



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012109198/28, 11.03.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
11.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 11.03.2012

(45) Опубликовано: 27.12.2012 Бюл. № 36

Адрес для переписки:

620002, г.Екатеринбург, ул. Мира, 19, УрФУ,
Центр интеллектуальной собственности, Т.В.
Маркс

(72) Автор(ы):

Арбузов Валерий Иванович (RU),
Дукельский Константин Владимирович (RU),
Иванов Владимир Юрьевич (RU),
Мильман Игорь Игорьевич (RU),
Хохлов Александр Вадимович (RU),
Черепанов Александр Николаевич (RU),
Шевандин Виктор Сергеевич (RU),
Шульгин Борис Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Уральский
федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина" (ФГАОУ
ВПО УрФУ) (RU)

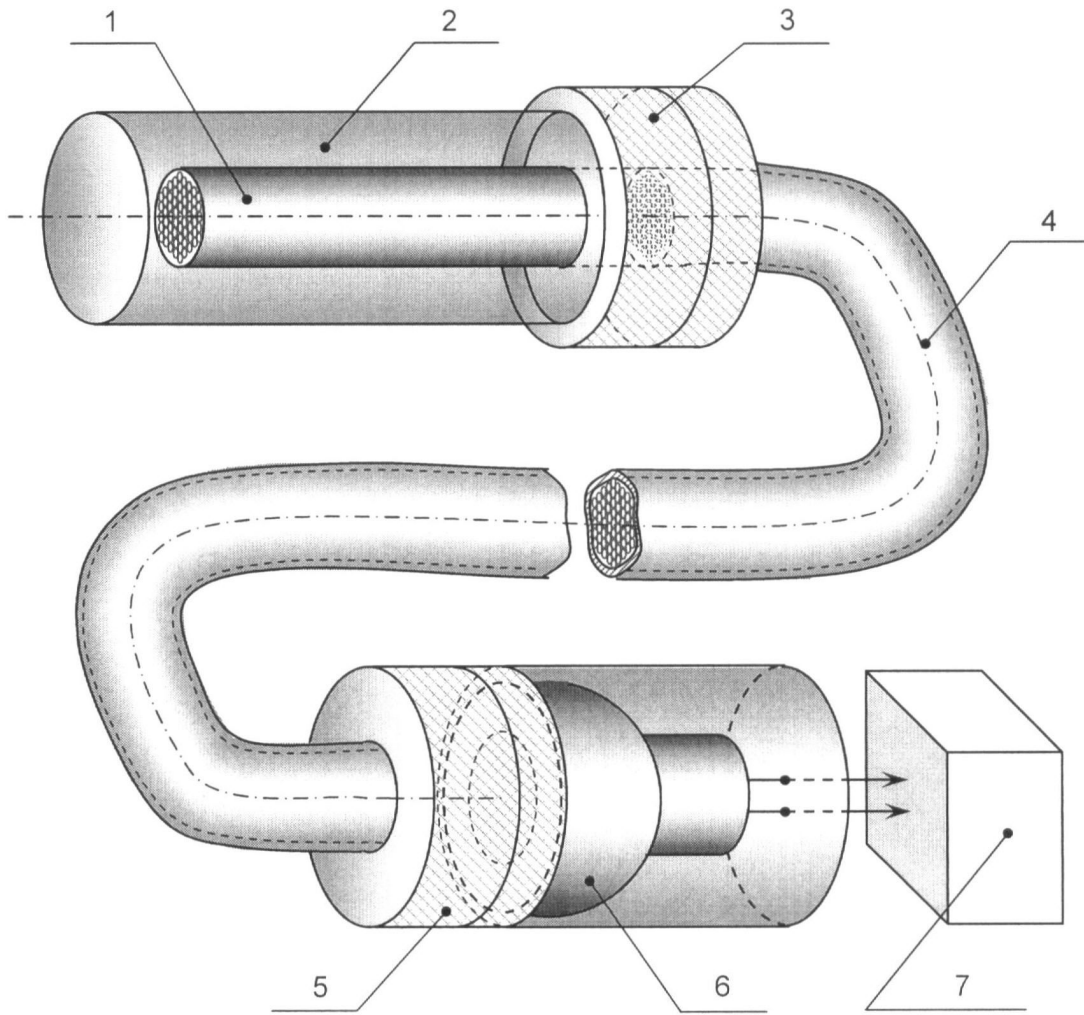
(54) СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Формула полезной модели

Сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов, включающий в себя пластиковый замедлитель быстрых нейтронов, сцинтилляционный сенсорный датчик на основе активированного церием ⁶Li-содержащего силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, фотоприемное устройство в виде фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, отличающийся тем, что пластиковый замедлитель быстрых нейтронов выполнен в виде пластмассовой крепежной оболочки толщиной 2-6 мм, окружающей сцинтилляционный датчик, состоящий из прижатых друг к другу, собранных в пучок ⁶Li-содержащих активированных церием стекловолокон длиной 0,5-1 м круглого или квадратного сечения с наружным размером волокна 0,2-2 мм и менее, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком электронной обработки сигналов, подключен с помощью обеспечивающих оптический контакт фитингов канал волоконно-оптической связи длиной несколько метров.

