



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003129766/06, 06.10.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
06.10.2003

(43) Дата публикации заявки: 27.03.2005

(45) Опубликовано: 27.08.2006 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: US 4582667 A, 15.04.1986. SU 794787  
A1, 07.01.1981. SU 743464 A1, 07.06.1981. RU  
2159968 C1, 27.11.2000. US 5976066 A,  
02.11.1999. US 4666651 A, 19.05.1987.

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул.  
Васильева, 13, а/я 245, отдел  
интеллектуальной собственности, Г.В. Бакалову  
(Г.Г. Смирнову)

(72) Автор(ы):

Смирнов Геннадий Григорьевич (RU),  
Таскаев Сергей Юрьевич (RU),  
Сильвестров Григорий Иванович (RU),  
Кононов Виктор Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

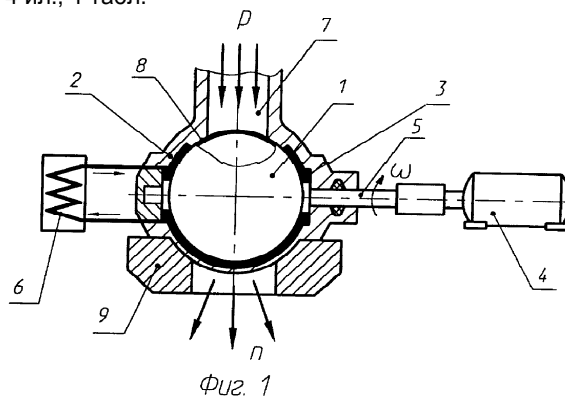
РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ  
ЦЕНТР - ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ АКАДЕМИКА  
Е.И. ЗАБАБАХИНА (РЯЦ ВНИИТФ) (RU),  
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО РАН ИМ. Г.И.  
БУДКЕРА (ИЯФ СО РАН) (RU),  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РФ -  
ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ.  
АКАД. А.И. ЛЕЙПУНСКОГО (ГНЦ РФ - ФЭИ) (RU)

## (54) НЕЙТРОПРОДУЦИРУЮЩИЙ МИШЕННЫЙ УЗЕЛ

(57) Реферат:

Изобретение предназначено преимущественно для использования в нейтроно-захватной терапии. Нейтронопроизводящий мишенный узел содержит мишень с активным материалом, которая выполнена в виде тонкостенной оболочки вращения в форме сферы или цилиндра и размещена в полости корпуса, заполненной циркулирующей охлаждающей средой. Заряженные частицы с выхода ускорителя поступают на мишень через входное окно, размеры которого существенно меньше диаметра тонкостенной оболочки. Производимые нейтроны выходят из полости с охлаждающей средой через выходное коллимирующее окно. Узел снабжен средством приведения мишени во вращательное движение и средством, препятствующим попаданию охлаждающей среды в объем входного окна. В одном из вариантов исполнения узла мишень приводится в движение с помощью привода. В другом варианте мишень, выполненная в форме сферы, находится в охлаждающей

жидкости полости корпуса во взвешенном состоянии и приводится во вращательное движение потоком охлаждающей среды. Изобретение направлено на упрощение и уменьшение габаритов установок для проведения нейтронной терапии непосредственно в онкологических клиниках и центрах. 12 з.п. ф-лы, 4 ил., 1 табл.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

**G21G 4/02** (2006.01)**H05H 6/00** (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2003129766/06, 06.10.2003**(24) Effective date for property rights: **06.10.2003**(43) Application published: **27.03.2005**(45) Date of publication: **27.08.2006 Bull. 24**

Mail address:

**456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk,  
ul. Vasil'eva, 13, a/ja 245, otdel  
intellektual'noj sobstvennosti, G.V. Bakalovu  
(G.G. Smirnovu)**

(72) Inventor(s):

