



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006101875/06, 02.07.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.07.2003

(43) Дата публикации заявки: 27.08.2007

(45) Опубликовано: 10.06.2008 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 3993910 A1, 23.11.1976. RU 2141860
C1, 27.11.1999. SU 1706647 A1, 23.01.1992. SU
1762945 A1, 23.09.1992. FR 2500949 A1,
03.09.1982. US 4426351 A1, 17.01.1984.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:
02.02.2006(86) Заявка РСТ:
RU 03/00288 (02.07.2003)(87) Публикация РСТ:
WO 2005/004557 (13.01.2005)

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул.
Васильева, 13, РФЯЦ-ВНИИТФ, Отдел
интеллектуальной собственности, Г.В.
Бакалову, а/я 245

(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 ИМ. АКАД. Е.И.
ЗАБАБАХИНА (РФЯЦ-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)

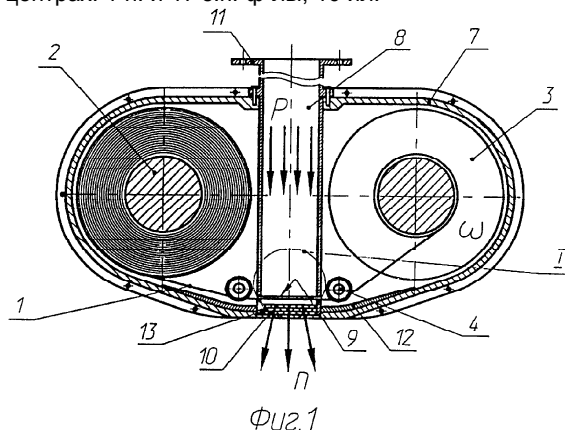
RU
2 3 2 6 5 1 3
C 2

(54) НЕЙТРОПРОДУЦИРУЮЩИЙ МИШЕННЫЙ УЗЕЛ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерной физике и
медицине и может быть применено в источниках
нейтронов, выполненных на основе ускорителей
заряженных частиц. Нейтронопроизводящий
мишеный узел содержит мишень из активного
материала, на котором производится ядерная
реакция и устройство перемещения мишени
относительно потока заряженных частиц,
направленных на мишень. Мишень выполнена в
виде гибкой ленты, а устройство ее перемещения
относительно потока заряженных частиц - в виде
лентопротяжного механизма. Лентопротяжной
механизм выполнен в виде двух приемо-подающих
барabanов с направляющими ленту роликами.
Использование изобретения позволит создать
простые и компактные ускорительные установки

для проведения нейтронной терапии
непосредственно в онкологических клиниках и
центрах. 1 н. и 17 з.п. ф-лы, 10 ил.





FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2006101875/06, 02.07.2003**(24) Effective date for property rights: **02.07.2003**(43) Application published: **27.08.2007**(45) Date of publication: **10.06.2008 Bull. 16**(85) Commencement of national phase: **02.02.2006**(86) PCT application:
RU 03/00288 (02.07.2003)(87) PCT publication:
WO 2005/004557 (13.01.2005)

Mail address:

**456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk,
ul. Vasil'eva, 13, RFJaTs-VNIITF, Otdel
intelektual'noj sobstvennosti, G.V.
Bakalovu, a/ja 245**

(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 TEKHNIČESKOJ FIZIKI IM. AKAD. E.I.
ZABABAKHINA (RFJaTs-VNIITF) (RU),
INSTITUT JaDERNOJ FIZIKI SO RAN IM. G.I.
BUDKERA (IJaF SO RAN) (RU),
GOSUDARSTVENNYJ NAUCHNYJ TsENTR RF -
FIZIKO-EhNERGETIČESKIJ INSTITUT IM. AKAD.
A.I. LEJPUNSKOGO (GNTs RF-FEhI) (RU)**

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

(57) Abstract:

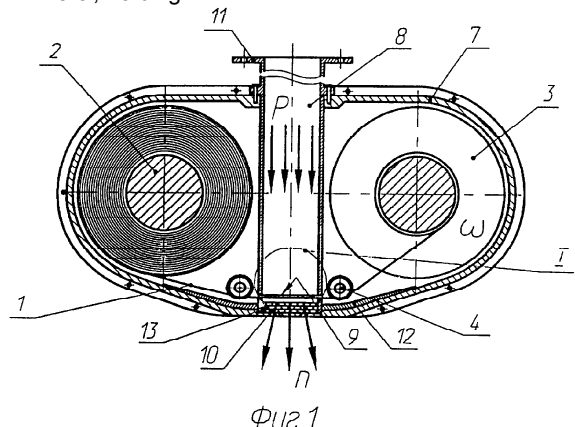
FIELD: physics, nuclear.