RU 123544 U1

RU 123544 U1



RU 1 2 3 5 4 4 4 4 5 4 4 1 1 UN

RU 1 2 3 5 4 4 4 4 5 4 4 1 1 UN

Заявляемая полезная модель сцинтилляционного детектора нейтронов относится к области детектирования нейтронов широкого спектра энергий с высокой плотностью потоков, нейтронные генераторы с высокой плотностью потока. Полезная модель может быть использована в дозиметрических устройствах при регистрации и определении 5 плотности потоков и флюенсов нейтронов в горизонтальных каналах в биологической защите ядерных реакторов как вблизи активной зоны, так и на удалении от нее, а также в детектирующих блоках, входящих в устройства обнаружения взрывчатых веществ, в которых для зондирования взрывчатки используются

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов на основе пластика 10 и ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ, МПК G01T 1/20 3/00), чувствительный как к быстрым, так и к тепловым нейтронам. Известный детектор содержит сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав сцинтиблока входят помещенные в единый корпус три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам 15 органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, 20 чувствительный к гамма-излучению; чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла и фотоэлектронный умножитель. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтиимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический 25 анализатор для обработки сцинтиимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl.

Однако известный сцинтилляционный детектор непригоден для работы в каналах ядерного реактора с высокими плотностями потока нейтронов или в зоне 30 непосредственного действия мощных нейтронных потоков от нейтронных генераторов (например, потоками нейтронов с энергией 14 МэВ, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами), поскольку функционирование фотоприемного устройства (ФЭУ) будет нарушено вследствие воздействия на него больших потоков нейтронов.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Пат. РФ 2248011, МПК G02B 6/02, G02B 6/16, G01T 1/20, G01T 3/06, в котором в качестве сцинтиллятора 35 используются волокна на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI с активирующей добавкой. Причем активирующую добавку (ионы Tl, либо Cr, либо Eu, либо Ce в количестве 0,01-0,001 мас.%) содержит только регистрирующая, сцинтиллирующая часть этих волокон, а передающая часть волокон выполнена без активирующих добавок и играет роль световода. Известный детектор пригоден для регистрации рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение, попадая в регистрирующую часть волокон 40 детектора, вызывает в них появление сцинтилляций с длиной волны ~400 нм и длительностью 20 нс, что обеспечивает визуализацию рентгеновского излучения. Возникающие световые вспышки через передающую часть волокон детектора поступают практически без потерь в удаленное от источника излучения фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов. Однако известный световолоконный 45 сцинтилляционный детектор не пригоден для регистрации нейтронов и определения их флюенса, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Известен сцинтилляционный детектор фирмы Митсубиси (патент США №5434415, МПК G01T 1/20, 1/203 от 18.07.1995), содержащий два полуцилиндрических, прижатых

друг к другу сцинтиллятора, выполненных из кристаллов NaI:Tl, образующих сцинтиблок с полым внутренним каналом с размещенным в канале люминесцентным волоконным световодом-сместителем спектра, сочетанным с волоконным световодом связи, и фотоприемное устройство. Однако известный сцинтилляционный детектор,
5 предназначенный для работы в водяной защите ядерного реактора и располагаемый в водной среде на удалении от верха активной зоны реактора на расстояниях от 0 до 6,5 метров, пригоден для регистрации только гамма-излучения, он непригоден для регистрации нейтронов, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов широкого спектра энергий
10 (Маклаков П.С., Шульгин Б.В., Кортков С.В. Черепанов А.Н. и др., патент РФ №2412453 МПК G01T 3/06, заявл. 02.04.2009, опубл. 20.02.2011. Бюл. №5), состоящий из датчика-сцинтиблока, включающего замедлитель нейтронов из водородсодержащего вещества, сцинтиллятор и фотоэлектронный умножитель, и блока электронной обработки сигналов, причем сцинтиллятор выполнен в виде сборки параллельно расположенных
15 друг к другу сцинтилляционных волокон, изготовленных из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолиния, иттрия и европия; с одного конца сборки волокон в корпусе датчика-сцинтиблока дополнительно расположено светоотражающее зеркало, с другого торца - светособирающая линза, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон на фотокатоде
20 фотоэлектронного умножителя, а сам волоконный сцинтиллятор расположен частично внутри замедлителя нейтронов из водородсодержащего вещества в форме шестиугольной призмы или цилиндра с диаметром, превышающем диаметр сборки или равным диаметру сборки, частично - вне замедлителя.

Однако известный сцинтилляционный детектор отличается сложной конструкцией
25 и дороговизной из-за высокой стоимости сцинтиллирующих гадолиний-европиевых оксидных кристалловолокон, а главное, он непригоден для работы в каналах ядерного реактора или для работы в радиационных полях, создаваемых другими источниками нейтронов (нейтронными генераторами) с высокими плотностями потока нейтронов, поскольку функционирование фотоприемного устройства (ФЭУ), попадающего под
30 действие больших потоков нейтронов, будет нарушено.

Наиболее близким к заявляемому является известный сцинтилляционный детектор нейтронов на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла. (Пат. 2300782 РФ, МПК G01T 1/00, G01T 1/20, G01T 3/06, заявл. 08.08.2005. опубл. 10.06.2007. Бюл.№16). Известный сцинтилляционный детектор нейтронов содержит датчик-сцинтиблок,
35 включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, используемый как для регистрации быстрых нейтронов, так и для их замедления, стеклянный сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла для регистрации тепловых нейтронов, светоотражающее зеркало и фотоприемное устройство в виде фотодиодного
40 регистратора или многоканального фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый сцинтиллятор (он же замедлитель быстрых нейтронов) выполнен в виде призмы или цилиндра со светоотражающим покрытием по всей внешней боковой поверхности, а сцинтиллятор из ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла с церием выполнен в виде стекловолокон диаметром 1,5-1,8 мм, размещенных в продольных внутренних
45 каналах (от одного до 16 штук) пластикового сцинтиллятора. Диаметр каналов в пластиковом сцинтилляторе 1,8-2 мм. Длина стеклянных сцинтилляционных волокон, размещенных в этих каналах, незначительно превышает длину пластикового сцинтиллятора. Концы волокон, выходящие из каналов с одной стороны пластикового