**Smirnov Gennadij Grigor'evich (RU),  
Taskaev Sergej Jur'evich (RU),  
Sil'vestrov Grigorij Ivanovich (RU),  
Kononov Viktor Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**ROSSIJSKIJ FEDERAL'NYJ JaDERNYJ TsENTR -  
VSEROSSIJSKIJ NAUCHNO-ISSLEDOVATEL'SKIJ  
INSTITUT TEKhNICHESKOJ FIZIKI IMENI  
AKADEMIKA E.I. ZABABAKHINA (RFJaTs VNIITF)  
(RU),  
INSTITUT JaDERNOJ FIZIKI SO RAN IM. G.I.  
BUDKERA (IJaF SO RAN) (RU),  
GOSUDARSTVENNYJ NAUCHNYJ TsENTR RF -  
FIZIKO-EhNERGETICHESKIJ INSTITUT IM. AKAD.  
A.I. LEJPUNSKOGO (GNTs RF - FEh) (RU)**

**(54) NEUTRON-PRODUCING TARGET ASSEMBLY**

(57) Abstract:

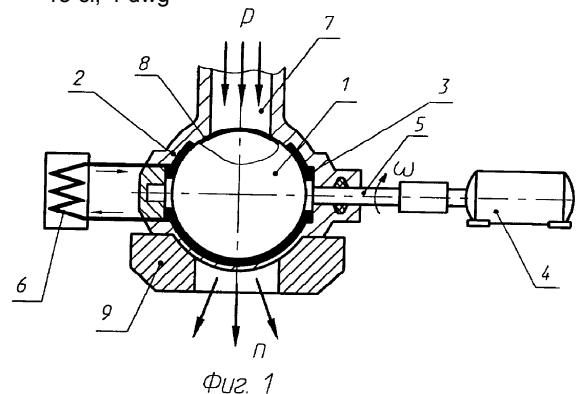
FIELD: neutron-entrapping therapy.

SUBSTANCE: proposed neutron-producing target assembly has target with active material which is essentially thin-walled shell of revolution made in the form of sphere or cylinder and disposed within casing filled with circulating cooling medium. Charged particles arrive at target from accelerator outlet through inlet window whose dimensions are much lower than diameter of thin-walled shell. Neutrons being produced escape cavity filled with cooling medium through collimating outlet window. Assembly is provided with means for setting target in rotary motion and means preventing cooling medium ingress in inlet window space. Target in one of assembly alternatives is set in motion by means of drive. In other alternative target made in the form of sphere resides in cooling liquid within casing in

suspended condition and is set in rotary motion by means of cooling medium flow.

EFFECT: simplified design and reduced size of apparatuses for conducting neutron therapy directly in cancer clinics and centers.

13 cl, 4 dwg



## Область техники

Изобретение относится к ядерной физике и медицине и может быть применено в источниках надтепловых нейтронов, выполненных на основе ускорителей заряженных частиц. Такие источники, преимущественно, предназначены для использования в

5 медицинской технике, применяемой в нейтронной терапии, в основном, в нейтронозахватной терапии (НЗТ).

## Предшествующий уровень техники

Концепция нейтронозахватной терапии в онкологии была предложена в 1936 году, спустя 4 года после открытия нейтрона. Ее физический принцип заключается в следующем.

10 Раствор, содержащий стабильный изотоп бор-10, вводится в кровь человека и через некоторое время бор сорбируется в клетках. Затем опухоль облучается потоком эпитепловых нейтронов. В результате поглощения нейтрона стабильным изотопом  $^{10}\text{B}$  происходит ядерная реакция, и образующиеся энергетические  $\alpha$  частица и ион  $^7\text{Li}$  быстро тормозятся на длине размера клетки опухоли, выделяя энергию  $\sim 2,3$  МэВ в пределах

15 именно той клетки, которая содержала ядро бора, что приводит к ее поражению. Таким образом, если обеспечить более высокую концентрацию  $^{10}\text{B}$  в раковой клетке по сравнению со здоровой, то борнейтронозахватная терапия (БЗНТ) позволит осуществить избирательное поражение клеток злокачественных опухолей.

