

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19)

RU

(11)

2 241 978

(13)

C2

(51) МПК

G01N 23/222 (2000.01)

G01T 3/00 (2000.01)

G21C 17/00 (2000.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: может прекратить свое действие (последнее изменение статуса: 06.02.2020)
Пошлина: учтена за 20 год с 06.04.2019 по 05.04.2020

(21)(22) Заявка: [2000133232/28](#), 05.04.2000

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.04.2000

(30) Конвенционный приоритет:
08.04.1999 FR 99/04396

(43) Дата публикации заявки: 20.03.2003 Бюл. № 8

(45) Опубликовано: 10.12.2004 Бюл. № 34

1. (56) Список документов, цитированных в
отчете о поиске: US 3222521 A, 07.12.1965.
RU 2082156 C1, 20.06.1997. RU 2045046 C1,
27.09.1995. RU 2095796 C1, 10.11.1997. US
3786256 A, 15.01.1974. US 4483816 A,
26.11.1984. US 4497768 A, 05.02.1985.

(85) Дата перевода заявки РСТ в валютную
фазу:
09.01.2001

(86) Заявка РСТ:
FR 00/00848 (05.04.2000)

(87) Публикация РСТ:

(72) Автор(ы):

ЛИУССИ Абдалла (FR),
ПАСКАЛИ-БАРТЕЛЕМИ Раймон (FR),
ПЕЙАН Эммануэль (FR),
РАУ Анн-Сесиль (FR)

(73) Патентообладатель(и):

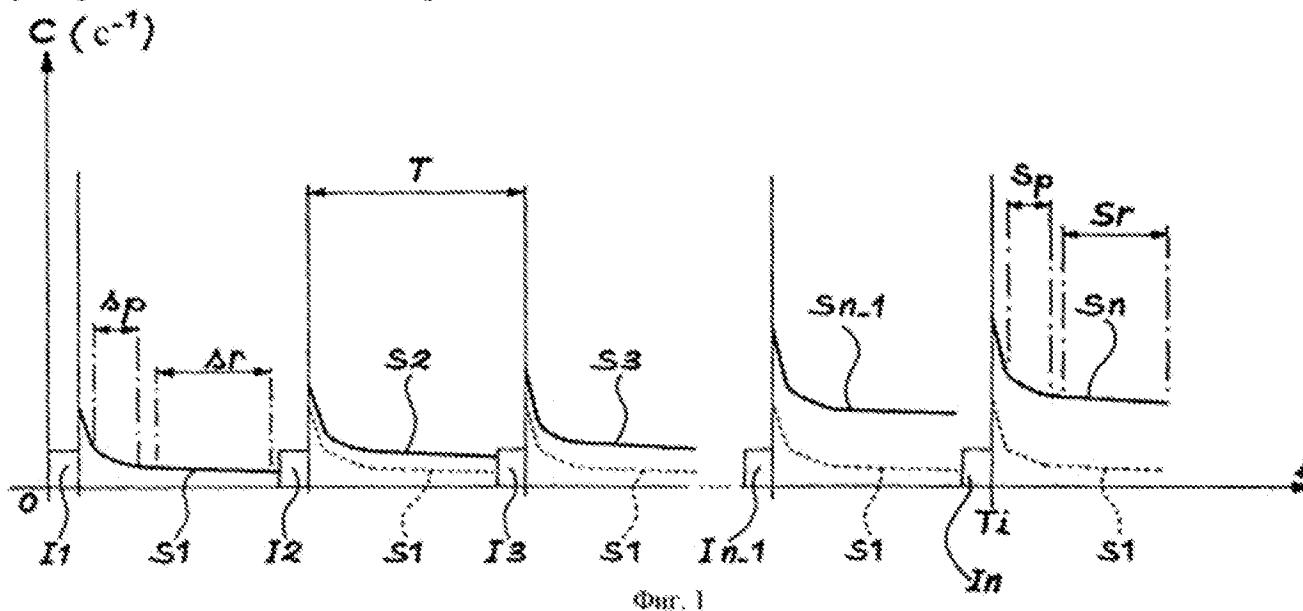
КОММИССАРИАТ А Л'ЭНЕРЖИ
АТОМИК (FR),
КОМПАНИ ЖЕНЕРАЛЬ ДЕ МАТЬЕР
НЮКЛЕЭР (FR)

(74) Патентный поверенный:
Ятрова Лариса Ивановна

(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ АНАЛИЗА РАДИОАКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

(57) Реферат:

Использование: для обработки радиоактивных изделий и для характеристики содержимого упаковок с радиоактивными отходами. Сущность: в способе содержание изотопов анализируют путем облучения объекта тепловыми, надтепловыми и быстрыми нейтронами, полученными из серии первоначальных импульсов быстрых нейтронов, при этом измеряют сигналы мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, накапливают эти сигналы и определяют вклад S_p быстрых нейтронов, образованных тепловым делением, и вклад S_g замедленных нейтронов, образованных тепловым, надтепловым и быстрым делениями, из этой суммы всех сигналов, а также определяют количество каждого изотопа с использованием S_p и S_g и дополнительной информации о количествах изотопов. Устройство включает в себя средства для облучения объекта упомянутыми нейтронами, средства для подсчета нейтронов, выполненные с возможностью измерения сигналов мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, средство обработки измеренных таким образом сигналов. Технический результат: упрощение способа и конструкции устройства, расширение сферы применения. 2 с. и 8 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

Данное изобретение относится к способу и устройству для анализа радиоактивных объектов с использованием измерения нейтронного излучения этих объектов.

Это изобретение можно использовать для анализа этих объектов без разрушения (другими словами, без нарушения физической целостности

объектов) путем выполнения активных измерений (другими словами, с использованием внешнего излучения) этих объектов.

В частности, изобретение можно применять для управления процессом обработки радиоактивных изделий и для характеристики содержимого упаковок с радиоактивными отходами. Такие упаковки являются контейнерами, обычно изготовленными из бетона или стали, в которых размещены радиоактивные отходы, возможно предварительно покрытые с образованием матрицы.

Изобретение можно, в частности, применять для анализа делящегося материала и/или воспроизводящего материала, содержащегося в таких контейнерах для радиоактивных отходов, для измерения неразрушающим методом количества некоторых химических элементов, присутствующих в отходах.

Его можно применять непосредственно в установках, использующих технологию активного анализа неразрушающим методом. В частности, анализ делящегося материала и/или воспроизводящего материала является средством для количественного определения массы остаточного топлива.