сцинтиллятора, собираются в единый жгут, их полированные торцы соединяются со светоотражающим зеркалом. Концы волокон, выходящие с другой стороны пластикового сцинтиллятора, также собираются в единый жгут и соединяются (через оптический контакт) с фотоприемником. Конструкция известного детектора нейтронов 5 позволяет в основном непосредственно регистрировать быстрые нейтроны по сцинтилляционным вспышкам в пластиковом сцинтилляторе. Стекловолоконные элементы сцинтиблока играют вспомогательную роль, их попутной функцией является светосбор сцинтилляций от быстрых нейтронов, возникающих в пластике, и передача их к фотодетектору. Одновременно ${}^6\text{Li}$ -стекловолокна выполняют и функцию 10 регистрации тепловых нейтронов.

Недостатком известного сцинтилляционного детектора нейтронов является его громоздкость, он не может быть размещен в канале ядерного реактора, он просто не войдет в такой канал, то есть он непригоден для работы в каналах ядерного реактора. Известный детектор непригоден также и для работы в радиационных полях, создаваемых 15 другими источниками нейтронов (нейтронными генераторами) с высокими плотностями потока нейтронов, поскольку функционирование фотоприемного устройства детектора (фотодиодного регистратора или многоканального фотоумножителя), попадающего под действие больших потоков нейтронов, будет нарушено.

Задачей изобретения является разработка полезной модели сцинтилляционного детектора, пригодного для регистрации потоков нейтронов спектра деления и тепловых 20 нейтронов в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов, а также для регистрации потоков быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами.

Задача решается за счет того, что сцинтилляционный детектор для регистрации 25 нейтронов, включает в себя пластиковый замедлитель быстрых нейтронов, сцинтилляционный сенсорный датчик на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, фотоприемное устройство в виде фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый 30 замедлитель быстрых нейтронов выполнен в виде пластмассовой оболочки (с необходимой толщиной), окружающей сцинтилляционный датчик, состоящий из прижатых друг к другу, собранных в пучок ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком электронной обработки 35 сигналов, подключен с помощью обеспечивающих оптический контакт фитингов канал волоконно-оптической связи в виде кварцевого стекловолоконного световода.

Применение кварцевого стекловолоконного световода длиной до нескольких метров позволяет вывести фотоприемное устройство из радиационно опасной зоны канала ядерного реактора, или из опасной зоны действия нейтронных потоков нейтронного 40 генератора и обеспечить передачу сцинтилляционных вспышек от ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон к фотоприемному устройству (ФЭУ), размещенному вдали от мощных нейтронных потоков и тем самым предотвратить радиационное повреждение/поражение как фотоприемного устройства, так и блока электронной обработки сигналов. При этом вне воздействия нейтронных полей находится и инженер-оператор. Предложенная 45 полезная модель сцинтилляционного детектора нейтронов регистрирует нейтроны спектра деления (0,3-10 МэВ), быстрые и тепловые нейтроны. Она пригодна для размещения в горизонтальных каналах исследовательских ядерных реакторов на разных расстояниях от активной зоны, а также для определения потоков нейтронов в зоне

действия импульсных нейтронных (D-T) - генераторов.

Схема предлагаемого устройства приведена на Фиг.1.

Предлагаемое устройство содержит сцинтилляционный датчик, который представляет собой чувствительный к тепловым нейтронам набор сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием и собранных в пучок 1 стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна до 0,2-2 мм и менее и длиной до 0,5-1 м, окруженных замедлителем быстрых нейтронов в виде пластмассового чехла (оболочки). Сцинтилляционный датчик размещен в непрозрачном металлическом корпусе 2, причем

входные торцы ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон имеют светоотражающее покрытие (на Фиг.1 не показаны). Сцинтилляционный датчик через обеспечивающий оптический контакт фиттинг 3 соединен с кварцевым волоконным световодом 4, имеющим длину до нескольких метров; кварцевый волоконный световод через обеспечивающий оптический контакт фиттинг 5 соединен с фотоэлектронным умножителем 6. Фотоэлектронный умножитель 6 подключен к блоку электронной обработки сигналов 7. Длина стекловолоконного кварцевого световода выбирается такой, чтобы обеспечить размещение ФЭУ за пределами биологической защиты ядерного реактора или обеспечить размещение ФЭУ, блока обработки сигналов и инженера-оператора за пределами действия пучка нейтронов от импульсного нейтронного D-T- генератора.

Длина пластикового замедлителя быстрых нейтронов и соответственно длина сцинтилляционного датчика, равная 0,5-1 м, обеспечивающая замедление нейтронов спектра деления до тепловых энергий, оценена следующим образом. В приближении 26 группового энергетического разбиения спектра деления нейтронов (Г.Г.Бартоломей, Г.А.Бать, В.Д.Байбаков и др. / Основы теории и расчета ядерных энергетических реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1989) в качестве основной, как правило, выделяют третью энергетическую группу в интервале энергий 2,5-4 МэВ и задают среднюю энергию этих нейтронов $E_{cp}=3$ МэВ. Именно такой подход использован при проведении оценочных расчетов. Проведенная при разработке предлагаемого сцинтилляционного детектора нейтронов оценка средней длины миграции нейтронов основной третьей энергетической группы в тепловую группу при прохождении их через используемый в предлагаемом детекторе пластмассовый замедлитель $(\text{CH}_2)_n$ (пластмассовую крепежную оболочку) показала, что средняя длина миграции не превышает 0,5-1 м (формулы для расчета взяты из источника Г.Г.Бартоломей и др., - указан выше).

