



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2017103215, 01.02.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.02.2017Дата регистрации:
26.10.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.02.2017

(45) Опубликовано: 26.10.2017 Бюл. № 30

Адрес для переписки:

117312, Москва, пр-кт 60-летия Октября, 7а,
ФГБУН Институт ядерных исследований
Российской академии наук (ИЯИ РАН), отдел
интеллектуальной собственности

(72) Автор(ы):

Андреев Анатолий Васильевич (RU),
Бурмистров Юрий Миланович (RU),
Зуев Сергей Викторович (RU),
Конобеевский Евгений Сергеевич (RU),
Латышева Людмила Николаевна (RU),
Мордовской Михаил Вадимович (RU),
Пономарёв Василий Николаевич (RU),
Солодухов Геннадий Васильевич (RU),
Соболевский Николай Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт ядерных
исследований Российской академии наук
ИЯИ РАН (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2014029709 A1, 30.01.2014. US
2015185164 A1, 02.07.2015. RU 1762667 C,
30.08.1994. RU 2603013 C1, 20.11.2016.

(54) ФОТОНЕЙТРОННЫЙ ИСТОЧНИК

(57) Реферат:

Изобретение относится к фотонейтронным источникам. Фотонейтронный источник включает канал для ввода пучка электронов, облучаемый пучком электронов с энергией 6-8 МэВ, е-γ-конвертер из вольфрама толщиной 0,1 см, две фотонейтронные мишени из бериллия, полость для облучения образцов, замедлитель быстрых нейтронов из полиэтилена и биологическую защиту из борированного полиэтилена для поглощения тепловых и замедления и поглощения быстрых нейтронов, вылетающих наружу из источника. В биологической защите выполнена полость, заполненная замедлителем. В центре замедлителя также выполнена полость, в которой установлены симметрично относительно ее центра первая и вторая фотонейтронные мишени. Пространство между мишенями служит полостью для облучения образцов. На внешней поверхности первой фотонейтронной мишени размещен е-γ-

конвертер, который сопряжен с каналом для ввода пучка электронов. По боковым сторонам полости для облучения образцов могут быть дополнительно размещены боковые фотонейтронные мишени из бериллия толщиной не менее 1 см. Фотонейтронный источник дополнительно содержит канал для помещения образцов внутрь полости для облучения образцов и канал для вывода нейтронов из центра источника, причем первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены подвижными с возможностью перемещения в центр источника. Техническим результатом является упрощение конструкции и технологии изготовления фотонейтронного источника, повышение эффективности и надежности его функционирования, повышение защиты от нейтронного облучения в процессе функционирования. 15 з.п. ф-лы, 7 ил., 3 пр.

RU 2 634 330 C1

RU 2 634 330 C1

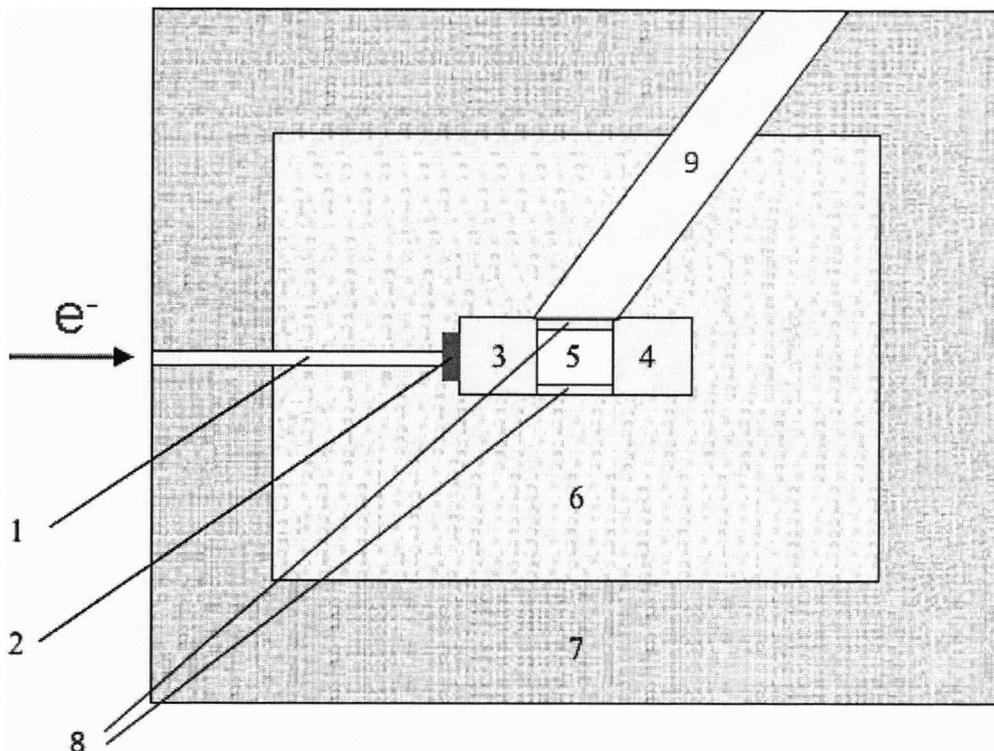


Схема фотонейтронного источника.