Известно несколько способов измерения для определения неразрушающим методом количества некоторых делящихся изотопов, содержащихся в контейнере для отходов, включая метод нейтронного зондирования с помощью нейтронов с энергией 14 МэВ, создаваемых соответствующим генератором.

В частности, в US-A-4483816 (J.T.Caldwell и др.) описано измерение мгновенных нейтронов и замедленных нейтронов, получаемых при тепловом делении делящегося материала, присутствующего в контейнере для отходов.

Обычно зондирование объекта с помощью импульсного потока тепловых нейтронов используют для определения наличия делящегося материала внутри такого объекта. Этот способ обычно используют для измерения делящихся изотопов, а именно урана 235, плутония 239 и плутония 241. Однако оценка результатов измерения требует предварительного знания изотопного состава делящегося материала.

В соответствии со способами, описанными в указанной выше публикации, основными делящимися изотопами, которые можно характеризовать такими способами, являются уран 233, уран 235 и плутоний 239. Количество различных изотопов определяют с использованием мгновенных и замедленных сигналов, вызываемых тепловыми нейтронами. В результате получают два линейных уравнения. Третье уравнение получают путем измерения столкновений пассивных нейтронов (другими словами, нейтронов, излучаемых материалом естественным образом). Таким образом, можно вычислять различные массы делящихся изотопов, указанных выше, присутствующих в измеряемом объекте, при условии, что известно несколько калибровочных коэффициентов (предварительно вычисленных).

Однако этот способ не дает никакой информации о наличии и количестве воспроизводящего материала, такого как уран 238, в объекте, подлежащем анализу.

Целью данного изобретения является устранение этих недостатков. Для характеристики делящегося и воспроизводящего материалов необходимо использовать зондирующий поток тепловых, надтепловых и быстрых

нейтронов, поскольку порог деления урана 238 соответствует энергии около 1 МэВ. Кроме того, вклад урана 238 в измеряемый нейтронный сигнал можно использовать только для замедленных нейтронов, излучаемых при делении фрагментов урана 238. Таким образом, измеряемый мгновенный сигнал соответствует нейtronам, образованным при тепловом делении (делящегося материала), а замедленный сигнал соответствует нейtronам, образованным при тепловом и быстром делении (делящегося и воспроизводящего материалов).

Данное изобретение объединяет тепловое, надтепловое и быстрое зондирование с обнаружением мгновенных и замедленных нейтронов для характеристики делящегося и/или воспроизводящего материалов, которые могут присутствовать в измеряемом объекте.

Более точно, данное изобретение относится к способу анализа объекта, в частности, контейнера для радиоактивных отходов, который может содержать делящийся материал или воспроизводящий материал или оба материала, при этом делящийся материал содержит M делящихся изотопов, а воспроизводящий материал содержит N воспроизводящих изотопов, где M и N являются целыми числами, равными, по меньшей мере, 1, отличающимся тем, что

- объект облучают потоком нейтронов, образованным из тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов и полученным из последовательности первоначальных импульсов быстрых нейтронов, при этом тепловые нейтроны вызывают деление в делящихся материалах, а надтепловые и быстрые нейтроны вызывают деление в делящемся материале и в воспроизводящем материале,
- измеряют сигналы мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, и накапливают эти сигналы для получения суммы всех сигналов после последнего импульса,
- используют эту сумму для определения вклада S_p мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада S_g замедленных нейтронов, образованных тепловым, надтепловым и быстрым делениями,
- выражают S_p и S_g в виде линейных комбинаций количеств $M+N$ изотопов, при этом коэффициенты этих линейных комбинаций предварительно определяют с помощью калибровки, и
- определяют количество каждого из $M+N$ изотопов из выраженных таким образом S_p и S_g и, по меньшей мере, $M+N-2$ дополнительных элементов информации о количествах $M+N$ изотопов.

Например, эта дополнительная информация может состоять из корреляций между количествами $M+N$ изотопов.

Согласно частному варианту выполнения способа, согласно изобретению, делящиеся и воспроизводящие материалы содержат уран 235, уран 238, плутоний 239 и плутоний 241.

Данное изобретение относится также к устройству для анализа объекта, в частности, контейнера для радиоактивных отходов, который может содержать делящийся материал или воспроизводящий материал или оба материала, при этом делящийся материал содержит M делящихся изотопов, а воспроизводящий материал содержит N воспроизводящих изотопов, где M и N являются целыми числами, равными, по меньшей мере, 1, отличающимся тем, что оно содержит;

- средства для облучения объекта потоком нейтронов, состоящим из тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов и полученным из последовательности первоначальных импульсов быстрых нейтронов, при этом тепловые нейтроны вызывают деление в делящихся материалах, а надтепловые и быстрые нейтроны вызывают деление в делящемся материале и в воспроизводящем материале,
- средства для подсчета нейтронов, выполненные с возможностью измерения сигналов мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, и
- средство для обработки измеренных таким образом сигналов, выполненное с возможностью накопления этих сигналов и получения суммы всех сигналов после последнего импульса, с использованием этой суммы для определения вклада Sp мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада Sr замедленных нейтронов, образованных тепловым, надтепловым и быстрым делениями, и использования Sp и Sr для определения количества каждого из M+N изотопов и, по меньшей мере, M+N-2 дополнительных элементов информации, связанной с количествами M+N изотопов, путем представления Sp и Sr в виде линейных комбинаций этих количеств M+N, при этом коэффициенты этих линейных комбинаций предварительно определяют с помощью калибровки.

В предпочтительном варианте выполнения устройства согласно изобретению средства облучения содержат:

- по меньшей мере, один источник быстрых нейтронов, работающий в импульсном режиме, и

- средство термализации этих быстрых нейтронов.

Средства термализации предпочтительно содержат защитную оболочку, которая включает центральную зону, в которой размещается объект и в которой, по меньшей мере, три стороны ограничены слоем замедляющего материала, при этом на четвертой стороне этой защитной оболочки располагается источник нейтронов, а на трех сторонах между центральной зоной и слоем замедляющего материала устанавливаются средства подсчета нейтронов, причем между центральной зоной и источником нейтронов и между центральной зоной и средствами для подсчета нейтронов предусмотрен слой умножительного материала.

Каждое средство для подсчета нейтронов может быть также окружено слоем поглощающего нейтроны материала.

Каждое средство для подсчета нейтронов может быть также окружено замедляющим материалом.

Устройство согласно изобретению может также содержать стену, выполненную из поглощающего нейтроны и замедляющего материалов, которая ограничивает четвертую сторону защитной оболочки, при этом слой, соответствующий умножительному материалу находится между этой стеной и центральной зоной.