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Сцинтилляционный датчик размещают в горизонтальном канале ядерного реактора или в зоне действия импульсного нейтронного генератора. Торец датчика подвержен воздействию нейтронов спектра деления (0,3-10 МэВ) и тепловых нейтронов активной зоны реактора или быстрых, 14 МэВ, нейтронов нейтронного генератора. Нейтронное излучение поступает в детектор с торца датчика. Быстрые нейтроны практически без потерь проходят через корпус 2 сцинтилляционного датчика и попадают в пластиковый замедлитель, выполненный в виде чехла (крепежной оболочки) толщиной 2-8 мм и замедляются до тепловых энергий по мере прохождения вдоль этой оболочки-замедлителя. Замедленные таким путем до тепловых энергий нейтроны, а также основная часть первичных тепловых нейтронов из активной зоны реактора попадает в сенсорный отдел сцинтиблока, - в чувствительные к тепловым нейтронам сцинтиллирующие ${}^6\text{Li}$ -содержащие стекловолоконна, активированные церием. Тепловые нейтроны взаимодействуют по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ с ядрами ${}^6\text{Li}$, входящими в состав стекловолокон,

с образованием быстрых альфа-частиц и ядер трития, которые в свою очередь вызывают
сцинтилляционные световые вспышки (с длиной волны около 400 нм), связанные с
центрами свечения - ионами церия, входящими в состав стекловолокон. Эти
сцинтилляционные вспышки, возникающие в пучке 1 стекловолокон, поступают через
5 оптический контакт фиттинга 3 в кварцевый волоконный световод 4 длиной до
нескольких метров, а затем через оптический контакт фиттинга 5 на фотоэлектронный
умножитель 6, где происходит их регистрация. Сигналы с ФЭУ 6 поступают в блок
электронной обработки сигналов 7 для окончательного анализа. За счет большой
длины (до нескольких метров) кварцевого стекловолоконного световода 4
10 фотоэлектронный умножитель 6 и блок электронной обработки сигналов 7, а также
инженер-оператор выводятся далеко за пределы зоны регистрируемого излучения -
интенсивного потока тепловых нейтронов

Корпус 2 сцинтилляционного датчика придает ему определенную жесткость и
защищает сенсорный элемент детектора - пучок 1 сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон
15 от внешнего света. При работе детектора в закрытых от света изогнутых каналах
биологической защиты наружный корпус 2 удаляется. Наличие светоотражающего
покрытия на входных торцах сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон уменьшает потери
света в датчике и увеличивает сцинтилляционную эффективность регистрации тепловых
20 нейтронов. Волокна с квадратным сечением обеспечивают более плотную упаковку
сцинтиллирующих стекловолокон в пучке и несколько более высокую, на 5-8%,
эффективность регистрации тепловых нейтронов. Однако сборка из таких волокон
оказывается менее гибкой.

${}^6\text{Li}$ -стекловолокна с наружным размером 0,2-2 мм и менее обеспечивают минимальные
25 потери света и необходимую гибкость сцинтилляционного датчика при пучке волокон
длиной до 1 м. Использование в предлагаемом детекторе сцинтилляционных волокон
длиной более 1 м, как показали приведенные выше результаты расчетов длины миграции
через замедлитель быстрых нейтронов в тепловую группу (проведенные по
Г.Г.Бартоломео и др.) технически не оправдано. Использование сцинтилляционной
30 датчиков с меньшей длиной, нежели 0,5 м приводит к уменьшению сцинтилляционной
эффективности детектора. При диаметре волокон 5 мм и более наступает заметное
поглощение света в материале волоконного сцинтиллятора, что заставляет уменьшать
рабочую длину стекловолоконного ${}^6\text{Li}$ -сцинтилляционного датчика до 0,3-0,45 м., а
это на 30-50% и более снижает эффективность сцинтилляционного детектора нейтронов.

35 Толщина изготовленного в виде пластиковой крепежной оболочки замедлителя
нейтронов (широкого спектра энергий) до тепловых энергий оказывается оптимальной
в пределах 2-6 мм. Меньшая толщина уменьшает эффективность замедления нейтронов
и ведет к ослаблению крепежной функции оболочки, большая - к утяжелению и
удорожанию сцинтиблока.

40 Предлагаемый сцинтилляционный детектор обеспечивает технический эффект:
повышенную сцинтилляционную эффективность регистрации нейтронов широкого
спектра энергий и безопасную для аппаратуры и персонала регистрацию мощных
потоков нейтронов спектра деления и тепловых нейтронов в горизонтальных каналах
биологической защиты ядерных реакторов или в зоне действия мощных потоков
45 быстрых нейтронов, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами или другими
источниками нейтронов.

(57) Реферат

Применение: детекторы для регистрации нейтронных потоков в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов, а также детекторы, входящие в состав устройств активного обнаружения взрывчатых веществ, в которых для зондирования взрывчатки используются потоки быстрых нейтронов.

Суть изобретения: сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов, включающий в себя пластиковый замедлитель быстрых нейтронов, сцинтилляционный сенсорный датчик на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, фотоприемное устройство в виде фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый замедлитель быстрых нейтронов выполнен в виде пластмассовой крепежной оболочки, окружающей сцинтилляционный датчик, состоящий из прижатых друг к другу, собранных в пучок ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным множителем, сочетанным с блоком электронной обработки сигналов, подключен с помощью обеспечивающих оптический контакт фитингов канал волоконно-оптической связи.