20 За прошедший с тех пор период времени концепция НЗТ и, в частности БЗНТ, испытывала падения и взлеты. Однако в конце 60-х годов интерес к НЗТ значительно вырос. В этом большую роль сыграли исследования японского ученого Хатанаки и прогресс в синтезировании содержащих изотоп  $^{10}\text{B}$  фармпрепаратов. Получены препараты, которые создают концентрацию изотопа  $^{10}\text{B}$  в опухолевой ткани до 40 мкг/г, что в 3,5 раза

25 больше, чем в здоровой ткани. Такая концентрация позволяет обеспечить возможность избирательного поражения раковой опухоли, что невозможно было осуществить в ранних исследованиях из-за отсутствия подобных фармпрепаратов. Для получения пучка нейтронов использовались специальные медицинские реакторы, построенные для этой цели в Брукхевене и Массачусетсе (США).

30 На сегодняшний день интерес к БЗНТ проявляют во многих странах мира. Одновременно ведутся работы, направленные на получение нейтронов нужных для БЗНТ энергий без использования реакторных установок.

Предложены различные принципы построения систем БЗНТ на базе ускорителя с пучком частиц, взаимодействующим с мишенью для генерации нейтронов.

35 Многообещающим достижением является концепция протонный пучок - литиевая мишень, согласно которой пучок низкоэнергетических нейтронов (с энергией порядка 2 МэВ) ударяет в литиевую мишень, генерируя нейтроны путем (p,n) реакции.

Привлекательными чертами концепции являются:

- относительно высокий выход нейтронов (около  $10^{-4}$ ),
- 40 - возможность обеспечения низкой максимальной энергии генерируемых нейтронов (не более 30 кэВ),
- относительно простой низкоэнергетический протонный ускоритель,
- возможность работы в "открытой" геометрии, когда пучок образованных нейтронов направлен вперед в угле  $20-30^\circ$ , а расстояние от мишени до пациента минимально (не
- 45 более 20 см),
- минимально - необходимое экранирование и незначительная остаточная радиоактивность.

В России проработана концепция протонный пучок - литиевая мишень, включающая использование тандемного ускорителя протонов для воздействия на литиевую мишень с

50 энергией, превышающей порог продуцирования 1,88 МэВ при реакции  $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$ , подобная описанной в патенте США №5976066, опубл. 02.11.99, Yanch J.C. и др., патентообладатель Massachusetts Institut of Technology, Newton Scientific, Inc. Предварительные исследования показали, что данное предложение является

приемлемым, при этом требуемый ток протонного пучка должен составлять 10 мА и более для обеспечения необходимой дозы в зоне лечения.

Тем не менее, концепция литиевой мишени на базе ускорителя все еще имеет нерешенные критические проблемы, включающие требования больших протонных токов, 5 излишки энергетических нейтронов и охлаждение мишени из лития, имеющего низкую температуру плавления. Как альтернатива, в качестве мишенного материала рассмотрен бериллий, который имеет более высокую температуру плавления по сравнению с литием, легче охлаждается и успешно используется в клиническом оборудовании при терапии 10 быстрыми нейтронами. Например, для реакции  ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$  при  $E=2,5$  МэВ и  $I=10$  мА выход нейтронов  $S\sim 4\times 10^{13}$  н/с, что в 4 раза больше, чем для другой реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{B}$  для тех же условий. Однако при этом наблюдаются высокоэнергетические нейтроны с энергией 100-800 кэВ, и для превращения их в эпитепловые нейтроны с энергией 0-30 кэВ, которые 15 нужны для НЗТ, используют замедлители на основе оксида бериллия, оксида алюминия и тяжелой воды. При этом требуются расстояния от мишени до пациента не менее 50 см, что снижает на порядок плотность потока эпитепловых нейтронов в опухоли.

Использование реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{B}$  в ближней надкритической области энергии протонов, когда разность между порогом реакции  $E_{кр.}=1,88$  МэВ и падающей на мишень энергией составляет 0-30 кэВ, позволяет:

- 20 - приблизить пациента к мишени на расстояние 10-20 см, т.е. работать в "открытой геометрии",
- использовать так называемую "кинематическую коллимацию", когда эпитепловые нейтроны распространяются вперед в пределах пространственного угла 20-30°.