SUBSTANCE: invention relates to the nuclear physics and medicine and may be used in neutron sources based on charged particle accelerators. The neutron-producing target assembly contains a target made of an active material, on which the nuclear reaction is performed, and a target displacement device for target displacement relative to the flow of charged particles aimed at the target. The target is designed as a flexible tape, and the device for target displacement relative to the flow of charged particles is designed as a tape feed mechanism. The tape feed mechanism is designed as two feed and takeup reels with tape guide rollers. The application of the invention will allow to develop simple and compact accelerating installations for neutron therapy directly in

oncological clinics and centres.

EFFECT: possibility to develop simple and compact accelerating installations for neutron therapy in oncological centres.

18 cl, 10 dwg



Область техники

Изобретение относится к ядерной физике и медицине и может быть применено в источниках нейтронов, выполненных на основе ускорителей заряженных частиц. Такие источники преимущественно предназначены для использования в медицинской технике, используемой для нейтронной терапии, в основном в нейтронозахватной терапии (НЗТ).

Предшествующий уровень техники

Концепция НЗТ в онкологии была предложена в 1936 году, спустя 4 года после открытия нейтрона. Ее физический принцип прост и элегантен. Раствор, содержащий стабильный изотоп бор-10, вводится пациенту, и через некоторое время бор сорбируется в клетках. Затем опухоль облучается потоком эпитепловых нейтронов. В результате поглощения нейтрона стабильным изотопом ^{10}B происходит ядерная реакция, и образующиеся α частица и ион ^7Li тормозятся в пределах клетки опухоли и выделяют энергию ~ 2.3 МэВ именно в той клетке, которая содержала ядро бора, что приводит к ее поражению. Таким образом, если обеспечить более высокую концентрацию ^{10}B в раковой клетке по сравнению со здоровой, то борнейтронзахватная терапия (БЗНТ) позволит осуществить избирательное поражение клеток злокачественных опухолей.

В 1951 году было впервые продемонстрировано, что определенные соединения с бором позволяют получить более высокую концентрацию бора в клетках раковой опухоли по сравнению со здоровой клеткой. В течение 1950-х годов и в начале 1960-х гг. в Брукхевене и Массачусетсе на специально построенных медицинских реакторах были проведены первые клинические испытания. Эти испытания, к сожалению, не продемонстрировали несомненной терапевтической эффективности данного метода и были прекращены. Причина, как выяснилось впоследствии, заключалась в недостаточной концентрации бора. Дело в том, что нейтроны также упруго рассеиваются и поглощаются ядрами азота и водорода. Поглощение и упругое рассеяние нейтронов приводит к ядерным реакциям $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$, $^1\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$ и появлению ядер отдачи и γ -квантов. Хотя сечения взаимодействия нейтронов с водородом и азотом во много раз меньше сечения поглощения нейтронов изотопом ^{10}B , зато водород и азот присутствуют в тканях в такой большой концентрации, что дополнительное неизбирательное «фоновое» облучение протонами отдачи и γ -квантами вносит основной вклад в поглощенную дозу.

Несмотря на неудачу, японский нейрохирург Хатанака, который участвовал в клинических испытаниях в США, вернувшись в Японию в 1968 году, продолжил развитие этой методики. Он трепанировал череп пациента, на открытом мозгу проводил хирургическую операцию, а затем облучал опухоль пучком медленных нейтронов. Такой методикой несколько групп в Японии на различных реакторах, с обнадеживающими результатами, пролечили более 200 пациентов.

Параллельно большой прогресс был достигнут в синтезировании содержащих изотоп ^{10}B фармпрепаратов. Получены препараты, которые создают концентрацию изотопа ^{10}B в опухолевой ткани до 40 мкг/г, в 3,5 раза больше, чем в здоровой ткани. Такая концентрация позволяет сделать вклад фонового излучения приемлемо малым и обеспечить избирательное поражение раковой опухоли.

Достижения Хатанаки и прогресс в синтезировании фармпрепаратов привели к тому, что в 1994 году в США возобновилось лечение пациентов с глиобластомой мозга на реакторах в Брукхевене и Массачусетсе. В 1997 году клинические испытания начались в Голландии, в 1999 году - в Финляндии. Сейчас к этим работам подключились в Англии, Австралии, Аргентине, Италии, Германии, Швеции, Чехии, России и др. странах. Обнадеживающие результаты получены также при терапии меланомы. В стадии изучения находится борнейтронзахватная терапия (БНЗТ) полости рта, рака щитовидной железы и неонкологическое применение - лечение ревматического артрита.