Технический эффект: повышение сцинтилляционной эффективности регистрации нейтронов широкого спектра энергий, обеспечение режима безопасной регистрации мощных потоков нейтронов спектра деления и тепловых нейтронов в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов или в зоне действия мощных потоков быстрых нейтронов, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами или другими источниками нейтронов.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Реферат

Применение: детекторы для регистрации нейтронных потоков в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов, а также детекторы, входящие в состав устройств активного обнаружения взрывчатых веществ, в которых для зондирования взрывчатки используются потоки быстрых нейтронов.

Суть изобретения: сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов, включающий в себя пластиковый замедлитель быстрых нейтронов, сцинтилляционный сенсорный датчик на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, фотоприемное устройство в виде фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый замедлитель быстрых нейтронов выполнен в виде пластмассовой крепежной оболочки, окружающей сцинтилляционный датчик, состоящий из прижатых друг к другу, собранных в пучок ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком электронной обработки сигналов, подключен с помощью обеспечивающих оптический контакт фитингов канал волоконно-оптической связи.

Технический эффект: повышение сцинтилляционной эффективности регистрации нейтронов широкого спектра энергий, обеспечение режима безопасной регистрации мощных потоков нейтронов спектра деления и тепловых нейтронов в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов или в зоне действия мощных потоков быстрых нейтронов, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами или другими источниками нейтронов.

26-03 -10/39
24.02.12.

2012109198



ПК G01T 1/00, 1/20, 3/02

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ

Заявляемая полезная модель сцинтилляционного детектора нейтронов относится к области детектирования нейтронов широкого спектра энергий с высокой плотностью потоков. нейтронные генераторы с высокой плотностью потока. Полезная модель может быть использована в дозиметрических устройствах при регистрации и определении плотности потоков и флюенсов нейтронов в горизонтальных каналах в биологической защите ядерных реакторов как вблизи активной зоны, так и на удалении от нее, а также в детектирующих блоках, входящих в устройства обнаружения взрывчатых веществ, в которых для зондирования взрывчатки используются

Известен сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов на основе пластика и ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла (Пат. 2143711 РФ, МПК G01T 1/20 3/00), чувствительный как к быстрым, так и к тепловым нейтронам. Известный детектор содержит сцинтиблок и блок электронной обработки сигналов. В состав сцинтиблока входят помещенные в единый корпус три параллельно-последовательно соединенных сцинтиллятора: входной нейтронный сцинтиллятор, выполненный из чувствительного к быстрым нейтронам органического водородосодержащего вещества на основе пластмассы $(\text{CH})_n$ или стильбена (сцинтиллятор с колодцем), играющий одновременно роль входного замедлителя быстрых нейтронов до тепловых энергий; размещенный в колодце входного сцинтиллятора сцинтилляционный кристалл NaI:Tl в стандартном контейнере, чувствительный к гамма-излучению; чувствительный к тепловым нейтронам внутренний сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла и фотоэлектрон-

ный умножитель. Блок электронной обработки сигналов включает схему временной селекции сцинтимпульсов от двух нейтронно-чувствительных сцинтилляторов и от гамма-чувствительного сцинтиллятора, а также спектрометрический анализатор для обработки сцинтимпульсов от сцинтилляционного кристалла NaI:Tl.

Однако известный сцинтилляционный детектор непригоден для работы в каналах ядерного реактора с высокими плотностями потока нейтронов или в зоне непосредственного действия мощных нейтронных потоков от нейтронных генераторов (например, потоками нейтронов с энергией 14 МэВ, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами), поскольку функционирование фотоприемного устройства (ФЭУ) будет нарушено вследствие воздействия на него больших потоков нейтронов.

Известен световолоконный сцинтилляционный детектор (Пат. РФ 2248011, МПК G02B 6/02, G02B 6/16, G01T 1/20, G01T 3/06, в котором в качестве сцинтиллятора используются волокна на основе галогенидов серебра AgCl-AgBr-AgI с активирующей добавкой. Причем активирующую добавку (ионы Tl, либо Sr, либо Eu, либо Ce в количестве 0,01-0,001 мас. %) содержит только регистрирующая, сцинтиллирующая часть этих волокон, а передающая часть волокон выполнена без активирующих добавок и играет роль световода. Известный детектор пригоден для регистрации рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение, попадая в регистрирующую часть волокон детектора, вызывает в них появление сцинтилляций с длиной волны ~ 400 нм и длительностью 20 нс, что обеспечивает визуализацию рентгеновского излучения. Возникающие световые вспышки через передающую часть волокон детектора поступают практически без потерь в удаленное от источника излучения фотоприемное устройство с блоком электронной обработки сигналов. Однако известный световолоконный сцинтилляционный детектор не пригоден для регистрации нейтронов и опреде-

ления их флюенса, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Известен сцинтилляционный детектор фирмы Митсубиси (патент США № 5434415, МПК G 01T 1/20, 1/203 от 18.07.1995), содержащий два полуцилиндрических, прижатых друг к другу сцинтиллятора, выполненных из кристаллов NaI:Tl, образующих сцинтиллятор с полым внутренним каналом с размещенным в канале люминесцентным волоконным световодом-сместителем спектра, сочетанным с волоконным световодом связи, и фотоприемное устройство. Однако известный сцинтилляционный детектор, предназначенный для работы в водяной защите ядерного реактора и располагаемый в водной среде на удалении от верха активной зоны реактора на расстояниях от 0 до 6,5 метров, пригоден для регистрации только гамма-излучения, он непригоден для регистрации нейтронов, поскольку не содержит нейтронного сенсорного датчика.