Устройство согласно изобретению может содержать также средства для вращения объекта внутри центральной зоны защитной оболочки.

Ниже приводится подробное описание примеров выполнения изобретения, которые приведены только для лучшего понимания изобретения и не имеют ограничительного характера, со ссылками на прилагаемые чертежи, на которых изображено:

фиг. 1 - график, иллюстрирующий стадии способа, согласно изобретению;

фиг.2 - вид в разрезе устройства в соответствии с частным вариантом выполнения согласно изобретению в открытом состоянии, в изометрической проекции,

фиг.3 - вид в разрезе устройства согласно фиг.2, в закрытом состоянии,

фиг.4 - вид в разрезе устройства в соответствии с другим частным вариантом выполнения согласно изобретению, в изометрической проекции,

фиг.5 - вид сверху в разрезе устройства согласно фиг.4.

В способе согласно изобретению используют поток тепловых, надтепловых и быстрых зондирующих нейтронов с целью инициирования реакций деления в объекте, который может содержать делящийся материал или воспроизводящий материал или оба этих материала. Этот нейтронный поток можно получить с использованием, по меньшей мере, одного генератора нейтронов, работающего в импульсном режиме и создающего быстрые нейтроны, например, с энергией около 14 МэВ, например, с использованием реакции деления D-T. Используют соответствующую термализационную ячейку для получения потока тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов. Во-первых, тепловые нейтроны инициируют реакции деления в делящемся материале, и во-вторых, надтепловые и быстрые нейтроны вызывают реакции деления в делящемся материале и в воспроизводящем материале.

Кроме того, использование измерительного способа, в котором сигнал суммируется после каждого импульса нейтронов, обеспечивает распознавание вклада мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада замедленных нейтронов, образованных тепловым, надтепловым и быстрым делением, в один и тот же сигнал. Только тепловое деление вносит вклад в мгновенный сигнал, поскольку реакции надтеплового и быстрого деления являются мгновенными, так что их вклад тонет в части сигнала, соответствующей зондирующему нейtronам.

Следует отметить, что можно использовать более одного источника нейтронов для увеличения потоков нейтронов и тем самым чувствительности измерений.

Количество импульсов быстрых нейтронов может быть очень большим и равняться, например, нескольким миллионам. Это зависит от требуемой точности и предела обнаружения.

На фиг.1 в виде графика показан принцип действия способа согласно изобретению, в котором используют импульсный источник быстрых нейтронов и последующее измерение.

Для этого объект, подлежащий измерению, например контейнер с радиоактивными отходами, облучают импульсным потоком тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов, образованным из импульсов из источника (получение которого описано ниже применительно к фиг.2-5).

На фиг.1 по оси абсцисс показано время t , а по оси ординат - количество отсчетов в секунду $C(s^{-1})$ (в логарифмическом масштабе).

На фиг.1 показаны импульсы I_1 (первый импульс), I_2, I_3, \dots, I_{n-1} и I_n (последний импульс). Период генератора обозначен как T . Конец последнего импульса происходит в момент, обозначенный как T_1 . Сигнал, обусловленный одним импульсом, обозначен как S_1 , в то время как интегральный сигнал, обусловленный двумя импульсами, обозначен как S_2 , тремя импульсами - как $S_3, \dots, n-1$ импульсами - как S_{n-1} и n импульсами - как S_n .

Таким образом, измеряют сигналы от мгновенных нейтронов и сигналы от замедленных нейтронов, испускаемых после каждого импульса источника, и накапливают эти сигналы. Вклад Sp мгновенных нейтронов, созданных тепловым делением, и вклад Sr замедленных нейтронов, созданных тепловым, надтепловым и быстрым делением, определяют из интегрального сигнала Sn.

Таким образом, два элемента Sp и Sr информации об остаточном топливе в контейнере можно получать с помощью одного измерения.

Согласно изобретению эти результаты соединяют с двумя другими элементами информации, например, такими как корреляции, относящиеся к массам необходимых изотопов и полученные с помощью вычислительных программ, выведенных на основании опыта работы установок по переработке топлива.

Например, предполагается, что контейнер содержит остаточный уран 235, уран 238, плутоний 239 и плутоний 241. Вся эта информация может быть затем записана в виде следующей системы уравнений:

$$Sp = a_1m(^{235}U) + a_2m(^{238}U) + a_3m(^{239}Pu) + a_4m(^{241}Pu)$$

$$Sr = b_1m(^{235}U) + b_2m(^{238}U) + b_3m(^{239}Pu) + b_4m(^{241}Pu)$$

$$R_1 = m(^{235}U)/m(^{238}U)$$

$$R_2 = m(^{241}Pu)/m(^{239}Pu)$$

где Sp обозначает сигнал, создаваемый мгновенными нейтронами, образованными тепловым делением (отсчеты в секунду),

Sr обозначает сигнал, создаваемый замедленными нейтронами, образованными тепловым, надтепловым и быстрым делением (отсчеты в секунду),

R₁ обозначает корреляцию между массой m(^{235}U) изотопа урана 235 и массой m(^{238}U) изотопа урана 238,

R₂ обозначает корреляцию между массой m(^{239}Pu) изотопа плутония 239 и массой m(^{241}Pu) изотопа плутония 241,

a_i и b_i (где i изменяется от 1 до 4) обозначают калибровочные коэффициенты (отсчет с⁻¹·г⁻¹), полученные с помощью известных объектов (при этом масса выражена в граммах).

Калибровочный коэффициент a₂ равен нулю, поскольку воспроизводящий материал, в данном случае ^{238}U, не участвует в измеренном сигнале, создаваемом мгновенными нейтронами.

Решение этой системы уравнений дает величины требуемых масс. Преимущество этого способа согласно изобретению обеспечивается за счет того, что делящиеся и воспроизводящие материалы, присутствующие в объекте, подлежащем измерению, можно "зондировать" одновременно с использованием одного или нескольких импульсных источников быстрых нейтронов, например, одного или нескольких генераторов нейтронов с энергией 14 МэВ.

За счет своей конструкции (описание примеров выполнения даны ниже) устройство, используемое для реализации этого способа, может создавать поток тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов при одновременном усилении составляющей быстрых нейтронов.

Тем самым улучшается контраст между делящимся и воспроизводящим материалом.