Предложены различные варианты систем БНЗТ на базе ускорителя с пучком частиц, взаимодействующим с мишенью для генерации нейтронов. Многообещающим достижением является концепция протонный пучок - литиевая мишень, согласно которой

пучок низкоэнергетических протонов (с энергией около 2 МэВ) падает на литиевую мишень, генерируя нейтроны путем (p, n) реакции. Привлекательными чертами концепции являются:

- изготовленная мишень не содержит радиоактивных материалов;

5 - относительно высокий выход нейтронов - около 10^{-4} (для сравнения на медицинских реакторах на два порядка меньше);

- возможность прямого получения эпитепловых нейтронов (с максимальной энергией генерируемых нейтронов не более 30 кэВ);

- достаточно простой и дешевый низкоэнергетический протонный ускоритель;

10 - возможность работы в «открытой» геометрии, когда пучок нейтронов направлен по вектору протонного пучка в угле $20^{\circ} \div 30^{\circ}$, а расстояние от мишени до пациента минимально ($10 \div 20$ см);

- возможность работы без экранирования с минимальной остаточной радиоактивностью.

В России проработана концепция протонный пучок - литиевая мишень, в которой

15 используется тандемный ускоритель протонов, воздействующий на литиевую мишень с энергией, превышающей порог продуцирования 1,88 МэВ при реакции ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$.

Предварительные исследования показали, что концепция является приемлемой, при этом для обеспечения необходимого выхода нейтронов требуемый ток протонного пучка должен составлять 10 мА и более.

20 Генератор нейтронов на базе ускорителя с литиевой мишенью имеет также и нерешенные критические проблемы, заключающиеся в требовании больших протонных токов, наличие в спектре высокоэнергетических нейтронов, большой мощности охлаждения мишени из лития, имеющего низкую температуру плавления и непривлекательные эксплуатационные свойства. Как альтернатива, в качестве мишенного материала
25 рассмотрен бериллий, который имеет более высокую температуру плавления по сравнению с литием, легче охлаждается и используется в клиническом оборудовании при терапии быстрыми нейтронами. Порог продуцирования нейтронов для протонов, воздействующих на бериллиевую мишень, составляет 2,2 МэВ, а выход становится
30 сравнимым с выходом, обеспечиваемым литиевой мишенью при энергиях протонов около 4 МэВ. Широкий спектр нейтронов требует при этом неременного наличия в системе модератора.

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

35 В статических мишенях поток заряженных частиц, направленных на рабочее тело мишени, и 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
40 современные мишени требуют систем охлаждения с большими удельными тепловыми потоками (>1 кВт/см²), что затрудняет возможность создания простого и компактного нейтронопродуцирующего узла. В качестве примера статической мишени на относительно
45 небольшой удельный тепловой поток можно привести нейтронопродуцирующие мишени, описанные в патентах США №4666651, опубл. 19.05.1987 г., Barjon Robert, assignee: Commissariat a l'Energie Atomique (Paris, Fr), Centre Antoine-Lacassagne (Nice, Fr.) и №5920601, опубл. 06.07.1999 г., Nigg David W. et all, assignee: Lockheed Martin Idaho Technologies Company (Idaho Falls, ID).

В динамических мишенях поток частиц и рабочее тело мишени, содержащее нейтронопродуцирующее вещество, перемещаются относительно друг друга.

Динамические мишени в отличие от статических не предъявляют жестких требований к системе охлаждения, однако требуют специальных устройств, реализующих перемещение
50 рабочего тела или потока частиц.

Так, например, известен нейтронопродуцирующий мишенный узел с динамической мишенью, выполненной в виде мишенной дорожки, расположенной по торцу диска, установленного с возможностью перемещения относительно потока заряженных частиц,

направленных на мишень с устройством его перемещения. Мишень снабжена системой принудительного охлаждения (см. патент США №4582667, опубл. 15.04.1986 г., Gunter Bauer, assignee: Kernforschungsanlage Juljich Gesellschaft, Fed. Rep. of Germany).

Такая схема не позволяет получить компактное и простое устройство. Увеличение
5 длины мишенной дорожки ведет к увеличению габаритов диска, а уменьшение ее длины - к увеличению мощности системы охлаждения и, следовательно, к ее усложнению.