Известен сцинтилляционный детектор нейтронов широкого спектра энергий (Маклаков П. С., Шульгин Б.В., Кортов С.В. Черепанов А.Н. и др., патент РФ №2 412 453 МПК G01T 3/06.заявл.02.04 2009, опубл.20.02.2011. Бюл. №5), состоящий из датчика-сцинтиблока, включающего замедлитель нейтронов из водородсодержащего вещества, сцинтиллятор и фотоэлектронный умножитель, и блока электронной обработки сигналов, причем сцинтиллятор выполнен в виде сборки параллельно расположенных друг к другу сцинтилляционных волокон, изготовленных из чувствительного к тепловым нейтронам материала на основе смешанного оксида гадолия, иттрия и европия; с одного конца сборки волокон в корпусе датчика-сцинтиблока дополнительно расположено светоотражающее зеркало, с другого торца – светособирающая линза, обеспечивающая фокусировку света люминесценции волокон на фотокатоде фотоэлектронного умножителя, а сам волоконный сцинтиллятор расположен частично внутри замедли-

теля нейтронов из водородсодержащего вещества в форме шестиугольной призмы или цилиндра с диаметром, превышающем диаметр сборки или равным диаметру сборки, частично – вне замедлителя.

Однако известный сцинтилляционный детектор отличается сложной конструкцией и дороговизной из-за высокой стоимости сцинтиллирующих гадолиний-европиевых оксидных кристалловолокон, а главное, он непригоден для работы в каналах ядерного реактора или для работы в радиационных полях, создаваемых другими источниками нейтронов (нейтронными генераторами) с высокими плотностями потока нейтронов, поскольку функционирование фотоприемного устройства (ФЭУ), попадающего под действие больших потоков нейтронов, будет нарушено.

Наиболее близким к заявляемому является известный сцинтилляционный детектор нейтронов на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ - силикатного стекла. (Пат.2300782 РФ, МПК G01T 1/00, G01T 1/20, G01T 3/06, заявл.08. 08. 2005. опубл. 10. 06. 2007. Бюл.№ 16). Известный сцинтилляционный детектор нейтронов содержит датчик-сцинтиблок, включающий в себя пластиковый сцинтиллятор, используемый как для регистрации быстрых нейтронов, так и для их замедления, стеклянный сцинтиллятор на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ - силикатного стекла для регистрации тепловых нейтронов, светоотражающее зеркало и фотоприемное устройство в виде фотодиодного регистратора или многоканального фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый сцинтиллятор (он же замедлитель быстрых нейтронов) выполнен в виде призмы или цилиндра со светоотражающим покрытием по всей внешней боковой поверхности, а сцинтиллятор из ${}^6\text{Li}$ - силикатного стекла с церием выполнен в виде стекловолокон диаметром 1,5 – 1,8 мм, размещенных в продольных внутренних каналах (от одного до 16 штук) пластикового сцинтиллятора. Диаметр каналов в пластиковом сцинтилляторе 1,8 – 2

мм. Длина стеклянных сцинтилляционных волокон, размещенных в этих каналах, незначительно превышает длину пластикового сцинтиллятора. Концы волокон, выходящие из каналов с одной стороны пластикового сцинтиллятора, собираются в единый жгут, их полированные торцы соединяются со светоотражающим зеркалом. Концы волокон, выходящие с другой стороны пластикового сцинтиллятора, также собираются в единый жгут и соединяются (через оптический контакт) с фотоприемником. Конструкция известного детектора нейтронов позволяет в основном непосредственно регистрировать быстрые нейтроны по сцинтилляционным вспышкам в пластиковом сцинтилляторе. Стекловолоконные элементы сцинтиблока играют вспомогательную роль, их попутной функцией является сбор сцинтилляций от быстрых нейтронов, возникающих в пластике, и передача их к фотодетектору. Одновременно ${}^6\text{Li}$ -стекловолокна выполняют и функцию регистрации тепловых нейтронов.

Недостатком известного сцинтилляционного детектора нейтронов является его громоздкость, он не может быть размещен в канале ядерного реактора, он просто не войдет в такой канал, то есть он непригоден для работы в каналах ядерного реактора. Известный детектор непригоден также и для работы в радиационных полях, создаваемых другими источниками нейтронов (нейтронными генераторами) с высокими плотностями потока нейтронов, поскольку функционирование фотоприемного устройства детектора (фотодиодного регистратора или многоканального фотоумножителя), попадающего под действие больших потоков нейтронов, будет нарушено.

Задачей изобретения является разработка полезной модели сцинтилляционного детектора, пригодного для регистрации потоков нейтронов спектра деления и тепловых нейтронов в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов, а также для реги-

страции потоков быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами.

Задача решается за счет того, что сцинтилляционный детектор для регистрации нейтронов, включает в себя пластиковый замедлитель быстрых нейтронов, сцинтилляционный сенсорный датчик на основе активированного церием ${}^6\text{Li}$ -силикатного стекла, чувствительного к тепловым нейтронам, фотоприемное устройство в виде фотоумножителя и блок электронной обработки сигналов, причем пластиковый замедлитель быстрых нейтронов выполнен в виде пластмассовой оболочки (с необходимой толщиной), окружающей сцинтилляционный датчик, состоящий из прижатых друг к другу, собранных в пучок ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием стекловолокон круглого или квадратного сечения, а между сцинтилляционным датчиком и фотоэлектронным умножителем, сочетанным с блоком электронной обработки сигналов, подключен с помощью обеспечивающих оптический контакт фитингов канал волоконно-оптической связи в виде кварцевого стекловолоконного световода.