В экспериментах последняя реакция изучена при токах 1-2 мА. Это соответствует мощности пучка 2-4 кВт. Современный уровень развития НЗТ с учетом достижений 25 медицины, технологий и фармпрепаратов требует увеличения мощности примерно на порядок.

Известные нейтронопродуцирующие мишенные узлы можно разделить на два основных вида со статическими и динамическими мишенями.

В статических мишенях поток направленных на мишень заряженных частиц и рабочее 30 тело мишени, содержащее активное нейтронообразующее вещество, не меняют своего положения относительно друг друга. В таких мишенях наблюдается существенный износ активного (нейтронопродуцирующего) слоя и накопление наведенной активности. К тому же современные статические мишени требуют систем охлаждения с большими удельными 35 тепловыми потоками ( $>1$  кВт/см<sup>2</sup>), но даже интенсивное жидкостное охлаждение не в состоянии снять такие высокие тепловые нагрузки. В качестве примера статической мишени на относительно небольшой удельный тепловой поток можно привести нейтронопродуцирующие мишени, описанные в патентах США №4666651, опубл. 19.05.1987 г., Varjon Robert, патентообладатель: Commissariat a l'Energie Atomique (Paris, Fr), Centre Antoine-Lacassagne (Nice, Fr.) и №5920601, опубл. 06.07.1999 г., 40 Nigg David W. и др., патентообладатель: Lockheed Martin Idaho Technologies Company (Idaho Falls, ID).

В динамических мишенях поток частиц и рабочее тело мишени, содержащее нейтронопродуцирующее вещество, перемещаются относительно друг друга. 45 Динамические мишени в отличие от статических не предъявляют жестких требований к системе охлаждения, однако требуют специальных устройств, реализующих перемещение рабочего тела мишени или потока частиц.

В качестве прототипа выбран нейтронопродуцирующий мишенный узел с мишенью, перемещаемой относительно потока заряженных частиц - протонов, генерируемых ускорителем (см. патент США №4582667, опубл. 15.04.1986г., Gunter Bauer, патентообладатель: Kemforschungsanlage Juljich Gesellschaft, Fed. Rep. of Germany). 50 Известный нейтронопродуцирующий мишенный узел на основе ускорителя содержит подвижную мишень с активным материалом, на котором производится ядерная реакция, выполненную в форме вращающегося диска, корпус для размещения мишени с входным

окном, предназначенным для ввода заряженных частиц от ускорителя, и с выходным коллимирующим окном, предназначенным для вывода нейтронов, а также привод мишени в движение и средства ее охлаждения. Для охлаждения непосредственно в мишени выполняется разветвленная сеть охлаждающих каналов.

5 Недостаток данного устройства заключается в том, что охлаждение ведется через тело мишени, т.е. недостаточно эффективно. Кроме того, при больших мощностях технологически достаточно сложно организовать охлаждение большой площади активного материала. В то же время, чем больше площадь активного материала, тем больше размеры диска и, как следствие, габариты всего устройства.

10 Раскрытие изобретения

Задачей изобретения является создание более компактного и простого, в том числе и в эксплуатации, нейтронопродуцирующего мишенного узла.

Для решения поставленной задачи в нейтронопродуцирующем мишенном узле для источника нейтронов на основе ускорителя, содержащем мишень из активного материала, 15 на котором производится ядерная реакция, корпус для размещения мишени с входным окном, предназначенным для ввода заряженных частиц от ускорителя, и с выходным коллимирующим окном, предназначенным для вывода нейтронов, а также средство для приведения мишени во вращательное движение и средство ее охлаждения, согласно предлагаемому изобретению, мишень выполнена в виде тонкостенной оболочки вращения, 20 диаметр которой существенно больше размеров входного окна, при этом полость корпуса, в которой размещена мишень, заполнена охлаждающей средой и снабжена средством, препятствующим попаданию охлаждающей среды в объем входного окна (и, как следствие, - в объем ускорителя).

Тонкостенная оболочка может быть выполнена либо в форме сферы, либо в форме 25 цилиндра.