В качестве прототипа выбран нейтронопродуцирующий мишенный узел, содержащий рабочее тело (мишень) в виде жидкости (литий, нагретый до перехода в жидкую фазу), и устройство перемещения жидкости относительно потока заряженных частиц, направленных
10 на мишень. Мишенный узел снабжен двумя емкостями для подачи и приема рабочего тела (жидкого лития). Жидкий литий, под действием гравитационных сил, по специальной стенке, тонким слоем перетекает из одной емкости в другую (см. патент США №3993910, опубл. 29 ноября 1976 г., Don M.Parkin et all, assignor to the United States of

America as represented by the United States Energy Research & Development Administration.).
15 Это устройство дает возможность при компактном исполнении получать весьма большую длину мишенной дорожки. Однако при функциональной и схемной простоте оно представляется весьма сложным с точки зрения как технологии изготовления, так и эксплуатации. Обусловлено это большими удельными тепловыми потоками, которые испаряют и разлагают жидкий литий. При работе пары лития с радиоактивным ${}^7\text{Be}$
20 загрязняют внутренний объем всей системы (протонопровод, ускоритель, насосы и др.). Следует также отметить, что эксплуатация такого устройства возможна только при определенной пространственной ориентации мишени.

Раскрытие изобретения

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

Для решения поставленной задачи в нейтронопродуцирующем мишенном узле, содержащем мишень из активного материала, на котором производится ядерная реакция, и устройство перемещения мишени относительно потока заряженных частиц p направленных
30 на мишень, согласно изобретению, мишень выполнена в виде гибкой ленты, а устройство ее перемещения относительно потока заряженных частиц p - в виде лентопротяжного механизма.

Действительно, твердая мишенная дорожка, изготовленная в виде гибкой ленты, позволяет совместить преимущества жидкого тела (длинная мишенная дорожка - в пределах компактного устройства) и твердого тела (существенно больший перегрев,
35 отсутствие испарения активного материала, любая ориентация в пространстве и др.). Лентопротяжные механизмы просты конструктивно, надежны и широко используются в технике.

Наиболее простым видится вариант выполнения лентопротяжного механизма с магазинами для подачи и приема ленты в виде барабанов под ленту.

40 Возможно выполнение обоих барабанов приемоподающими с управляемыми реверсивными приводами и направление ленты специальными роликами.

В другом варианте ролик и вал принимающего барабана могут иметь внутренние полости для подвода охлаждающей среды.

Эффективным является вариант выполнения узла с лентой в виде замкнутой петли
45 (бесконечной ленты), одетой на барабаны лентопротяжного механизма и направляющие ленту ролики. В этом случае валы барабанов имеют внутренние полости подвода охлаждающей среды.

Удельную мощность излучения на поверхности мишени можно в несколько раз уменьшить введением дополнительного лентопротяжного механизма для перемещения
50 дополнительной ленты, расположив при этом механизмы так, что рабочие поверхности лент образуют с направлением потока заряженных частиц угол $\alpha=20\div 40$ градусов.

Вариант, предполагающий рулонирование ленты на барабанах, может работать без специальной системы принудительного охлаждения. Необходимо лишь подобрать массу

рулона, которая достаточна для аккумуляции энергии вводимого пучка заряженных частиц при допустимом увеличении температуры ленты.

Для удобства пользования узел лучше разместить в отдельном герметичном корпусе, имеющем входное окно - для потока заряженных частиц p и выходное окно - для нейтронного излучения, а также фланец - для присоединения к протонопроводу ускорителя.

Выходное окно можно снабдить модератором для формирования спектра, замедления и фильтрации выходного нейтронного излучения.

Для экранирования остаточного γ -излучения приемный барабан или оба барабана целесообразно поместить в защите, поглощающей это излучение.

Лента в наиболее простом варианте выполнена из активного материала, например бериллия (для реакции ${}^9\text{Be}(p, n)$ или ${}^9\text{Be}(d, n)$).

При использовании реакции ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ ленту целесообразно выполнить в виде слоя активного материала нанесенного на подложку.

В качестве активного материала кроме Li могут быть использованы его соединения: гидрид LiH, оксид Li_2O , фторид LiF или сплавы лития с другими металлами. В качестве материала подложки целесообразно использовать алюминий, бериллий или медь, которые обладают достаточно высокими значениями теплоемкости и теплопроводности. Рабочую поверхность ленты можно снабдить защитной пленкой, например из алюминия.

Удельную тепловую энергию можно уменьшить в несколько раз, выполнив наружную поверхность ленты рифленой.

В связи с различием коэффициентов теплового расширения материалов активного слоя и подложки целесообразно активный материал нанести на подложку с разбиением на отдельные фрагменты, кратные с шириной ленты.