Применение кварцевого стекловолоконного световода длиной до нескольких метров позволяет вывести фотоприемное устройство из радиационно опасной зоны канала ядерного реактора, или из опасной зоны действия нейтронных потоков нейтронного генератора и обеспечить передачу сцинтилляционных вспышек от ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон к фотоприемному устройству (ФЭУ), размещенному вдали от мощных нейтронных потоков и тем самым предотвратить радиационное повреждение/поражение как фотоприемного устройства, так и блока электронной обработки сигналов. При этом вне воздействия нейтронных полей находится и инженер-оператор. Предложенная полезная модель сцинтилляционного детектора нейтронов регистрирует нейтроны спектра деления (0,3 – 10 МэВ), быстрые и тепловые нейтроны. Она пригодна для размещения в горизонтальных каналах исследователь-

ских ядерных реакторов на разных расстояниях от активной зоны, а также для определения потоков нейтронов в зоне действия импульсных нейтронных (D-T) - генераторов.

Схема предлагаемого устройства приведена на Фиг. 1.

Предлагаемое устройство содержит сцинтилляционный датчик, который представляет собой чувствительный к тепловым нейтронам набор сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ -содержащих, активированных церием и собранных в пучок 1 стекловолокон круглого или квадратного сечения с внешним размером волокна до 0,2 – 2 мм и менее и длиной до 0,5 – 1 м, окруженных замедлителем быстрых нейтронов в виде пластмассового чехла (оболочки). Сцинтилляционный датчик размещен в непрозрачном металлическом корпусе 2, причем входные торцы ${}^6\text{Li}$ -стекловолокон имеют светоотражающее покрытие (на Фиг.1 не показаны). Сцинтилляционный датчик через обеспечивающий оптический контакт фиттинг 3 соединен с кварцевым волоконным световодом 4, имеющим длину до нескольких метров; кварцевый волоконный световод через обеспечивающий оптический контакт фиттинг 5 соединен с фотоэлектронным умножителем 6. Фотоэлектронный умножитель 6 подключен к блоку электронной обработки сигналов 7. Длина стекловолоконного кварцевого световода выбирается такой, чтобы обеспечить размещение ФЭУ за пределами биологической защиты ядерного реактора или обеспечить размещение ФЭУ, блока обработки сигналов и инженера-оператора за пределами действия пучка нейтронов от импульсного нейтронного D-T- генератора.

Длина пластикового замедлителя быстрых нейтронов и соответственно длина сцинтилляционного датчика, равная 0,5 – 1 м, обеспечивающая замедление нейтронов спектра деления до тепловых энергий, оценена следующим образом. В приближении 26 группового энергетического разбиения спектра деления нейтронов (Г. Г. Бартоломей, Г. А. Бать, В. Д. Байбаков и др. / Основы теории и расчета ядер-

ных энергетических реакторов. М.: Энергоатомиздат, 1989) в качестве основной, как правило, выделяют третью энергетическую группу в интервале энергий 2,5- 4 МэВ и задают среднюю энергию этих нейтронов $E_{\text{ср}} = 3$ МэВ. Именно такой подход использован при проведении оценочных расчетов. Проведенная при разработке предлагаемого сцинтилляционного детектора нейтронов оценка средней длины миграции нейтронов основной третьей энергетической группы в тепловую группу при прохождении их через используемый в предлагаемом детекторе пластмассовый замедлитель $(\text{CH}_2)_n$ (пластмассовую крепежную оболочку) показала, что средняя длина миграции не превышает 0,5 – 1 м (формулы для расчета взяты из источника Г. Г. Бартоломей и др., – указан выше).

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Сцинтилляционный датчик размещают в горизонтальном канале ядерного реактора или в зоне действия импульсного нейтронного генератора. Торец датчика подвержен воздействию нейтронов спектра деления (0,3 – 10 МэВ) и тепловых нейтронов активной зоны реактора или быстрых, 14 МэВ, нейтронов нейтронного генератора. Нейтронное излучение поступает в детектор с торца датчика. Быстрые нейтроны практически без потерь проходят через корпус 2 сцинтилляционного датчика и попадают в пластиковый замедлитель, выполненный в виде чехла (крепежной оболочки) толщиной 2 - 8 мм и замедляются до тепловых энергий по мере прохождения вдоль этой оболочки-замедлителя. Замедленные таким путем до тепловых энергий нейтроны, а также основная часть первичных тепловых нейтронов из активной зоны реактора попадает в сенсорный отдел сцинтиблока, – в чувствительные к тепловым нейтронам сцинтиллирующие ${}^6\text{Li}$ -содержащие стекловолокна, активированные церием. Тепловые нейтроны взаимодействуют по реакции ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ с ядрами ${}^6\text{Li}$, входящими в состав стекловолокон, с образованием быстрых альфа-частиц и

ядер трития, которые в свою очередь вызывают сцинтилляционные световые вспышки (с длиной волны около 400 нм), связанные с центрами свечения - ионами церия, входящими в состав стекловолокон. Эти сцинтилляционные вспышки, возникающие в пучке 1 стекловолокна, поступают через оптический контакт фиттинга 3 в кварцевый волоконный световод 4 длиной до нескольких метров, а затем через оптический контакт фиттинга 5 на фотоэлектронный умножитель 6, где происходит их регистрация. Сигналы с ФЭУ 6 поступают в блок электронной обработки сигналов 7 для окончательного анализа. За счет большой длины (до нескольких метров) кварцевого стекловолоконного световода 4 фотоэлектронный умножитель 6 и блок электронной обработки сигналов 7, а также инженер-оператор выводятся далеко за пределы зоны регистрируемого излучения – интенсивного потока тепловых нейтронов

Корпус 2 сцинтилляционного датчика придает ему определенную жесткость и защищает сенсорный элемент детектора – пучок 1 сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ - стекловолокон от внешнего света. При работе детектора в закрытых от света изогнутых каналах биологической защиты наружный корпус 2 удаляется. Наличие светоотражающего покрытия на входных торцах сцинтиллирующих ${}^6\text{Li}$ –стекловолокон уменьшает потери света в датчике и увеличивает сцинтилляционную эффективность регистрации тепловых нейтронов. Волокна с квадратным сечением обеспечивают более плотную упаковку сцинтиллирующих стекловолокон в пучке и несколько более высокую, на 5-8%, эффективность регистрации тепловых нейтронов. Однако сборка из таких волокон оказывается менее гибкой.