Фиг. 1

RU 2634330 C1

RU 2634330 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2017103215, 01.02.2017

(24) Effective date for property rights:
01.02.2017Registration date:
26.10.2017

Priority:

(22) Date of filing: 01.02.2017

(45) Date of publication: 26.10.2017 Bull. № 30

Mail address:

117312, Moskva, pr-kt 60-letiya Oktyabrya, 7a,
FGBUN Institut yadernykh issledovaniy Rossijskoj
akademii nauk (IYAI RAN), otdel intellektualnoj
sobstvennosti

(72) Inventor(s):

Andreev Anatolij Vasilevich (RU),
Burmistrov Yuriy Milanovich (RU),
Zuev Sergej Viktorovich (RU),
Konobeevskij Evgenij Sergeevich (RU),
Latysheva Lyudmila Nikolaevna (RU),
Mordovskoj Mikhail Vadimovich (RU),
Ponomarev Vasilij Nikolaevich (RU),
Solodukhov Gennadij Vasilevich (RU),
Sobolevskij Nikolaj Mikhajlovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federalnoe gosudarstvennoe byudzhethoe
uchrezhdenie nauki Institut yadernykh
issledovaniy Rossijskoj akademii nauk IYAI
RAN (RU)

(54) **PHOTONEUTRON SOURCE**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: photoneutron source includes a channel for introducing an electron beam irradiated by an electron beam with an energy of 6-8 MeV, e- γ -converter of tungsten with a thickness of 0.1 cm, two photoneutron targets from beryllium, a cavity for sample irradiation, a fast neutron retarder from polyethylene, and biological protection from borated polyethylene to absorb thermal and slow and absorb fast neutrons emitted from the source. In biological protection, a cavity filled with a moderator is made. In the centre of the moderator, a cavity is also made, in which the first and the second photoneutron targets are symmetrically positioned relative to its centre. The space between the targets serves as a cavity for irradiating the samples. On the outer surface of the first photoneutron target, an

e- γ -converter is located, which is coupled with a channel for the input of an electron beam. On the sides of the cavity, side photoneutron targets of beryllium with a thickness of, at least, 1 cm can be additionally located. The photoneutron source further comprises a channel for placing the samples inside the cavity to irradiate the samples and a channel for withdrawing neutrons from the centre of the source, wherein the first and the second photoneutron targets are movable with the ability to move to the centre of the source.

EFFECT: simplification of the design and technology of manufacturing a photoneutron source, increasing the efficiency and reliability of its operation, increasing the protection against neutron irradiation during operation.

16 cl, 7 dwg, 3 ex

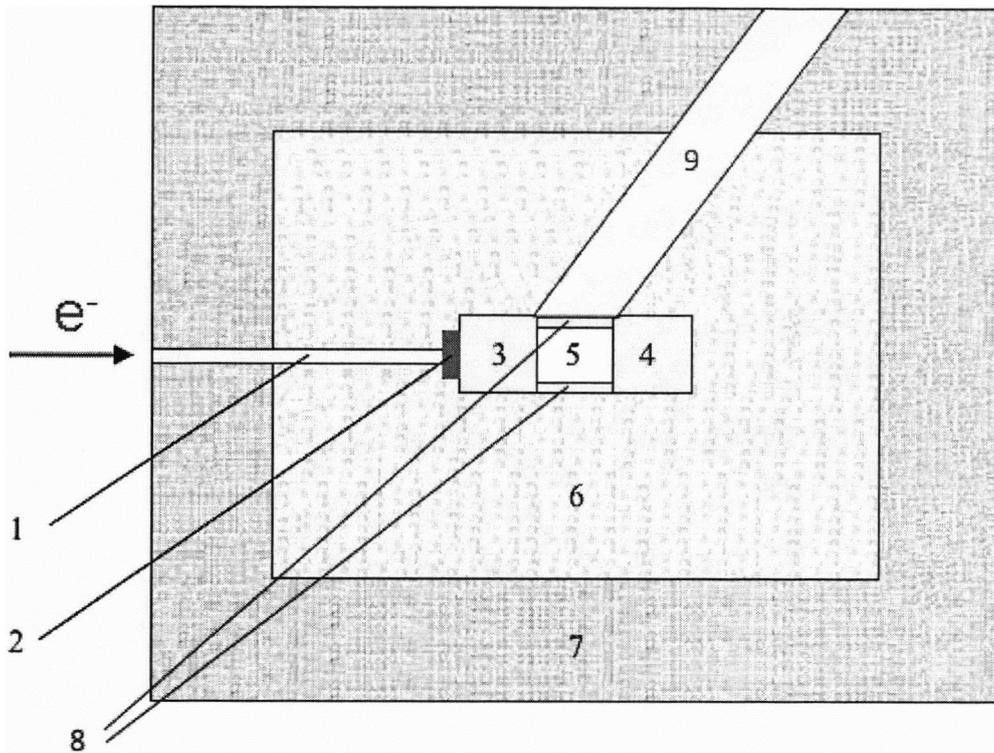


Схема фотонейтронного источника.

Фиг. 1

RU 2634330 C1

RU 2634330 C1

Изобретение относится к нейтронной технике и, в частности, к фотонейтронным источникам и средствам формирования потоков нейтронов и может быть использовано в экспериментальной нейтронной физике, ядерной геофизике, при анализе материалов, в том числе нейтронно-активационном анализе, и в других областях ядерной техники и технологии.

Из существующего уровня техники известны различные фотонейтронные источники нейтронов. Такими источниками называются источники, в которых образование нейтронов происходит под действием фотонов (гамма-квантов) в реакциях (γ, n), идущих на ядрах при сравнительно малых порогах реакции.

Известны изотопные фотонейтронные источники, где гамма-кванты излучаются изотопными источниками, а нейтроны образуются в реакции (γ, n) на ядрах дейтерия или бериллия. Обычно используют реакцию ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ (см., например, [Русанов А.Е. и др. Рабочий источник нейтронов. Патент WO 2016099333 (2014); Бритвич Г.И. и др. Моноэнергетический источник нейтронов. Патент РФ 1762667 (1994)]). Источники, например, из ${}^{124}\text{Sb}$ окружают мишенью из бериллия. Изотопные фотонейтронные источники используются достаточно редко из-за малого выхода нейтронов и необходимостью принятия мер по радиационной защите.