Кроме того, использование соответствующего последующего способа сбора данных значительно повышает чувствительность измерения

замедленного сигнала, что позволяет преодолеть недостаточность статистических параметров замедленных нейтронов деления. Кроме того, комбинирование дополнительной информации, например корреляций, относящихся к массам различных изотопов, молекулярным массам, атомным массам и т.д., является средством для раздельного определения количества делящихся и воспроизводящих материалов, присутствующих в отходах. Тем самым, такое определение количества каждого изотопа получают в процессе одного и единственного нейтронного измерения анализируемого объекта.

Устройство согласно изобретению показанное в разрезе в изометрической проекции на фиг.2 и в разрезе на виде сверху на фиг.3, выполнено для характеристики объекта, например контейнера 2 с радиоактивными отходами.

Это устройство содержит:

- средства для облучения контейнера 2 потоком тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов,
- средства 4 для подсчета мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых контейнером после каждого импульса, и
- средство 6 для обработки измеренных таким образом сигналов, для накопления этих сигналов и использования суммы этих сигналов для определения вклада Sr мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада Sg замедленных нейтронов, образованных тепловым, надтепловым и быстрым делениями, и определения массы каждого из делящихся и воспроизводящих изотопов, содержащихся в отходах, как указано выше.

Средства облучения содержат генератор 8 быстрых нейтронов, работающий в импульсном режиме, и термализационную защитную оболочку 10 для этих быстрых нейтронов с целью получения потока тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов. Эта защитная оболочка содержит центральную зону 12, в которой размещается контейнер 2. Форма этой центральной зоны приблизительно квадратная и ограничена стеной 14, выполненной из замедляющего материала, например графита.

Часть 16 этой стены выполнена подвижной, например она установлена на рельсы, как показано на фиг.2, так что контейнер можно вставлять в центральную зону.

На фиг.2 защитная оболочка показана в открытом состоянии, в то время как на фиг.3 - в закрытом состоянии (когда контейнер облучают нейтронами).

Часть стены 14, обращенная в сторону подвижной части 16, содержит пространство 20, в котором расположен генератор 8 нейтронов.

Средства для подсчета нейтронов являются блоками 4 обнаружения нейтронов, установленными в подвижной части 16 стены 14, а также в двух частях стены, смежных с этой подвижной частью и противоположных друг другу.

Элемент 22, выполненный из умножительного материала, например свинца, вставлен между генератором и центральной зоной 12. Аналогичным образом, другой элемент 24, выполненный из этого умножительного материала, вставлен между каждой группой детекторных блоков 4 и этой центральной зоной.

Кроме того, каждый детекторный блок 4 окружен слоем 26 поглощающего нейтроны материала, например такого как кадмий, и содержит счетчики нейтронов, например, ^3He -детекторы, окруженные другим замедляющим материалом 28, например полиэтиленом.

Защитная оболочка закрыта в верхней части графитовой крышкой 30. В нижней части она закрыта дном 32, также выполненным из графита. Эта защитная оболочка опирается на основание 34, выполненное, например, из стали.

Показанное на фиг.2 устройство содержит также стену 36, установленную с возможностью свободного перемещения по рельсам 38, установленным на основании 34, так, что ее можно перемещать от части стены 14, в которой расположен генератор 8, и к ней. Эта подвижная стена 36 отделена от этой части в показанном на фиг.2 случае, в то время как в показанном на фиг.3 случае она находится в контакте с этой частью.

Эта подвижная стена 36 выполнена из поглощающих нейтроны и замедляющих материалов; например, она может состоять из элемента 40, выполненного из графита, покрытого слоем 42 карбида бора, обращенного в сторону части стены 14, в которой расположен генератор.

Следует отметить, что быстрые нейтроны, излучаемые генератором 8 в сторону подвижной стены 36, термализуются графитовым элементом 40 и поглощаются слоем 42 карбида бора и поэтому не возвращаются в контейнер 2. Эту подвижную стену 36 можно использовать для регулирования потока нейронов.

Внутри центральной зоны защитной оболочки могут быть предусмотрены средства для вращения этого контейнера (фиг.2) с целью обеспечения равномерного облучения нейtronами контейнера 2. Эти средства вращения могут содержать плиту (не изображена), на которую опирается контейнер, и средство для вращения плиты, содержащее, например, вал 44, жестко соединенный с этой плитой и проходящий через дно 32 защитной оболочки 10, а также другой вал 46, вращаемый электродвигателем (не изображен), который вращает вал 44 с помощью передачи, расположенной в коробке 48.

Детекторные блоки 4, которые используют для подсчета мгновенного сигнала и сигнала замедленного деления, предпочтительно оптимизированы известным образом для оптимизации чувствительности при заданной энергии.

Естественно, что они соединены с источниками электрической энергии (не изображены), необходимыми для их работы, а также со средством 6 обработки сигналов, расположенным вне защитной оболочки 10.

Свинцовые элементы 24, которые расположены перед детекторными блоками 4, выполняют функцию радиологического экрана. Измеряемые контейнеры могут быть очень радиоактивными и, в частности, могут излучать сильное гамма-излучение. Поэтому необходимо защищать счетчики для того, чтобы использовать их в оптимальных условиях.

Нейтроны с выхода генератора 8 входят в свинцовые элементы 22 и 24, в которых на них действуют реакции типа ($n, 2n$). Это может повышать интенсивность зондирующего нейтронного потока примерно на 60%.

Затем каждый зондирующий нейtron может взаимодействовать двумя возможными путями:

1) Нейтрон значительно замедляется замедляющими материалами, материалами конструкции и материалами самого измеряемого объекта, пока он не достигнет тепловой энергии. Затем он возбуждает реакции деления в делящемся материале (например, ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu) в подлежащем измерению объекте.

2) Нейтрон замедляется, но его энергия превышает 1 МэВ. В этом случае он вызывает реакции деления в подлежащем измерению объекте не только в делящемся материале (например, ^{235}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu), но и воспроизводящем материале (например, ^{232}U).

Вследствие теплового деления мгновенно испускаются несколько быстрых нейтронов (в среднем 2-3 на одно деление) со средней энергией 2 МэВ; они являются мгновенными нейтронами. Они обнаруживаются в блоках 4, окруженных поглощающим нейтроны материалом, таким как кадмий, который поглощает нейтроны и делает блоки чувствительными только к быстрым нейтронам. Это является средством устранения большей части фонового шума, вызываемого нейтронами, образованными генератором 8, которые являются тепловыми во время измерения. Однако на сигнал мгновенных нейтронов накладываются различные фоновые шумы, главным из которых является "активный фоновый шум" (активный сигнал) и фоновый шум, обусловленный пассивным излучением нейтронов из радиоактивного материала.