Краткое описание фигур чертежа

Изобретение поясняется чертежами, приведенными на фиг.1-10, и нижеприведенными примерами его конкретного выполнения, где:

на фиг.1 показана общая схема мишенного узла;

на фиг.2 - вид сверху на фиг.1;

на фиг.3 - выноска I с фиг.1;

на фиг.4 показана схема варианта с системой охлаждения;

на фиг.5 приведена схема варианта с «бесконечной» лентой;

на фиг.6 приведен вариант с размещением рулона ленты в принимающем барабане с дополнительной защитой от остаточного γ -излучения;

на фиг.7 приведена схема варианта выполнения мишени с симметричным расположением двух лент под углом к потоку заряженных частиц, направленных на мишень, и дополнительным лентопротяжным механизмом;

на фиг.8 показан вариант выполнения многослойной ленты (вид сбоку);

на фиг.9 показан вариант выполнения ленты с рифлением (вид сбоку);

на фиг.10 - вид сверху на фиг.8 с делением покрытия на фрагменты.

Варианты осуществления изобретения

Нейтронопроизводящий мишенный узел содержит мишень в виде гибкой ленты 1, устройство ее перемещения относительно потока заряженных частиц p (протонов, дейтронов и др.), направленных на мишень. Устройство перемещения ленты выполнено в виде лентопротяжного механизма, содержащего барабаны 2, 3 для наматывания и сматывания ленты 1 (см. фиг.1) и направляющие ленту 1 ролики 4.

Лентопротяжный механизм лучше всего выполнить с двумя приемо-подающими барабанами 2 и 3. Для этого они снабжены управляемыми реверсивными приводами 5, 6 (см. фиг.2) на электродвигателях.

Для удобства пользования узел размещен в отдельном герметичном корпусе 7, снабженном участком 8 протонопровода с входным 9 и выходным 10 окнами и фланцем 11, который предназначен для герметичного соединения узла с протонопроводом ускорителя заряженных частиц (на чертеже не показан).

В корпусе 7 со стороны выходного окна 10 установлен защитный экран 12, окружающий

модератор 13 для формирования спектра, замедления и фильтрации выходного нейтронного излучения п.

В целом мишенный узел представляет из себя удобную в эксплуатации съемную кассету.

5 На фиг.3 показана выноска I с фиг.1, на которой лента 1 выполнена с активным слоем 14 толщиной Δ на подложке 15 толщиной h. Пройдя под пучком заряженных частиц, лента нагревается на температуру $\Delta T_{кр}$. Например, для алюминиевой ленты с $h=0,3$ мм и активным слоем из LiH толщиной 0,01 мм $\Delta T_{кр}$ может составить 400°C.

10 Возможен вариант (см. фиг.4) с выполнением полного или частичного охлаждения ленты. В этом случае принимающий ленту 1 ролик 4 и вал принимающего барабана имеют внутренние полости 16 для подвода охлаждающей среды.

15 Вариант с выполнением ленты в виде замкнутой петли 17 (бесконечной ленты), а лентопротяжного механизма - в виде барабанов 2, 3 с направляющими ленту роликами 4, показан на фиг.5. В этом варианте валы барабанов 2 и 3 имеют внутренние полости 16 для подвода охлаждающей среды.

Для экранирования остаточного γ -излучения активного материала принимающий барабан 3 целесообразно разместить в защите 18 (см. фиг.6). Если оба барабана выполнены приемоподающими, то в защите 18 помещаются оба барабана 2, 3. Нарботанный нуклид ${}^7\text{Be}$ является радиоактивным с периодом полураспада $T_{1/2}=53,5$ суток. При позитронном распаде этого нуклида с квантовым выходом 10% образуются γ -кванты с энергией 0,4777 МэВ, а также γ -кванты аннигиляционного происхождения с энергией 0,511 МэВ. В этом случае целесообразно удалить материал с наведенной активностью по γ от канала медицинского излучения (для БНЗТ необходимы эпитепловые нейтроны с энергией 0÷30 кэВ) и разместить его в защите. По оценкам 25 достаточен кожух-защита, например, из свинца с толщиной стенок около 5÷10 мм. Целесообразно также изготавливать барабаны и добавлять в сплав ленты материалы, которые хорошо поглощают γ -излучение.

30 Удельную тепловую нагрузку на поверхности мишенного узла 19 можно существенно уменьшить, расположив две ленты в зоне потока заряженных частиц р наклонно и симметрично под углом $\alpha=20\div40$ градусов к оси потока. Реализовать такую схему (фиг.7) можно с помощью дополнительного второго мишенного узла 20, также состоящего из дополнительного лентопротяжного механизма, перемещающего дополнительную ленту.