При таком выполнении мишенного узла съем тепла с мишени производится непосредственно с ее активной поверхности, путем погружения нагретого слоя в охлаждающую среду. Это обеспечивает более эффективное охлаждение активного материала. Кроме того, при сохранении той же рабочей площади активного материала, что 30 и на диске, при переходе на оболочку вращения уменьшаются габариты узла.

В качестве охлаждающей среды, заполняющей полость корпуса, может быть использован жидкий литий, выполняющий одновременно функцию активного материала.

Кроме того, мишень и сама по себе может быть выполнена из активного материала, например, из бериллия или сплава лития с другими металлами. При этом для охлаждения в 35 определенных режимах могут использоваться газовые среды, например, азот, инертные газы и пр.

В другом варианте мишень состоит из несущего слоя, выполненного из материала с высокой теплопроводностью и нанесенного на его поверхность твердого активного слоя, толщина которого несколько превышает величину надкритического пробега заряженных 40 частиц.

Активный слой может быть покрыт защитным слоем с низкими потерями энергии заряженных частиц.

Для приведения мишени во вращательное движение может быть использован привод, вал которого жестко соединен с осью вращения мишени, при этом ось мишени совпадает с 45 ее осью симметрии и перпендикулярна оси входного окна.

Рабочая поверхность при этом будет ограничена участком боковой поверхности сферы или цилиндра.

При использовании тонкостенной оболочки в форме сферы последняя может быть размещена в охлаждающей жидкости в ответной сферической полости корпуса во 50 взвешенном состоянии. При этом средством вращения сферы может служить поток охлаждающей среды.

В этом случае рабочей поверхностью активного материала может служить вся поверхность сферы, т.к. при произвольном вращении она будет обращаться к входному

окну различными участками своей боковой поверхности.

Средство для охлаждения содержит внешний резервуар и теплообменник с охлаждающей средой, соединенный каналами ввода - вывода с полостью корпуса, в котором размещена мишень.

5 Средство, препятствующее попаданию охлаждающей среды из полости корпуса в объем входного окна, может быть образовано кольцеобразным выступом, выполненным в корпусе в области входного окна по направлению к мишени с обеспечением минимального зазора, необходимого для свободного вращения указанной мишени.

10 Как будет показано ниже, при правильном выборе зазора между сферой и кольцеобразным выступом с газовой охлаждающей средой, натекающей в объем ускорителя через входное окно, вполне справляется работающая система откачки.

Кроме того, в кольцеобразном выступе может быть выполнено кольцевое магнитожидкостное уплотнение. При этом гарантируется герметичное отделение полости корпуса от входного канала.

15 Кроме того, окно может быть герметично перекрыто чашеобразной прокладкой, выполненной из фольги легких металлов или их сплавов, обладающих малым воздействием на энергию заряженных частиц.

Краткое описание фигур чертежа

20 На фиг.1 приведен общий вид заявляемого нейтронопродуцирующего узла с приводом вращения мишени. На фиг.2 и фиг.3 приведены фрагменты устройства в зоне входного окна с различными средствами разделения полости корпуса от входного окна. На фиг.4 показан вариант нейтронопродуцирующего узла с мишенью в форме сферы, находящейся в охлаждающей жидкости полости корпуса во взвешенном состоянии.