Известны также фотонейтронные источники нейтронов, в которых для образования гамма-квантов используют пучки заряженных частиц ускорителей. Наиболее экономичным является использование ускорителей электронов низких энергий. В качестве материала е- γ -конвертера используют материалы с большим атомным номером, например тантал или вольфрам, а в качестве материала фотонейтронной мишени используют тяжелую воду (D_2O , порог $\text{D}(\gamma, n)\text{H}$ реакции = 2,23 МэВ) или бериллий (порог ${}^9\text{Be}(\gamma, n){}^8\text{Be}$ реакции = 1,66 МэВ).

Так, известен фотонейтронный источник нейтронов на базе электронного ускорителя [John M. Gahl and Gregory E. Dale. Method and apparatus for generating thermal neutrons using an electron accelerator. US Patent 8666015 (2002)], содержащий облучаемый пучком электронов е- γ -конвертер, фотонейтронную мишень и замедлитель, причем в качестве материала конвертера использован тантал или вольфрам, в качестве материала фотонейтронной мишени использована тяжелая вода (D_2O), которая также выступает в роли материала замедлителя. К недостаткам таких источников следует отнести большой размер контейнера для фотонейтронной мишени и замедлителя, а также еще больший размер радиационной защиты.

Одним из оптимальных вариантов фотонейтронных источников нейтронов на базе электронного ускорителя являются источники, в которых в качестве материала фотонейтронной мишени использован бериллий. Это делает установку компактнее и экономически выгодней.

Наиболее близким техническим решением является фотонейтронный источник нейтронов на базе ускорителя электронов [L. Auditore et al. Study of a 5 MeV electron linac based neutron source. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 229 (2005) 137-143 (fig. 3)], включающий облучаемый пучком электронов е- γ -конвертер, фотонейтронную мишень и замедлитель быстрых нейтронов. При этом е- γ -конвертер выполнен из вольфрама, фотонейтронная мишень - из бериллия, а замедлитель - из полиэтилена.

Недостатком данного технического решения является сложность конструкции, большие размеры и необходимость обеспечения радиационной защиты.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является упрощение

конструкции и технологии изготовления источника, повышение эффективности и надежности его функционирования, повышение защиты от нейтронного облучения.

Технический результат достигается тем, что фотонейтронный источник, содержащий облучаемый пучком электронов е-γ-конвертер из вольфрама, фотонейтронную мишень из бериллия и замедлитель быстрых нейтронов из полиэтилена, дополнительно содержит канал для ввода пучка электронов, вторую фотонейтронную мишень, полость для облучения образцов и биологическую защиту для поглощения тепловых и замедления и поглощения быстрых нейтронов, вылетающих наружу из источника. При этом биологическая защита выполнена с полостью, заполненной замедлителем. В центре замедлителя также выполнена полость, в которой установлены симметрично относительно ее центра первая и вторая фотонейтронные мишени. Пространство между мишенями служит полостью для облучения образцов, ограниченной с торцов внутренними торцами фотонейтронных мишеней, а с остальных сторон - поверхностью полости замедлителя. На внешней поверхности первой фотонейтронной мишени размещен е-γ-конвертер, который сопряжен с каналом для ввода пучка электронов, ось которого проходит через центры е-γ-конвертера, первой фотонейтронной мишени, полости для облучения образцов и второй фотонейтронной мишени. При этом е-γ-конвертер облучается пучком электронов с энергией 6-8 МэВ и выполнен из вольфрама толщиной 0,05-0,15 см. Биологическая защита, полость внутри биологической защиты и замедлитель могут быть выполнены в форме параллелепипеда, куба или тела вращения. Полость для облучения образцов может иметь кубическую форму, а размеры полости могут совпадать с размерами фотонейтронной мишени. При этом вторая фотонейтронная мишень может быть выполнена из бериллия, замедлитель - из полиэтилена, а биологическая защита - из борированного полиэтилена с добавкой соединений бора с общим содержанием не менее 3%. Причем толщина замедлителя составляет не менее 24 см, а биологической защиты - не менее 16 см. Первая и вторая фотонейтронные мишени могут иметь одинаковые размеры и быть выполнены, например, в виде кубов со сторонами 10 см. По боковым сторонам полости для облучения образцов дополнительно могут быть размещены боковые фотонейтронные мишени, которые могут быть выполнены из бериллия толщиной не менее 1 см. Фотонейтронный источник дополнительно содержит канал для помещения образцов внутрь полости для облучения образцов и вкладыш для закрытия этого канала, при этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника. Фотонейтронный источник также дополнительно содержит канал для вывода нейтронов из центра источника, вкладыш для закрытия этого канала и фильтры из различных материалов, например Cd, В₄С, ⁶Li₂CO₃, внутри канала для снижения доли тепловых нейтронов в спектре нейтронов на выходе из источника. Первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены подвижными с возможностью перемещения в центр источника для увеличения потока нейтронов, выходящих через канал. При этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника.

Сущность изобретения поясняется прилагаемыми чертежами.

На фиг. 1 показана схема фотонейтронного источника, где:

- 1 - канал для ввода пучка электронов,
- 2 - е-γ-конвертер,
- 3 - первая фотонейтронная мишень,
- 4 - вторая фотонейтронная мишень,

- 5 - полость для облучения образцов,
- 6 - замедлитель быстрых нейтронов,
- 7 - биологическая защита для поглощения тепловых и замедления и поглощения быстрых нейтронов,
- 8 - боковые фотонейтронные мишени,
- 9 - канал для вывода нейтронов.