35 Ленту 1 можно выполнить целиком из активного материала, например из бериллия или сплава лития с металлами.

Ленту 1 (см. фиг.8) можно выполнить в виде слоя 14 активного материала, нанесенного на подложку 15.

В качестве активного материала может быть использован литий или одно из его соединений, например гидрид LiH, оксид Li_2O , фторид LiF или сплав Li с металлами.

40 В качестве материала подложки могут быть использованы алюминий, бериллий или медь, обладающие высокими теплоемкостью и теплопроводностью.

45 Рабочую поверхность ленты можно при необходимости снабдить защитной пленкой 21, например, из алюминия толщиной от нескольких ангстрем до 1 мкм. Защитный слой 21 необходим для того, чтобы повысить стойкость и технологичность активного слоя из лития или гидроксида лития, требующих специальных условий работы.

Пробег протонов с энергией 2 МэВ в литии и его соединениях составляет 30÷140 мкм, а пробег в надкритической области - единицы мкм. Защитный слой не должен уменьшать эффективность работы мишенного узла более чем на несколько процентов.

50 Удельную тепловую нагрузку на поверхность мишени можно снизить, выполнив наружную поверхность подложки 15 рифленой (см. фиг.9). Рифленая поверхность ленты по одной или двум координатам с гофрами, высота которых а примерно на порядок больше Δ , позволяет снизить тепловую нагрузку на поверхность ленты. Для примера: при $\Delta=3$ мкм высота гофра $a=20\div50$ мкм.

Наконец, в связи с различием коэффициентов теплового расширения материалов активного слоя и подложки целесообразно активный материал нанести на подложку с разбиением по длине ленты 1 на фрагменты 22, кратные ширине ленты b (например, $1/2$ - см. фиг.10). Деление слоя активного материала на ленте на фрагменты практически не уменьшает рабочую поверхность, повышает технологичность и устойчивость к термоциклам, при которых работает лента.

Работает устройство следующим образом.

Узел с помощью фланца 12 крепится к ответной части протонопровода ускорителя. Из системы откачивается среда. Лентопротяжный механизм с помощью барабанов 2 и 3 начинает перемотку ленты 1. Лента 1 из активного материала, например бериллия, или ленты подложки, покрытой активным материалом, например гидридом лития, протягивается под входным окном 9 протонопровода 8 с регулируемой от 0,5 до 2,0 м/с, но постоянной скоростью V . При этом лента 1 сматывается с подающего барабана 2 и наматывается на принимающий барабан 3.

Поток p заряженных частиц выбивает из активного слоя ленты 1 поток нейтронов "n". Для использования в БНЗТ параметры пучка протонов, например, составляют: энергия 1,93 МэВ, ток 10 мА, что соответствует мощности ~ 20 кВт.

Практически вся мощность пучка за время Δt облучения пациента превращается в тепловую энергию. К примеру, за $\Delta t=500$ с в массе, нагретой на дополнительную температуру $\Delta T=400^\circ\text{C}$, будет аккумулирована тепловая энергия 10 МДж. Для этого потребуется ~ 10 кг бериллиевой ленты или около 20 кг алюминиевой ленты. При заданной толщине ленты 0,3 мм (около трех пробегов протонов с энергией около 2 МэВ) и ширине ленты 60 мм (диаметр протонопровода 50 мм) потребуется лента из бериллия около 300 м длиной, из алюминия около 450 м. При заданных параметрах скорость протяжки ленты под пучком протонов составит, соответственно, около 0,6 м/с для бериллия и около 0,8 м/с для алюминия.

Рассмотренная схема не требует дополнительного охлаждения, если предположить, что между сеансами облучения пациентов есть достаточное для охлаждения ленты время (более 2 часов) или система позволяет производить замену мишенного узла. В принципе, можно включить и систему охлаждения, подав охлаждающую среду во внутренние полости 16 барабана и роликов - вариант с дополнительным охлаждением (см. фиг.4).

В варианте с бесконечной лентой ее перемещает один из барабанов лентопротяжного механизма. При этом охлаждение системы с помощью подвода охлаждающей среды обязательно. Это наиболее динамичный для охлаждения вариант. Расчеты на плоской конечно-элементной модели показали, что подобная схема работоспособна для скоростей ленты в диапазоне 3-5 м/с. За несколько оборотов лента выходит на установившийся динамический температурный режим с $T_{\text{max}} < 400^\circ\text{C}$ и $\Delta T = 200 \div 300^\circ\text{C}$. Для охлаждения водой требуется расход 30-60 л/с.