Варианты осуществления изобретения

25 Нейтронопродуцирующий узел содержит мишень, выполненную в виде тонкостенной оболочки 1, имеющей форму сферы или цилиндра и размещенной в полости корпуса 2. Обеспечение активного слоя на поверхности мишени может быть решено различными путями. В частности, вся тонкостенная оболочка - мишень может быть выполнена из активного однородного материала, например, из бериллия или сплава лития. В другом  
30 варианте тонкостенная оболочка содержит подложку из пассивного материала с хорошими теплопроводными свойствами, например, меди, на которую нанесен активный материал, например, литий или его соединения. Поверх активного материала может быть нанесен защитный слой, например, алюминий, имеющий небольшую толщину, не более 1 мкм. В варианте, приведенном на фиг.1, мишень размещена на оси 3 и приводится во  
35 вращательное движение приводом 4. Полость корпуса заполнена охлаждающей средой 5, прогоняемой с помощью насосов (не показаны) через теплообменник 6. Если в качестве охлаждающей среды применяется литий, то он может сам по себе формировать активный слой на поверхности оболочки, при этом последняя может быть выполнена из пассивного теплопроводного материала типа меди. Пучок заряженных частиц в виде протонов "P" от  
40 ускорителя поступает в полость корпуса через входное окно 7. Для обеспечения разделения полости корпуса 2 от входного окна 7 в корпусе выполнен кольцеобразный выступ 8 по направлению к мишени 1 с обеспечением минимального зазора, необходимого для свободного вращения мишени. Для примера, в разработанном макете с тонкостенной (толщина стенки ~0,5 мм) сферой из бериллия или меди диаметром 150 мм, с входным  
45 окном диаметром 50 мм и кольцеобразным выступом шириной 10 мм выполняется зазор ~1 мкм. При этом обеспечивается удовлетворительное охлаждение нагретой области мишени, а натекание охлаждающей среды (инертного газа) через входное окно 7 в объем ускорителя не превышает 1 л/с и эффективно устраняется работающей системой откачки. Поток нейтронов n, образовавшихся в результате реакции на активном материале  
50 мишени, выходит из полости корпуса 2 через выходное коллимирующее окно 9.

На фиг.2 показан вариант выполнения корпуса с магнитожидкостным уплотнением 10. Такое уплотнение герметично разделяет охлаждающий объем от области воздействия пучка заряженных частиц на мишень 1. Очевидно, что при этом мишень должна иметь

твердый активный слой из активного материала.

На фиг.3 показан вариант с использованием специальной тонкостенной чашеобразной прокладки 11 из фольги легких металлов или сплавов. Благодаря малой толщине материала, в такой прокладке не должно теряться более 10% энергии потока протонов.

5 При этом обеспечивается достаточно высокая степень герметизации разделения объемов охлаждения и входного окна.

На фиг.4 показан вариант, в котором мишень 12, выполненная в форме сферы, находится в охлаждающей жидкости в полости корпуса 2 во взвешенном состоянии. Произвольное (в общем случае) вращение сферы 12 вокруг ее собственного центра симметрии происходит под действием внецентренной струи охлаждающего потока, истекающего из канала 13 и создающего момент  $M=N \times d$ , где N - гидродинамическое усилие, а d - его плечо.

Нейтронопroduцирующий мишенный узел работает следующим образом.

15 Пучок протонов "P" с выхода ускорителя через входное окно 7 поступает в полость корпуса 2 и воздействует на участок поверхности мишени 1, находящийся в данный момент времени напротив входного окна. Для использования в БНЗТ параметры пучка протонов составляют: энергия 1,91 МэВ, ток 10 мА, что соответствует мощности ~20 кВт. В варианте с приводом (фиг.1) мишень 1 приводится в движение относительно оси, проходящей через центр симметрии мишени, которая может быть выполнена как в виде 20 цилиндра, так и в виде сферы. При вращательном перемещении мишени 1 относительно окна перемещается часть боковой поверхности, ограниченная размерами окна 7. В полости корпуса с мишенью постоянно циркулирует та или иная охлаждающая среда 5, проходящая через теплообменник 6. В одном из вариантов, когда в качестве охлаждающей среды 5 используется жидкий литий, он же выполняет роль активного материала на поверхности 25 мишени, на которой он сохраняется за счет сил смачиваемости. В любом случае, независимо от того, является ли активный материал составной частью мишени и находится в твердом состоянии, или он является жидким и обтекающим внешнюю поверхность тонкостенной оболочки - мишени, при взаимодействии его с пучком протонов возникает ядерная реакция, приводящая к образованию нейтронов. Нейтроны в каждый момент 30 времени образуются на небольшом участке мишени, обращенном к окну. Проходя через внутренний объем тонкостенной оболочки и противоположную тонкую стенку, нейтроны выходят наружу через выходное коллимирующее окно 9. Естественно, что участок поверхности, на котором только что возникла реакция, испытывает нагрев. Однако в следующий момент времени этот участок, погружаясь в охлаждающую среду 5, отдает ей 35 аккумулярованное тепло и охлаждается в процессе полного поворота мишени практически до температуры охлаждающей среды. При этом поверхность активного материала, на которой осуществляется продуцирование нейтронов, превышает аналогичную площадь в устройстве прототипе с мишенью в форме диска при сохранении тех же габаритов узла.