На фиг. 2 показаны результаты моделирования взаимодействия электронов с энергией 8 МэВ с е-γ-конвертером: зависимость числа фотонов (фотон/ср/е) из вольфрамового е-γ-конвертера от толщины е-γ-конвертера.

На фиг. 3 показаны результаты моделирования взаимодействия гамма-квантов с первой фотонейтронной мишенью: зависимость потока нейтронов (нейтрон/с/мкА) из бериллиевой фотонейтронной мишени от толщины первой фотонейтронной мишени.

На фиг. 4 показаны результаты моделирования взаимодействия нейтронов с замедлителем из полиэтилена: зависимость плотности потока нейтронов (нейтрон/см²·с) в центре полости для облучения образцов от толщины замедлителя.

На фиг. 5 показаны результаты моделирования взаимодействия нейтронов с биологической защитой из борированного полиэтилена: зависимость плотности потока нейтронов (нейтрон/см²·с) на расстоянии 400 см от источника от толщины биологической защиты из борированного полиэтилена.

На фиг. 6 показаны результаты моделирования взаимодействия гамма-квантов и нейтронов с боковыми фотонейтронными мишенями из бериллия: зависимость плотности потока нейтронов в центре полости для облучения образцов от толщины боковых фотонейтронных мишеней из бериллия.

На фиг. 7 показан фотонейтронный источник.

Осуществление заявленного фотонейтронного источника подтверждается следующими пояснениями и примерами.

Фотонейтронный источник (фиг. 1) содержит канал 1 для ввода пучка электронов электронного ускорителя, облучаемый пучком электронов е-γ-конвертер 2 из вольфрама, первую (3) и вторую (4) фотонейтронные мишени из бериллия, полость 5 для облучения образцов, замедлитель 6 быстрых нейтронов из полиэтилена и биологическую защиту 7 для поглощения тепловых и замедления и поглощения быстрых нейтронов, вылетающих наружу из источника. При этом биологическая защита 7 выполнена с полостью, заполненной замедлителем 6. В центре замедлителя 6 также выполнена полость, в которой установлены симметрично относительно ее центра первая (3) и вторая (4) фотонейтронные мишени. Пространство между мишенями служит полостью 5 для облучения образцов, ограниченной с торцов внутренними торцами фотонейтронных мишеней 3 и 4, а с остальных сторон - поверхностью полости замедлителя 6. На внешней поверхности первой фотонейтронной мишени 3 размещен е-γ-конвертер 2, который сопряжен с каналом 1 для ввода пучка электронов, ось которого проходит через центры е-γ-конвертера 2, первой фотонейтронной мишени 3, полости 5 для облучения образцов и второй фотонейтронной мишени 4. При этом е-γ-конвертер 2 облучается пучком электронов с энергией 6-8 МэВ и выполнен из вольфрама толщиной 0,05 - 0,15 см. Биологическая защита 7, полость внутри биологической защиты и замедлитель 6 могут быть выполнены в форме параллелепипеда, куба или тела вращения. Полость 5 для облучения образцов может иметь кубическую форму, а размеры полости 5 могут совпадать с размерами первой фотонейтронной мишени 3. При этом вторая фотонейтронная мишень 4 может быть выполнена из бериллия, замедлитель 6 - из полиэтилена, а биологическая защита 7 - из борированного полиэтилена с добавкой

соединений бора с общим содержанием не менее 3%. Причем толщина замедлителя 6 составляет не менее 24 см, а биологической защиты 7 - не менее 16 см. Первая и вторая фотонейтронные мишени 3 и 4 могут иметь одинаковые размеры и быть выполнены, например, в виде кубов со стороной 10 см. По боковым сторонам полости 5 для облучения образцов могут быть дополнительно размещены боковые фотонейтронные мишени 8, которые могут быть выполнены из бериллия толщиной не менее 1 см. Фотонейтронный источник дополнительно содержит канал для помещения образцов внутрь полости для облучения образцов и вкладыш для закрытия этого канала, при этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника. Фотонейтронный источник также дополнительно содержит канал 9 для вывода нейтронов из центра источника и вкладыш для закрытия этого канала, при этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника. При этом первая и вторая фотонейтронные мишени 3 и 4 выполнены подвижными с возможностью перемещения в центр источника.

Фотонейтронный источник работает следующим образом.

Электроны (фиг. 1) с энергией, например, 8 МэВ по каналу 1 для ввода пучка электронов попадают на вольфрамовый $e\text{-}\gamma$ -конвертор 2 и образуют в нем поток тормозных гамма-квантов с предельной энергией 8 МэВ. Тормозные гамма-кванты, попадая на первую бериллиевую фотонейтронную мишень 3 (материал с низким порогом образования фотонейтронов), рождают быстрые нейтроны (средняя энергия нейтронов ~ 2 МэВ). Эти нейтроны, а также гамма-кванты из первой фотонейтронной мишени 3 взаимодействуют со второй бериллиевой фотонейтронной мишенью 4 и боковыми фотонейтронными мишенями 8, размещенными по боковым сторонам полости 5 для облучения образцов. Это увеличивает поток нейтронов в полости 5 между фотонейтронными мишенями 3 и 4. За счет фотонейтронной реакции и реакции $(n, 2n)$ в бериллии (порог реакции 1,9 МэВ, т.е. за счет быстрых нейтронов) доля нейтронов, возвращающихся в полость 5, увеличивается. Далее нейтроны в полиэтиленовом замедлителе 6 испытывают столкновения с ядрами водорода, в результате которых замедляются до энергии 0.07 эВ, близкой к энергии тепловых нейтронов. Тепловые нейтроны из полиэтиленового замедлителя 6 попадают в полость 5, в которой находятся облучаемые образцы. Размер полости 5 зависит от размеров полости в замедлителе и размеров, ограничивающих полость 5 фотонейтронных мишеней 3 и 4. Ввод и вывод образцов для облучения осуществляется через канал для помещения образцов внутрь полости для облучения образцов (не показан на фиг. 1). Во время облучения канал закрывается вкладышем, структура и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника. Слой биологической защиты 7 из борированного полиэтилена с добавкой соединений бора с общим содержанием не менее 3% замедляет вышедшие из замедлителя 6 наружу источника быстрые нейтроны и поглощает медленные и тепловые нейтроны. Вывод из источника нейтронов для нейтронных исследований осуществляют через канал 9 для вывода нейтронов из центра источника. Во время облучения образцов в полости 5 канал 9 закрывается вкладышем, структура и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника. Для увеличения потока нейтронов, выходящих через канал 9 из фотонейтронного источника, первая и вторая фотонейтронные мишени 3 и 4 выполнены подвижными с возможностью перемещения в центр источника. При этом внутри канала 9 могут быть размещены фильтры из различных материалов, например Cd, V_4C_5 , 6Li_2CO_3 , для снижения доли тепловых нейтронов в спектре нейтронов на выходе