В варианте выполнения мишени с двумя лентопротяжными механизмами (см. фиг.7) перемещается также дополнительный рулон с лентой. Если угол $\alpha=30^\circ$, то суммарная площадь рабочей поверхности ленты под пучком увеличивается в четыре раза (вместо $\sim 20 \text{ см}^2$ - становится - 80 см^2). Это снижает тепловые нагрузки, увеличивает сроки эксплуатации или дает возможность четырехкратного увеличения суммарной дозы.

При необходимости в этом варианте также включается дополнительное охлаждение ленты 1.

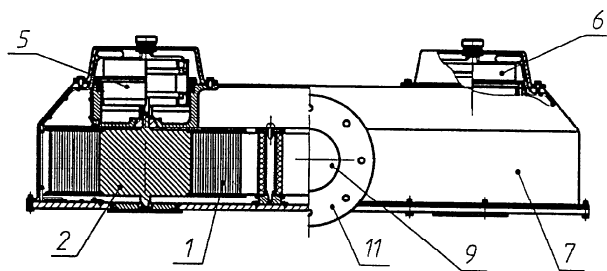
Промышленная применимость

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.

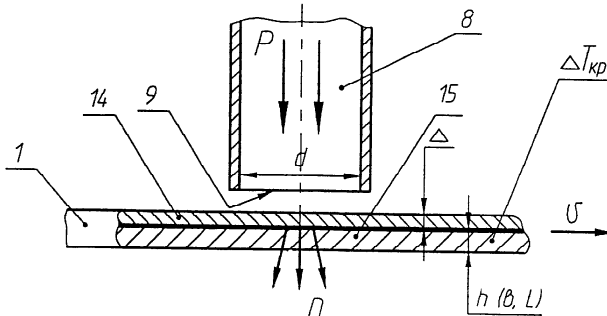
С использованием изобретения возможно создание простых и компактных ускорительных установок для проведения нейтронной терапии непосредственно в онкологических клиниках и центрах.

Формула изобретения

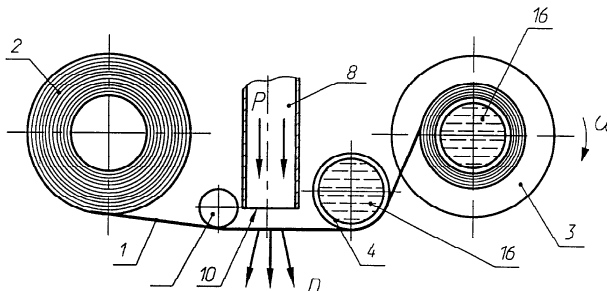
1. Нейтронопродуцирующий мишенный узел, содержащий мишень из активного материала, на котором производится ядерная реакция, устройство перемещения мишени относительно потока заряженных частиц, направленных на мишень, отличающийся тем, что мишень выполнена в виде гибкой ленты, а устройство ее перемещения относительно потока заряженных частиц - в виде лентопротяжного механизма.
2. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что лентопротяжный механизм выполнен в виде барабанов для подачи и приема ленты.
3. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.2, отличающийся тем, что оба барабана выполнены приемоподающими и снабжены управляемыми реверсивными приводами.
4. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.2, отличающийся тем, что лентопротяжный механизм снабжен направляющими ленту роликами.
5. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.4, отличающийся тем, что ролик и вал принимающего барабана выполнены с внутренними полостями для подвода охлаждающей среды.
6. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что в нем лента выполнена в виде замкнутой петли (бесконечной ленты), надетой на барабаны лентопротяжного механизма и направляющие ленту ролики, при этом валы барабанов выполнены с внутренними полостями для подвода охлаждающей среды.
8. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что он снабжен дополнительным лентопротяжным механизмом для перемещения дополнительной ленты, при этом механизмы расположены таким образом, что рабочие поверхности лент образуют с направлением потока заряженных частиц угол $\alpha=20-40^\circ$.
9. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что он размещен в отдельном герметичном корпусе, снабженном входным и выходным окнами и фланцем для соединения с протонопроводом ускорителя заряженных частиц.
10. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.9, отличающийся тем, что выходное окно снабжено модератором для формирования спектра, замедления и фильтрации выходного нейтронного излучения.
11. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.2, отличающийся тем, что барабаны помещены в защите, экранирующей остаточное γ -излучение, выполненной, например, из свинца.
12. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что лента выполнена из активного материала, например из бериллия или сплава лития с металлами.
13. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.1, отличающийся тем, что лента выполнена в виде слоя активного материала, нанесенного на подложку.
14. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.13, отличающийся тем, что в качестве активного материала использован литий или его соединения, например гидрид LiH, оксид Li₂O, фторид LiF, или сплавы лития с металлами.
15. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.13, отличающийся тем, что в качестве материала подложки использованы алюминий или медь.
16. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.13, отличающийся тем, что рабочая поверхность ленты снабжена защитной пленкой, например, из алюминия.
17. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.13, отличающийся тем, что активный материал нанесен на подложку с разбиением по длине ленты на фрагменты, кратные ширине ленты.
18. Нейтронопродуцирующий мишенный узел по п.13, отличающийся тем, что наружная поверхность ленты со стороны активного материала выполнена рифленой.