40 В варианте с твердой мишенью особое внимание обращается на выбор толщины активного материала, в качестве которого может быть использовано одно из соединений Li, например гидрид LiH, оксид Li<sub>2</sub>O, фторид LiF или сплав Li с металлами с тем, чтобы пробег заряженных частиц был несколько меньшим толщины такого слоя.

Поскольку практически вся энергия пучка заряженных частиц (протонов) трансформируется в тепловую энергию, нагревая слой пробега у поверхности мишени, 45 вопросу температурных режимов должно уделяться особое внимание. В связи с этим, необходимо показать следующее.

Пробег протонов с энергией 1,91 МэВ в литийсодержащих нейтронопroduцирующих материалах приведен в таблице:

| Материал                      | Li  | LiH | Li <sub>2</sub> O | LiF |
|-------------------------------|-----|-----|-------------------|-----|
| Пробег R, мкм                 | 140 | 77  | 40                | 33  |
| Надкритический пробег ΔR, мкм | 2,2 | 1,2 | 0,65              | 0,5 |

Нейтроны образуются только в слое ΔR, на разности энергий 1,91-1,88 МэВ.

Приближенными вычислениями нетрудно показать, что при скорости вращения 200-300 об/мин пятно диаметром  $d=50$  мм на сфере  $d=150$  мм нагреется под пучком на дополнительную температуру 150-200°C.

5 Далее, контактируя непосредственно поверхностью с охлаждающей средой на пути, который на порядок больше размеров пятна (или за отрезок времени, больший на порядок), эта поверхностная энергия передается окружающей среде.

10 Тем не менее, учитывая высокую поверхностную плотность энергии на мишени ( $>2$  кВт/см<sup>2</sup>), более ограничено применение газового охлаждения, которое потребует, к примеру, компрессии тяжелого инертного газа (например, ксенона) и его использования в замкнутом цикле с охлаждением до отрицательных температур.

15 Проще реализуется вариант с жидкостным охлаждением, которое наиболее функционально выглядит при охлаждении жидким литием. Для этого потребуется всю мишень в рабочем состоянии прогревать до температуры выше температуры плавления лития (185...200°C) и при этом использовать во втором контуре охладителя высокотемпературную жидкость, к примеру, глицерин в рабочем диапазоне температур 200-220°C.

20 Тем не менее, жидкий литий, смачивая сферическую или цилиндрическую поверхность и попадая под пучок протонов, будет продуцировать нужные эпитепловые нейтроны и далее перемешиваться с многократно большим объемом лития в полости охлаждения, лишь незначительно увеличивая его температуру.

25 При использовании в качестве охладителя других жидкостей желательно использовать герметизацию объема входного окна от пространства охлаждения с использованием, к примеру, магнитожидкостного уплотнения, опоясывающего входное окно. Такие уплотнения уже используются в работающих мишенных узлах.

30 Другим вариантом является разделительная чашка из тонкой алюминиевой фольги, которая герметично соединяется со стенками входного окна и опирается на сферическую или цилиндрическую поверхность мишени. При этом потребуется задавать большую энергию протонов, т.к., к примеру, в фольге толщиной 10 мкм будет теряться ~0,4 МэВ. Охлаждение фольги можно производить той же системой и той же жидкостью, которая охлаждает мишень.