Измерение мгновенных нейтронов нельзя начинать, пока нейтроны в генераторе не полностью термализованы, поскольку сигнал, который они вызывают в течение нескольких микросекунд после импульса генератора, очень велик. Следовательно, все мгновенные нейтроны, образованные во время этой первой измерительной фазы, и, в частности, нейтроны, образованные реакциями деления, вызванными быстрыми нейтронами из генератора, нельзя обнаружить, поскольку они тонут в фоновом шуме.

На сигнал, обусловленный нейтронами замедленного деления, накладываются различные фоновые шумы, наиболее важным из которых является пассивное нейтронное излучение из радиоактивного материала. Сигнал от замедленных нейтронов кажется постоянным во время измерительного цикла с длительностью около 10 мс, поскольку время их излучения очень велико по сравнению с этой длительностью. Они начинаются от нескольких сотен миллисекунд до нескольких десятых секунды после реакции деления, в результате которой они образуются после β -распада некоторых продуктов деления. Таким образом, обнаруженные замедленные нейтроны относятся к предыдущим циклам измерения.

Замедленные нейтроны, образованные реакциями деления, вызванными быстрыми нейтронами, вносят свой вклад в сигнал замедленных нейтронов. Поскольку излучение замедленного нейтрона замедляется после реакции деления, которая создает его, то возможно обнаружение замедленных нейтронов, образованных реакциями деления, вызванными быстрыми или надтепловыми нейтронами, или тепловыми нейтронами.

Одним важным следствием этого является то, что воспроизводящий материал (например, ^{232}U) вносит вклад в сигнал замедленных нейтронов, но не в сигнал мгновенных нейтронов, поскольку мгновенные нейтроны, возникающие в результате реакций быстрого или надтеплового деления, являются не обнаруживаемыми. Эффективное сечение деления этого

изотопа при тепловой энергии очень мало по сравнению с поперечным сечением делящихся изотопов, что делает их вклад в сигнал мгновенных нейтронов пренебрежительно малым, поскольку энергетический спектр зондирующих нейтронов является чисто тепловым во время измерения мгновенных нейтронов.

Однако эффективное сечение деления урана 238 имеет тот же порядок величины, что и сечение деления делящихся изотопов выше 1 МэВ. Кроме того, поскольку этот изотоп может иногда присутствовать в относительно большом количестве в радиоактивном материале, то он вызывает замедленный сигнал, которым нельзя пренебречь по сравнению с сигналом, обусловленным делящимися изотопами.

Во время получения сигналов используют метод последовательного отсчета. Таким образом, информация, являющаяся результатом вклада быстрых и замедленных нейтронов в общий сигнал, например, в соединении с корреляциями, такими как отношения масс изотопов урана 235 и 238 и изотопов плутония 239 и 241, может быть использована для определения количества каждого из указанных изотопов.

Другое устройство согласно изобретению схематично показано на фиг.4 и 5. На фиг.4 показано это другое устройство в разрезе в изометрической проекции, в то время как на фиг.5 - в разрезе на виде сверху.

Устройство, показанное на фиг.4 и 5, также включает защитную оболочку 10, содержащую центральную зону 12, в которой размещается, например, контейнер 2 с радиоактивными отходами и которое ограничено четырьмя стенами 50, выполненными из умножительного материала, например такого как свинец.

Счетчики 52 нейтронов расположены снаружи трех из этих стен и смежно с этими стенами и окружены замедляющим материалом, например полиэтиленом. Два импульсных генератора 8 быстрых нейтронов расположены снаружи четвертой стены 50 и смежно с ней.

Как показано на фиг.5, стены 54, выполненные из замедляющего материала, например, из графита, расположены в контакте со счетчиками нейтронов.

Элементы 58, выполненные из поглощающего материала, например из борированного полиэтилена, покрывают поверхности полученного таким образом блока, за исключением поверхности, на которой расположены генераторы нейтронов. Кроме того, элементы 60, выполненные из замедляющего материала, например из полиэтилена, покрывают элементы 58, выполненные из поглощающего материала.

На фиг.5 показано также средство 6 обработки сигналов, которое обрабатывает выходные сигналы счетчиков 52 нейтронов.

Слои (не изображены) поглощающего нейтроны материала, например кадмия, покрывают детекторы нейтронов.

Герметизирующий слой 62, выполненный, например, из пластмассового материала, окружает стены 50.

На фиг.4 показано основание 64 защитной оболочки, которое может быть выполнено, например, из стали. Показаны также различные слои бетона 66, окружающего устройство.

Могут быть также предусмотрены средства для вращения контейнера, содержащие, например, поворотную плиту 68, которую можно вращать с

помощью соответствующего механизма 70 и вала 72, проходящего через основание 64.

Верхняя часть показанного на фиг.4 и 5 устройства накрыта стальной плитой 74. Эта плита снабжена отверстием над центральной зоной защитной оболочки. Это отверстие используют для помещения контейнера 2 в эту зону и для извлечения его из устройства после измерений. Кроме того, это отверстие закрыто крышкой 76, выполненной, например, из стали, снабженной захватным приспособлением 78. Эта крышка продолжается вниз элементом 80, выполненным из замедляющего материала, например, из полистиэлена.

На фиг.4 показана также неподвижная стена 82, выполненная из бетона, которая расположена напротив генераторов 8 нейтронов и отделена от них пространством. К стороне этой стены 82, противоположной генератору, прикреплено устройство 84 контроля потока, которое выполнено с возможностью определения числа нейтронов, излучаемых двумя генераторами нейтронов.

Напротив другой стороны бетонной стены 82 могут быть предусмотрены соответствующие средства (не изображены), способные проникать в это устройство через отверстия (не изображены) для обеспечения ухода за устройством, показанным на фиг.4 и 5.