из источника, если нужны быстрые нейтроны.

Пример 1

Построена компьютерная модель фотонейтронного источника согласно схеме на фиг. 1 и проведено численное моделирование свойств фотонейтронного источника.

5 При моделировании вольфрамового e - γ -конвертора рассчитаны энергетические и угловые распределения гамма-квантов, вылетающих из вольфрамовых пластин различной толщины, при облучении их точечным пучком электронов с энергией 8 МэВ. При моделировании фотонейтронной бериллиевой мишени получены энергетические и угловые распределения нейтронов и гамма-квантов, вылетающих из слоев бериллия
10 различной толщины при облучении точечным пучком гамма-квантов. В результате моделирования получены оптимальные параметры замедлителя и защиты. Результаты моделирования показаны на фиг. 2-6. Расчеты показали возможность получения плотности потока тепловых нейтронов в полости для облучения образцов $\sim 10^8$ - 10^9 нейтрон/с·см² при выходе из первой фотонейтронной мишени быстрых нейтронов ~ 1 -
15 $5 \cdot 10^{10}$ нейтрон/с при токе пучка электронов ~ 30 мкА.

Пример 2

По результатам моделирования создан и установлен на пучке электронов промышленного линейного ускорителя ЛУЭ-8-5 фотонейтронный источник (фиг. 7).

20 В источнике e - γ -конвертер выполнен из вольфрама толщиной 0,1 см, а две фотонейтронные мишени - из бериллия в виде кубов со сторонами 10 см. Замедлитель и биологическая защита были набраны, соответственно, из стандартных фигурных блоков С0 (из чистого полиэтилена) и С3 (из борированного полиэтилена с добавкой соединений бора с общим содержанием не менее 3%) с размерами 250×120×60 мм.
25 Толщины биологической защиты и замедлителя при этом составили не менее 16 и 24 см соответственно. Это обеспечило требуемый санитарными нормами уровень потока нейтронов вне источника. Плотность потока нейтронов внутри источника измерялась с помощью (n , γ)-реакций методом нейтронно-активационного анализа. В качестве мониторов плотности потока нейтронов при этих измерениях были использованы
30 образцы ⁶³Cu, ⁵⁵Mn, ¹¹⁵In, ⁴⁵Sc. Экспериментально измеренная плотность потока тепловых нейтронов в полости для облучения образцов составила $\sim 10^7$ - 10^8 нейтрон/с·см² при токе пучка ~ 40 мкА и частоте 50 Гц, что может быть увеличено при соответствующем увеличении тока и частоты пучка.

35 Пример 3

Плотность потока нейтронов на выходе канала 9 для вывода нейтронов из центра источника измерялась так же, как в Примере 2. При этом первая и вторая фотонейтронные мишени были смещены в центр источника для увеличения потока нейтронов, выходящих через канал. Экспериментально измеренная плотность потока
40 нейтронов на выходе канала 9 составила $\sim 10^4$ - 10^5 нейтрон/с·см². Для снижения доли тепловых нейтронов в спектре нейтронов на выходе из источника использовались фильтры из Cd, В₄C, ⁶Li₂CO₃, соответственно, толщиной 2 мм, 1 и 4 см. Это обеспечило соотношение тепловых к быстрым нейтронам, соответственно, $\sim 10^{-2}$, 10^{-5} и 10^{-3} .

45 Таким образом, использование настоящего технического решения упрощает конструкцию и технологию изготовления фотонейтронного источника, повышает эффективность и надежность его функционирования, повышает защиту от нейтронного облучения в процессе функционирования.

(57) Формула изобретения

1. Фотонейтронный источник, содержащий облучаемый пучком электронов е-γ-конвертер, фотонейтронную мишень и замедлитель быстрых нейтронов, при этом е-γ-конвертер выполнен из вольфрама, фотонейтронная мишень - из бериллия, а замедлитель - из полиэтилена, отличающийся тем, что источник дополнительно содержит канал для ввода пучка электронов, вторую фотонейтронную мишень, полость для облучения образцов и биологическую защиту для поглощения тепловых и замедления и поглощения быстрых нейтронов, вылетающих наружу источника, при этом биологическая защита выполнена с полостью, заполненной замедлителем, в центре которого выполнена полость, в которой установлены симметрично относительно ее центра первая и вторая фотонейтронные мишени, пространство между которыми служит полостью для облучения образцов, ограниченной с торцов внутренними торцами фотонейтронных мишеней, а с остальных сторон - поверхностью полости замедлителя, при этом на внешней поверхности первой фотонейтронной мишени размещен е-γ-конвертер, который сопряжен с каналом для ввода пучка электронов, ось которого проходит через центры е-γ-конвертера, первой фотонейтронной мишени, полости для облучения образцов и второй фотонейтронной мишени.

2. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что биологическая защита может быть выполнена в форме параллелепипеда, куба или тела вращения.

3. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что полость внутри биологической защиты и замедлитель могут быть выполнены в форме параллелепипеда, куба или тела вращения.

4. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что е-γ-конвертер облучается пучком электронов с энергией 6-8 МэВ.

5. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что е-γ-конвертер выполнен из вольфрама толщиной 0,05-0,15 см.

6. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что вторая фотонейтронная мишень выполнена из бериллия.

7. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что замедлитель выполнен из полиэтилена, а толщина замедлителя составляет не менее 24 см.

8. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что биологическая защита выполнена из борированного полиэтилена с добавкой соединений бора с общим содержанием не менее 3%, а толщина биологической защиты составляет не менее 16 см.

9. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены в виде кубов.

10. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены в виде кубов одинакового размера.

11. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены из бериллия в виде кубов со сторонами 10 см.

12. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что полость для облучения образцов имеет кубическую форму, а размеры полости совпадают с размерами первой фотонейтронной мишени.

13. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что по боковым сторонам полости для облучения образцов дополнительно могут быть размещены боковые фотонейтронные мишени.

14. Фотонейтронный источник по п. 13, отличающийся тем, что боковые

фотонейтронные мишени выполнены из бериллия толщиной не менее 1 см.

15. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что источник дополнительно содержит канал для помещения образцов внутрь полости для облучения образцов и вкладыш для закрытия этого канала, при этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника.

16. Фотонейтронный источник по п. 1, отличающийся тем, что источник дополнительно содержит канал для вывода нейтронов из центра источника, вкладыш для закрытия этого канала, фильтры из различных материалов, например Cd, V_4C , 6Li_2CO_3 , внутри канала для снижения доли тепловых нейтронов в спектре нейтронов на выходе из источника, а первая и вторая фотонейтронные мишени выполнены подвижными с возможностью перемещения в центр источника, при этом структура вкладыша и состав материалов, из которого он выполнен, повторяют структуру и состав материалов источника.