35 В другом варианте исполнения со сферой 12, находящейся во взвешенном состоянии, пучок протонов  $P$  взаимодействует в разные моменты времени практически со всей поверхностью сферы, т.к. ее вращение происходит относительно двух осей с произвольными угловыми скоростями  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . При этом само вращение создается потоком охлаждающей среды, например, за счет выполнения подводящего канала 13 с определенным плечом  $d$  относительно центра мишени. И в этом варианте исполнения активные участки мишени после воздействия протонного пучка сразу же погружаются в охлаждающую среду и теряют в той или иной мере аккумулированное в результате воздействия потока заряженных частиц тепло. В качестве примера может служить сферическая оболочка с диаметром 150 мм, с толщиной стенок 2,5 мм, размещенная в силиконовой жидкости. При этом вес сферы ~1,6 кг будет уравниваться выталкивающей силой жидкости ~1,6 кг. У этой сферы вся поверхность будет рабочей, т.е. мишенная дорожка при оговоренных размерах увеличится по площади в несколько раз, что снизит удельные тепловые нагрузки или позволит работать при повышенных режимах.

45 Дополнительным качеством последнего варианта будет функциональное упрощение и, как следствие, повышение надежности устройства.

#### Промышленная применимость

50 Такое выполнение позволит создать компактный и простой, в том числе и в эксплуатации, нейтронопродуцирующий мишенный узел для ускорителей потоков заряженных частиц. Это позволит получать требуемые потоки эпитепловых нейтронов для использования в нейтронной (преимущественно нейтронозахватной) терапии.

С использованием изобретения возможно создание простых и компактных ускорительных установок для проведения нейтронной терапии непосредственно в



онкологических клиниках и центрах.

#### Формула изобретения

1. Нейтронопроизводящий мишеньный узел для источника нейтронов на основе ускорителя, содержащий мишень из активного материала, на котором производится ядерная реакция, корпус для размещения мишени с входным окном, предназначенным для ввода заряженных частиц от ускорителя, и с выходным коллимирующим окном, предназначенным для вывода нейтронов, а также средство для приведения мишени во вращательное движение и средство ее охлаждения, отличающийся тем, что мишень выполнена в виде тонкостенной оболочки вращения, диаметр которой существенно больше размеров входного окна, при этом полость корпуса, в которой размещена мишень, заполнена охлаждающей средой и снабжена средством, препятствующим попаданию охлаждающей среды из полости корпуса в объем входного окна.
2. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по п.1, отличающийся тем, что тонкостенная оболочка выполнена в форме сферы.
3. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по п.1, отличающийся тем, что тонкостенная оболочка выполнена в форме цилиндра.
4. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что в качестве охлаждающей среды, заполняющей полость корпуса, использован жидкий литий, выполняющий одновременно функцию активного материала.
5. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что тонкостенная оболочка выполнена из активного материала, например, из бериллия.
6. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что тонкостенная оболочка состоит из несущего слоя, выполненного из материала с высокой теплопроводностью и нанесенного на его поверхность твердого активного слоя, толщина которого несколько превышает величину надкритического пробега заряженных частиц.
7. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по п.6, отличающийся тем, что активный слой покрыт защитным слоем с низкими потерями энергии заряженных частиц.
8. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что средство для приведения мишени во вращательное движение содержит привод, вал которого жестко соединен с осью вращения тонкостенной оболочки, совпадающей с ее осью симметрии и перпендикулярной оси входного окна.
9. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.2 или 4-7, отличающийся тем, что сфера размещена в охлаждающей жидкости полости корпуса во взвешенном состоянии, а средством приведения ее во вращение служит поток охлаждающей среды.
10. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что средство для охлаждения мишени содержит внешний резервуар с теплообменником, соединенный каналами ввода-вывода с полостью корпуса.
11. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по любому из пп.1-10, отличающийся тем, что средство, препятствующее попаданию охлаждающей среды из полости корпуса в объем входного окна, образовано кольцеобразным выступом, выполненным в корпусе в области входного окна по направлению к тонкостенной оболочке с обеспечением минимального зазора, необходимого для свободного вращения указанной тонкостенной оболочки.
12. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по п.11, отличающийся тем, что в кольцеобразном выступе выполнено кольцевое магнитожидкостное уплотнение.
13. Нейтронопроизводящий мишеньный узел по п.11, отличающийся тем, что входное окно перекрыто чашеобразной прокладкой, выполненной из фольги легких металлов или их сплавов, обладающей малым воздействием на энергию заряженных частиц.