2. Формула изобретения

1. Способ анализа объекта (2), в частности, контейнера для радиоактивных отходов, на содержание делящего материала, или воспроизводящего материала, или обоих материалов, при этом делящийся материал содержит M делящихся изотопов, а воспроизводящий материал содержит N воспроизводящих изотопов, где M и N являются целыми числами, равными, по меньшей мере, 1, отличающийся тем, что объект облучают потоком нейтронов, состоящим из тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов и полученным из последовательности первоначальных импульсов быстрых нейтронов, при этом тепловые нейтроны вызывают деление в делящихся материалах, а надтепловые и быстрые нейтроны вызывают деление в делящемся материале и в воспроизводящем материале, измеряют сигналы мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, и накапливают эти сигналы для получения суммы всех сигналов после последнего импульса, используют эту сумму для определения вклада Sr мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада Sr замедленных нейтронов, образованных реакциями теплового, надтеплового и быстрого делений, выражают Sr и Sr в виде линейных комбинаций количеств $M+N$ изотопов, при этом коэффициенты этих линейных комбинаций предварительно определяют с помощью калибровки, и определяют количество каждого из $M+N$ изотопов из выраженных таким образом Sr и Sr и, по меньшей мере, $M+N-2$ дополнительных элементов информации о количествах $M+N$ изотопов.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительными элементами информации являются корреляции между количествами $M+N$ изотопов.

3. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что делящиеся и воспроизводящие материалы содержат уран 235, уран 238, плутоний 239 и плутоний 241.

4. Устройство для анализа объекта (2), в частности контейнера для радиоактивных отходов, на содержание делящегося материала, или

воспроизводящего материала, или обоих материалов, при этом делящийся материал содержит М делящихся изотопов, а воспроизводящий материал содержит N воспроизводящих изотопов, где М и N являются целыми числами, равными, по меньшей мере, 1, отличающееся тем, что оно содержит средства (8, 10) для облучения объекта потоком нейтронов, состоящим из тепловых, надтепловых и быстрых нейтронов и образованным из последовательности первоначальных импульсов быстрых нейтронов, при этом тепловые нейтроны вызывают деление в делящихся материалах, а надтепловые и быстрые нейтроны вызывают деление в делящемся материале и в воспроизводящем материале, средства (4, 52) для подсчета нейтронов, выполненные с возможностью измерения сигналов мгновенных и замедленных нейтронов, излучаемых объектом после каждого импульса, и средство (6) для обработки измеренных таким образом сигналов, выполненное с возможностью накопления этих сигналов и получения суммы всех сигналов после последнего импульса, с использованием этой суммы для определения вклада Sr мгновенных нейтронов, образованных тепловым делением, и вклада Sr замедленных нейтронов, образованных реакциями теплового, надтеплового и быстрого делений, и использованием Sr и Sr для определения количества каждого из M+N изотопов и, по меньшей мере, M+N-2 дополнительных элементов информации, связанной с количествами M+N изотопов, путем представления Sr и Sr в виде линейных комбинаций этих количеств, при этом коэффициенты этих линейных комбинаций предварительно определены с помощью калибровки.

5. Устройство по п.4, отличающееся тем, что средства облучения содержат по меньшей мере, один источник (8) быстрых нейтронов, работающий в импульсном режиме, и средство (10) термализации этих быстрых нейтронов.

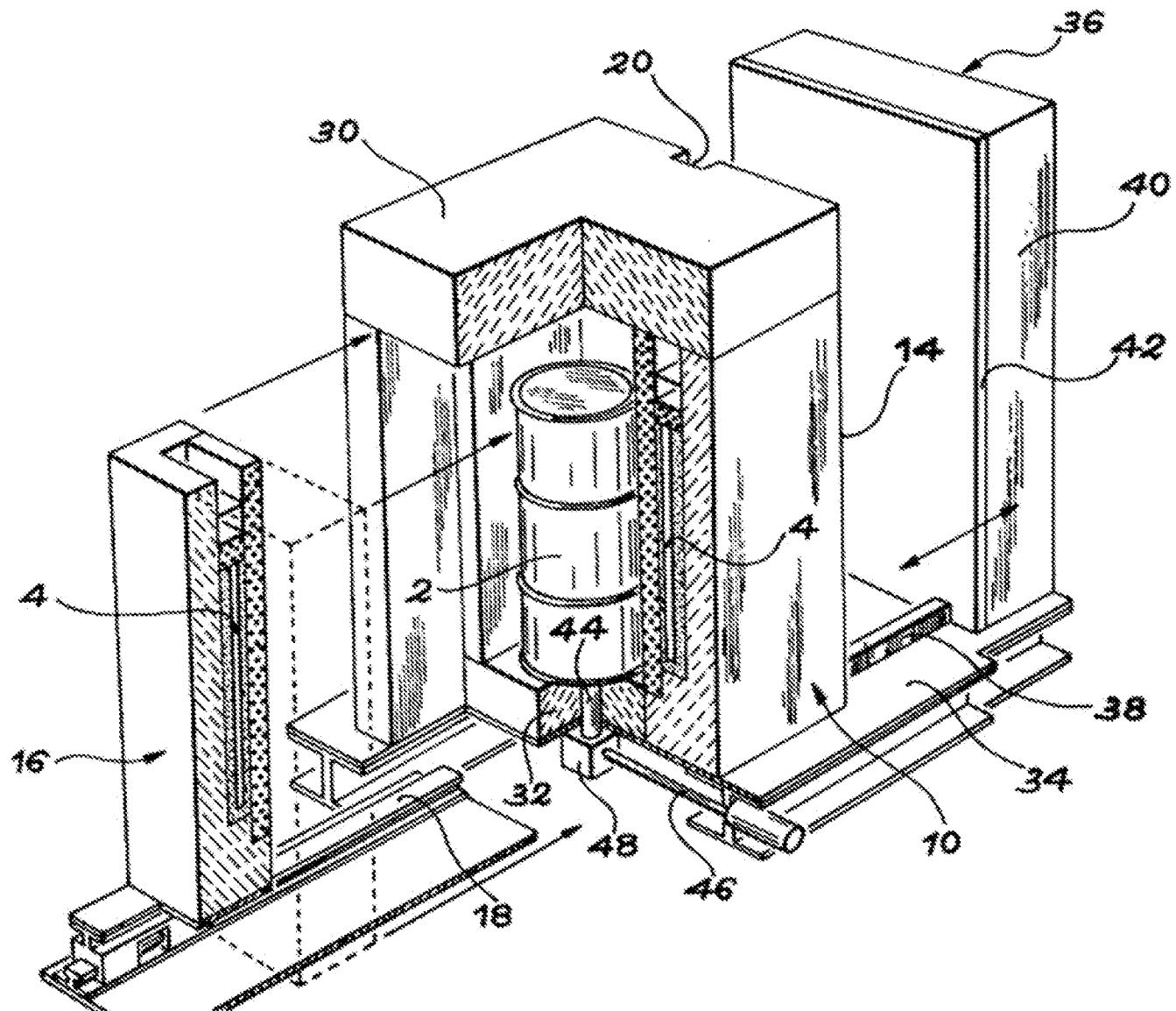
6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что средство термализации содержит защитную оболочку (10), которая включает центральную зону (12), для размещения объекта (2), в которой, по меньшей мере, три стороны ограничены слоем (14, 60) замедляющего материала, при этом источник (8) нейтронов расположен на четвертой стороне этой защитной оболочки, а средства (4, 52) подсчета нейтронов расположены на трех сторонах между центральной зоной и слоем замедляющего материала, причем между центральной зоной и источником нейтронов и между центральной зоной и средствами для подсчета нейтронов предусмотрен слой (22, 24, 50) умножительного материала.