20

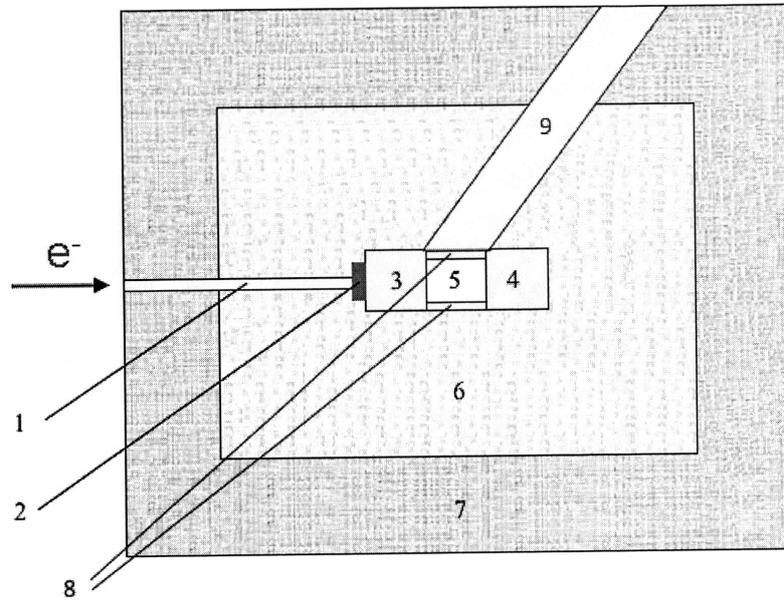
25

30

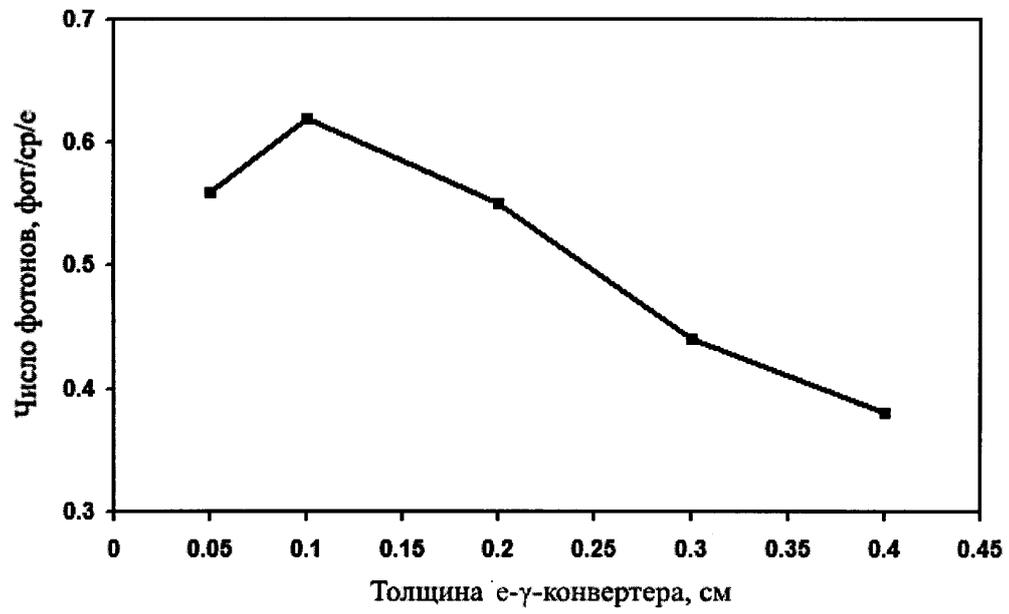
35

40

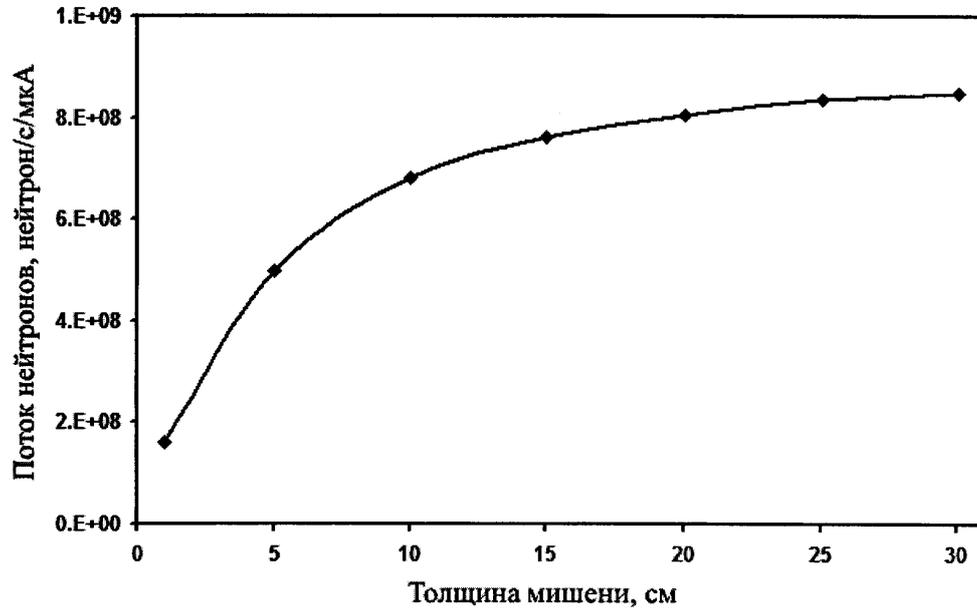
45



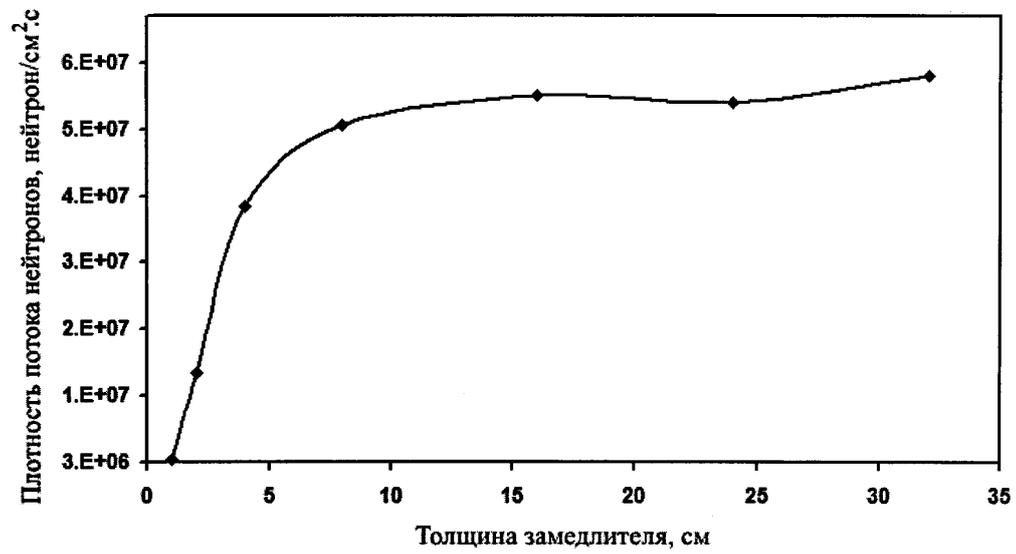
Фиг. 1. Схема фотонейтронного источника.



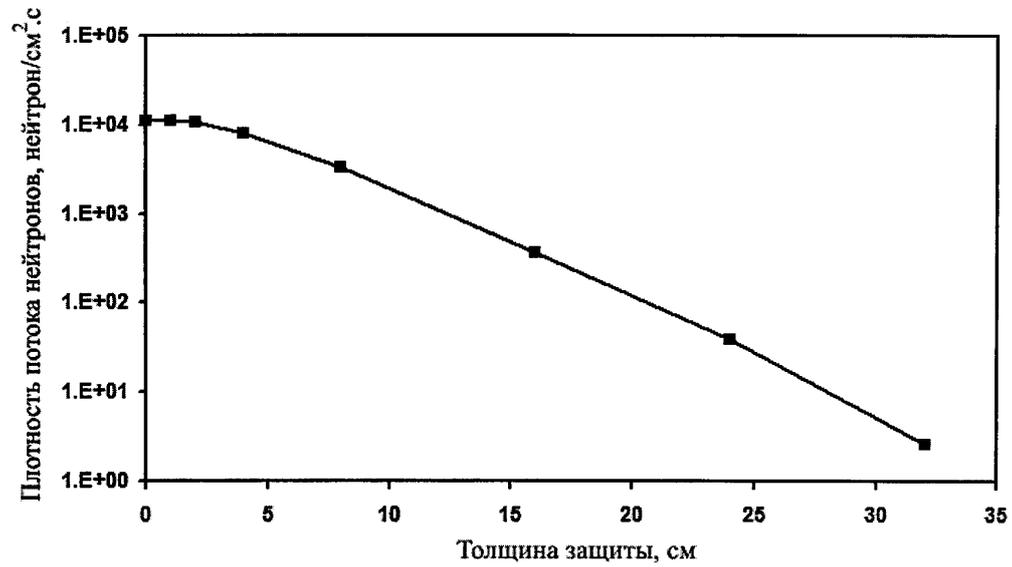
Фиг. 2. Зависимость числа фотонов (фотон/ср/е) из вольфрамового е-γ-конвертера от толщины е-γ-конвертера (см).



