ускоренного  $\beta$  -распада ионизированных атомов, получим, что производительность представленной на чертеже схемы осуществления способа составляет около 1 кг в год, что сопоставимо со скоростью накопления РАО на средних по мощности ядерных реакторах.

Как видно из изложенного, предлагаемый способ позволяет эффективно осуществлять трансмутацию долгоживущих радиоактивных изотопов без использования ядерных реакций столкновительного характера и образования побочных радиоактивных продуктов.

Источники информации

1. Патент Франции N 2358730, МПК G 21 F 9/00, опубл. 1978 г.

2. Патент ЕПВ N 0313073, МПК G 21 K 1/00,

1989 г.

3. Патент РФ N 2061266, МПК G 21 F 9/00, 1992 г., опубл. 1996 г.

4. Патент Франции N 2401494, МПК G 21 F 9/00, опубл. 1979 г.

5. Авт. свид. СССР N 950073, МПК G 21 F 9/00, 1981 г.

6. Патент РФ N 2003191, МПК G 21 F 9/30, 1993 г., опубл. 1993 г.

7. Патент РФ N 2100858, МПК G 21 F 9/00, 1995 г., опубл. 1997 г.

10. 8. K. Takohashi, K. Yokoi, Nucl. Phys. A 404, 578 (1983);

9. R. Yokoi, M. Arnold, Astron. Astrophysics, 117, 65 (1983).

15. 10. V. D. Bartenev, et al., Prociding Intern. Conf. on Instrumentation for high Energy Physics, Dubna, D-5805, p16, 1970.

11. Г.И. Будкер и др. Сборник трудов X международной конференции по ускорению заряженных частиц высокой энергии, Серпухов, 1947.

20. 12. Физическая энциклопедия. М., Советская энциклопедия, 675, 1990.

### Формула изобретения:

1. Способ трансмутации долгоживущих радиоактивных изотопов в короткоживущие или стабильные под воздействием электромагнитного облучения, отличающийся тем, что атомы долгоживущего радиоактивного изотопа ионизируют до открытия канала ускоренного  $\beta$ -распада их ядер и удерживают в ионизированном состоянии до перехода материнских ядер в дочерние короткоживущие или стабильные.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что атомы долгоживущего радиоактивного изотопа удерживают в ионизированном состоянии, по меньшей мере,  $k\tau$ , где  $k$  - заданный коэффициент наработки дочерних ядер,  $\tau$  - время жизни материнских ядер в условия ускоренного  $\beta$ -распада.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве электромагнитного облучения используют пучок ускоренных электронов.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве электромагнитного облучения используют пучок ускоренных протонов.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве электромагнитного облучения используют пучок ионов.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве электромагнитного облучения используют поток фотонов.

50. 7. Способ по п.3, или 4, или 5, отличающийся тем, что долгоживущий радиоактивный изотоп дополнительно облучают потоком фотонов.

55

60