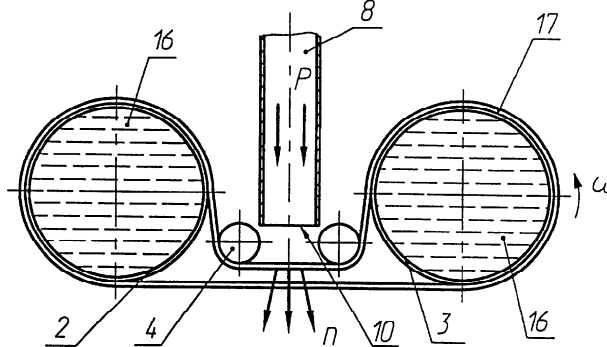
Фиг.2



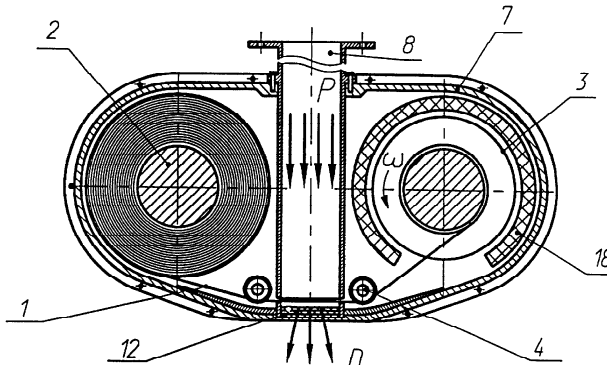
Фиг.3



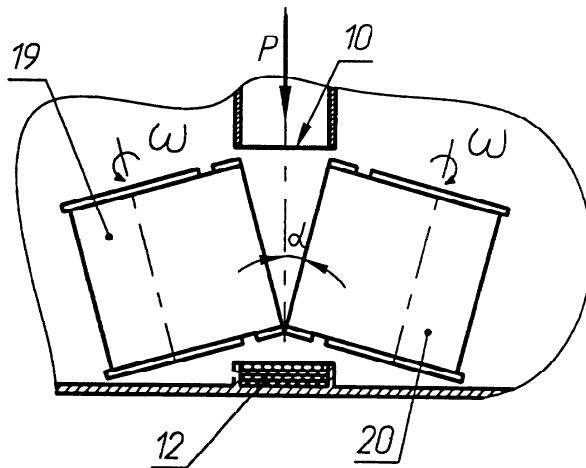
Фиг.4



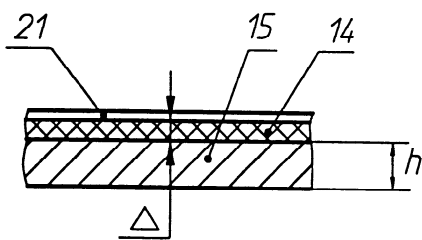
Фиг.5



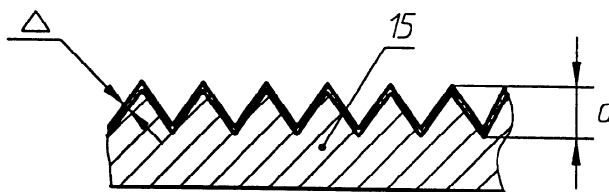
Фиг.6



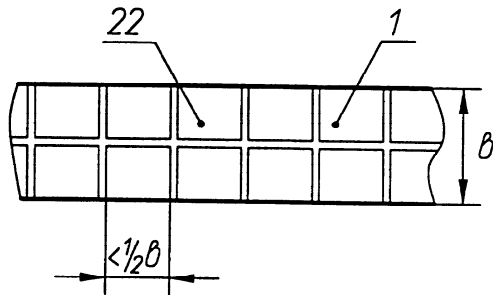
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10