7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что каждое средство для подсчета нейтронов также окружено слоем (26) поглощающего нейтроны материала.

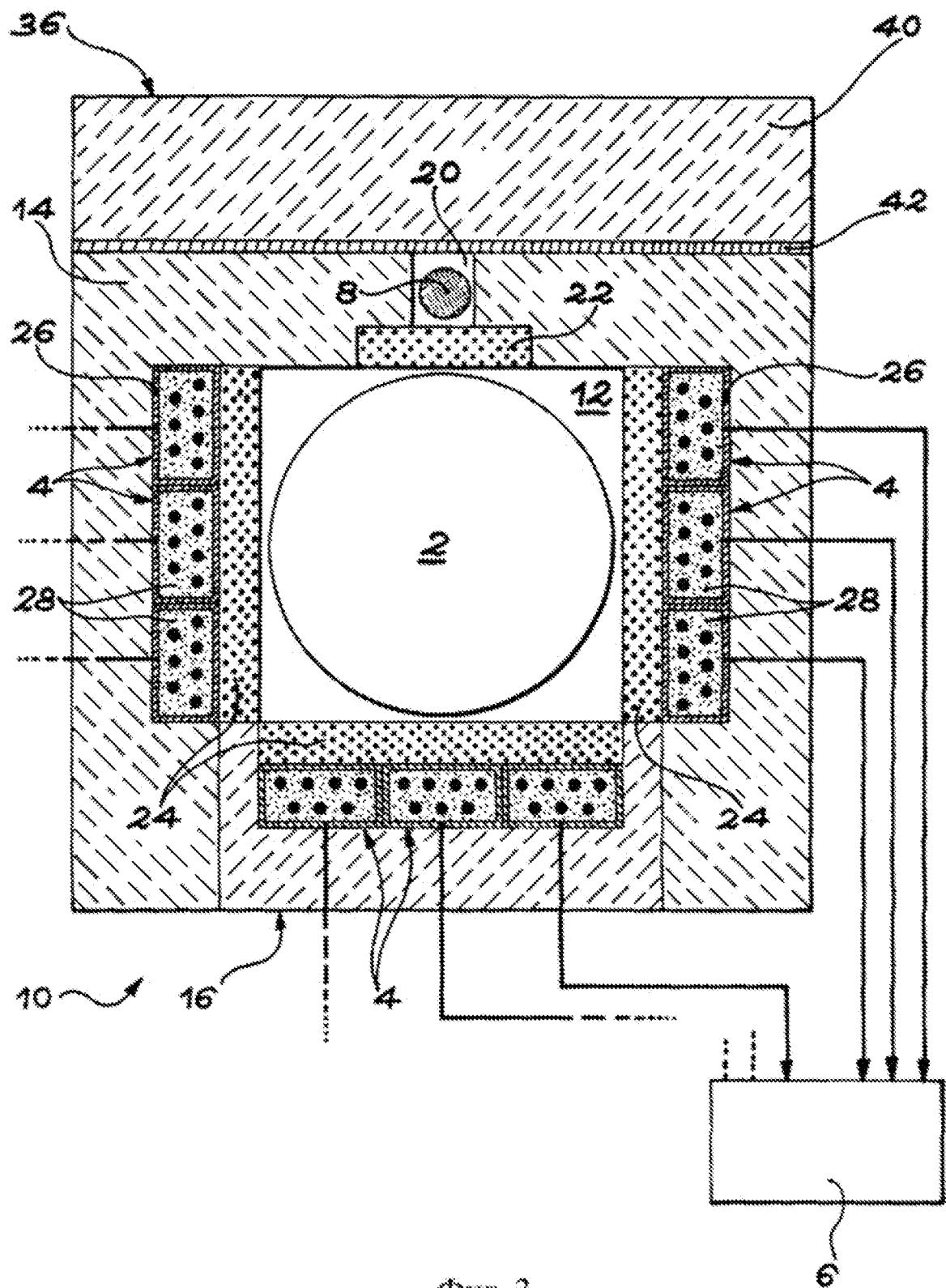
8. Устройство по любому из пп.6 и 7, отличающееся тем, что каждое средство для подсчета нейтронов также окружено замедляющим материалом (28).

9. Устройство по любому из пп.6-8, отличающееся тем, что дополнительно содержит стену (36), выполненную из поглощающего нейтроны и замедляющего материалов, которая ограничивает четвертую сторону защитной оболочки, при этом слой (22), соответствующий умножительному материалу, расположен между этой стеной (36) и центральной зоной (12).