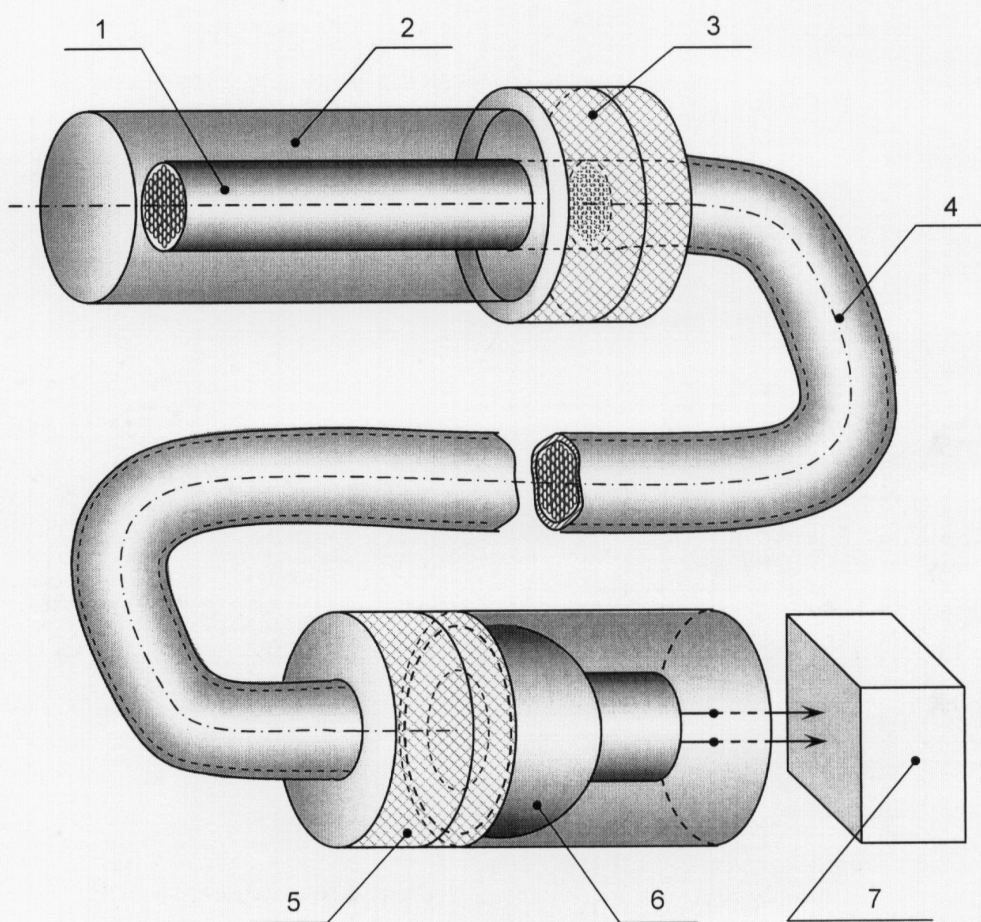
${}^6\text{Li}$ -стекловолокна с наружным размером 0,2-2 мм и менее обеспечивают минимальные потери света и необходимую гибкость сцинтилляционного датчика при пучке волокон длиной до 1м. Использование в предлагаемом детекторе сцинтилляционных волокон длиной бо-

лее 1 м, как показали приведенные выше результаты расчетов длины миграции через замедлитель быстрых нейтронов в тепловую группу (проведенные по Г.Г. Бартоломео и др.) технически не оправдано. Использование сцинтилляционных датчиков с меньшей длиной, нежели 0,5 м приводит к уменьшению сцинтилляционной эффективности детектора. При диаметре волокон 5 мм и более наступает заметное поглощение света в материале волоконного сцинтиллятора, что заставляет уменьшать рабочую длину стекловолоконного ${}^6\text{Li}$ - сцинтилляционного датчика до 0,3- 0,45 м., а это на 30-50% и более снижает эффективность сцинтилляционного детектора нейтронов.

Толщина изготовленного в виде пластиковой крепежной оболочки замедлителя нейтронов (широкого спектра энергий) до тепловых энергий оказывается оптимальной в пределах 2 – 6 мм. Меньшая толщина уменьшает эффективность замедления нейтронов и ведет к ослаблению крепежной функции оболочки, большая – к утяжелению и удорожанию сцинтиблока.

Предлагаемый сцинтилляционный детектор обеспечивает технический эффект: повышенную сцинтилляционную эффективность регистрации нейтронов широкого спектра энергий и безопасную для аппаратуры и персонала регистрацию мощных потоков нейтронов спектра деления и тепловых нейтронов в горизонтальных каналах биологической защиты ядерных реакторов или в зоне действия мощных потоков быстрых нейтронов, создаваемых (D-T) - нейтронными генераторами или другими источниками нейтронов.

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ НЕЙТРОНОВ



Фиг. 1