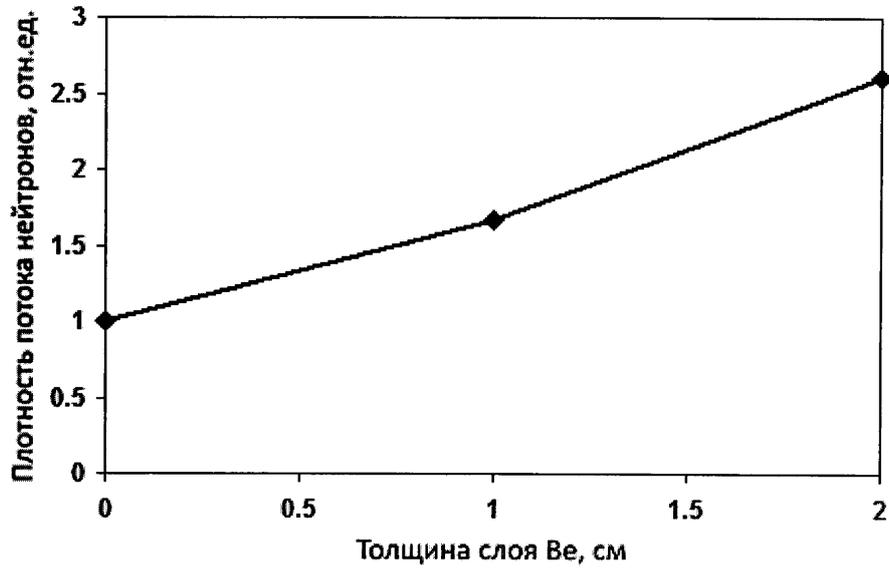
Фиг. 3. Зависимость потока нейтронов (нейтрон/с/мкА) из бериллиевой фотонейтронной мишени от толщины фотонейтронной мишени при облучении ее γ -квантами.



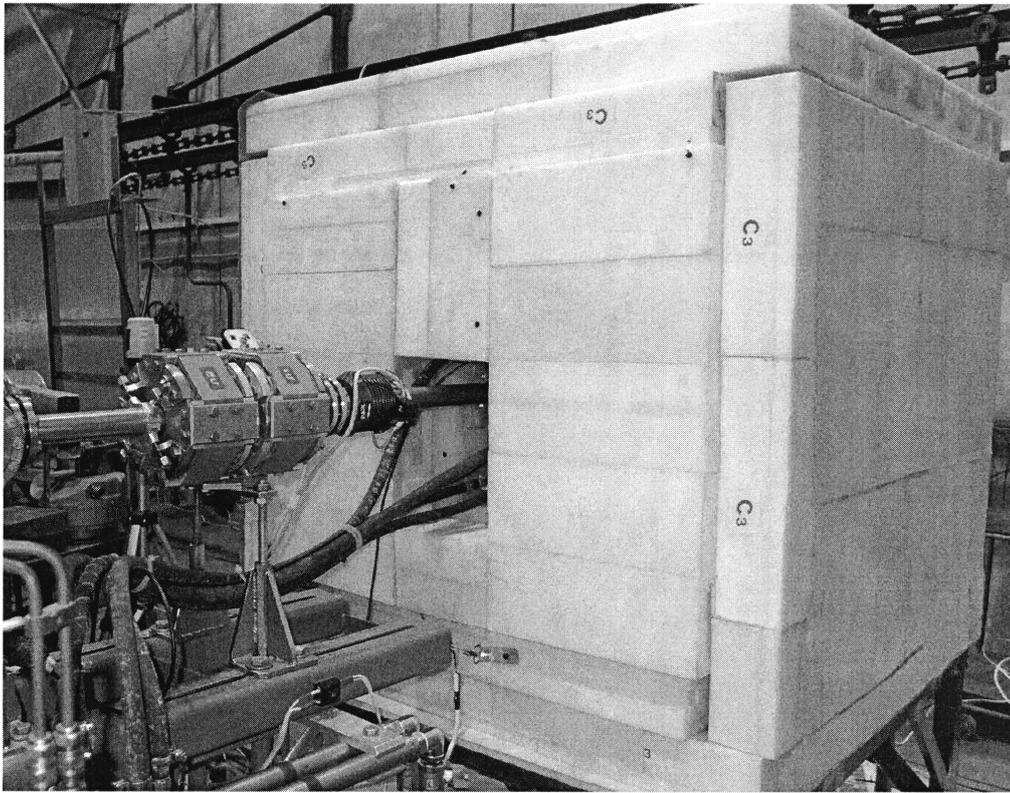
Фиг. 4. Зависимость плотности потока нейтронов (нейтрон/см²·с) в центре полости для облучения образцов от толщины замедлителя из полиэтилена.



Фиг. 5. Зависимость плотности потока нейтронов (нейтрон/см²·с) на расстоянии 400 см от источника от толщины биологической защиты из борированного полиэтилена.



Фиг. 6. Зависимость плотности потока нейтронов в центре полости для облучения образцов от толщины боковых фотонейтронных мишеней из бериллия.



Фиг. 7. Фотонейтронный источник.