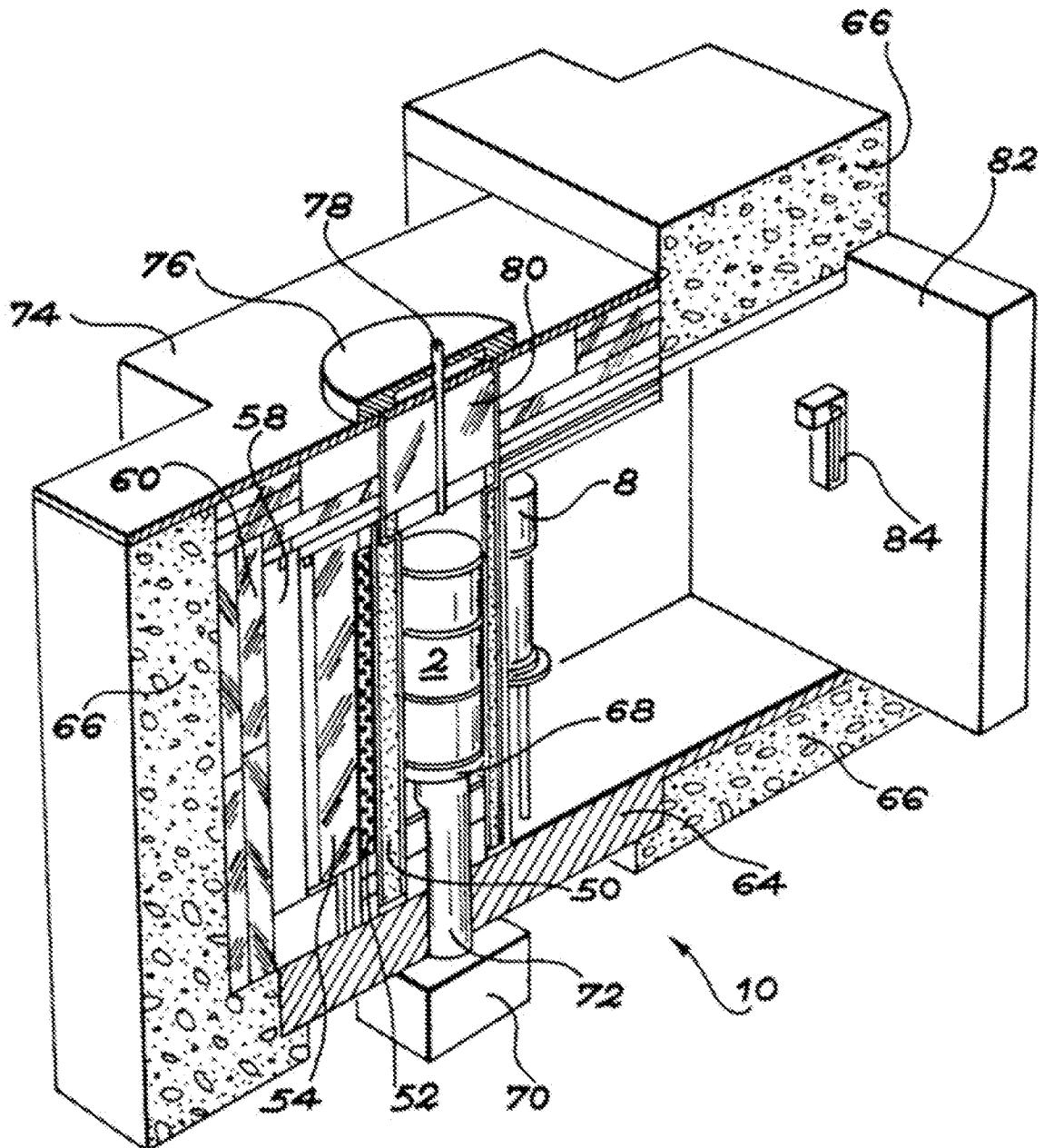
10. Устройство по любому из пп.б-9, отличающееся тем, что дополнительно содержит также средства (46, 48; 68, 70, 72) для вращения объекта (2) внутри центральной зоны защитной оболочки.



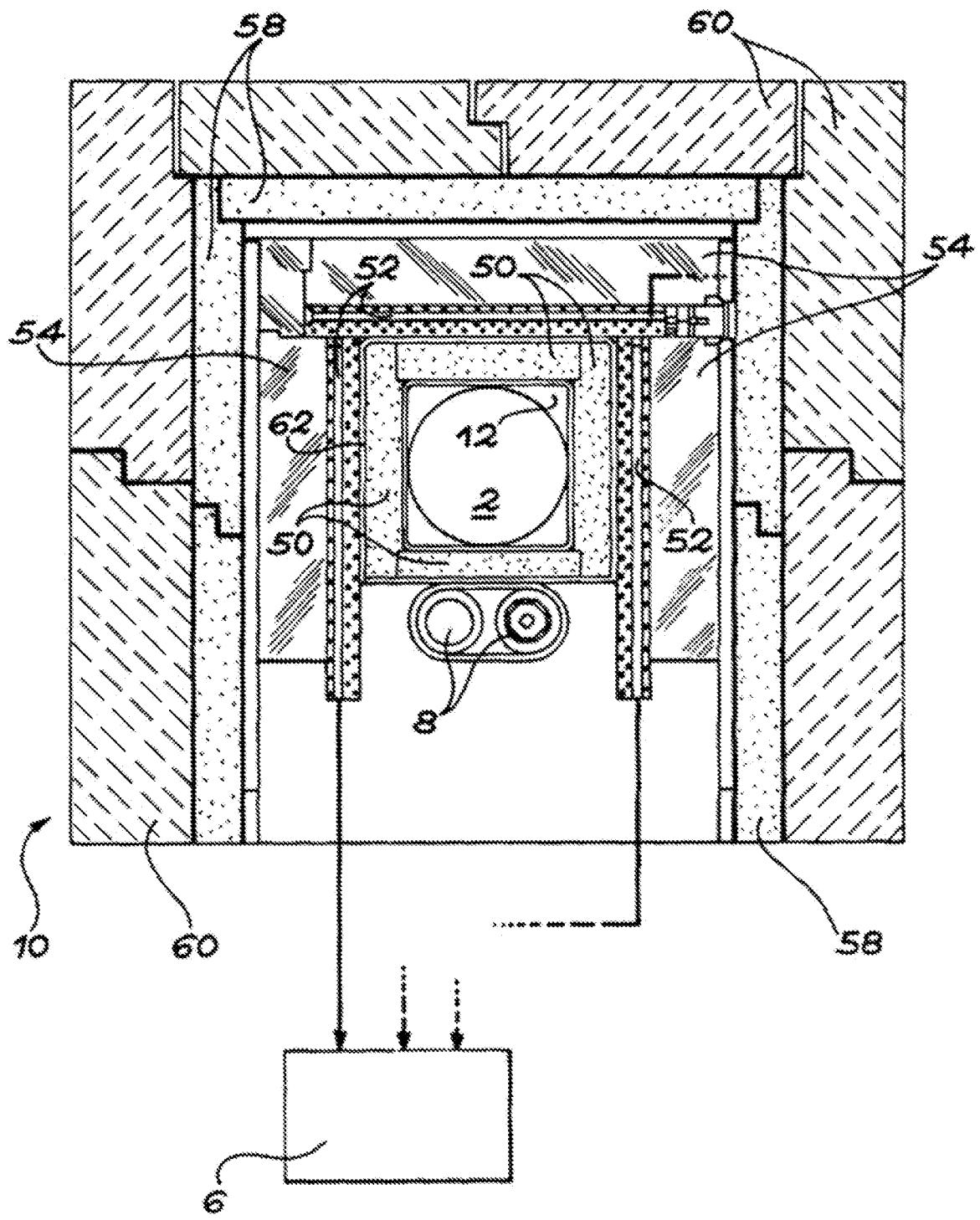
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5