

81

**СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК**

(19)

1821818 A1

(51)5 С 21 К 1/06

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО СССР (ГОСПАТЕНТ
СССР)**

(К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ)

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)4883232/25

(22) 31.08.90 (46)15.06.93. Бюл. № 22

(71) Временный научно-технический коллектив "Возрождение" при Московском филиале центрального института повышения квалификации руководящих работников и специалистов

(72) С.Н. Столбов и Ю.В. Дробышевский (56) Патент США № 2708656, 376-381. 1955. Власов НА Нейтроны, М.; 1971, 441.

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОГО ПОТОКА НЕЙТРОНОВ

Изобретение относится к ядерной физике, а именно к нейтронной физике, и предназначено для устройств, использующих взаимодействие нейтронов с веществом, в частности, для ядерных реакторов.

Целью изобретения является уменьшение угловой расходимости потока и повышение эффективности вывода нейтронов. Дополнительной целью предложенного устройства является обеспечение управляемости возврата нейтронов и их поляризации.

На фиг.1 изображено устройство, общий вид; на фиг.2,3,4,5 - другие варианты его выполнения.

Устройство содержит источник нейтронов 1, отражатель нейтронов 2, замедляюще-фокусирующие элементы 3, селектирующую зону устройства 4, транспортирующую зону устройства 5, замедляющее вещество 6, каналы селекции и транспортировки нейтронов 7, покрытие каналов 8, фокусные области устройства 9, магнитное поле 10, объект 11.

В устройстве внутри защитного корпуса размещен отражатель нейтронов 2, внутри него (замедляюще-фокусирующие) элементы 3, выполненные из замедляющего вещества 6 и система энергосъема (на чертеже не показана). Совокупность замедляюще-фокусирующих элементов 3 образует в блоке из замедляющего вещества (замедляюще-фокусирующую структуру (ЗФС)), которая содержит селектирующую зону 4 и транспортирующую зону 5 с множеством каналов 7 в ней. При этом на поверхности каналов нанесено покрытие 8. Устройство содержит источник нейтронов 1.

В фокусных областях 9 устройства, как основных, так и дополнительных, могут быть помещены объекты, потребляющие нейтроны 11 и источники нейтронов 1. При этом объекты, потребляющие нейтроны, могут быть одновременно и источниками нейтронов. Устройство помещено в магнитное поле 10.

Устройство работает следующим образом. Быстрые нейтроны, рождающиеся в источнике нейтронов 1, двигаясь сквозь вещество блока из замедляющего вещества 6, выполненного в форме ЗФС с отражателем нейтронов 2 из замедляюще-фокусирующих элементов 3, теряют свою энергию.

Выделившуюся энергию нейтронов отводят от ЗФС теплоносителем, а термализованные нейтроны дрейфуют в замедлителе, рассеиваясь на ядрах его вещества.

Блок из замедляющего вещества (замедляюще-фокусирующей структуры) выполнен в виде сборки из замедляюще-фокусирующих элементов 3, которые совместно образуют анизотропную, селектирующую структуру (зону) 4, содержащую множество селектирующих каналов 7 и транспортирующую область (зону) структуры, содержащую каналы 5.

Селектирующая структура (зона) в замедляющем веществе образована группой близкорасположенных полых каналов 7 непостоянных вдоль своей длины. Например, таких, кривизна изгиба поверхности которых меняется вдоль канала, уменьшаясь в направлении к выходу канала. Тем самым углы, под которыми нейтрон пересекает поверхность канала в двух разных, последующих его точках, различны. Поэтому создаются условия, когда он, дважды пересекая канал, первый раз не отражается его поверхностью, пересекая ее, а второй и все последующие отражения от поверхности канала проходят под углами, меньшими угла полного отражения нейтрона поверхностью канала. Создается область захвата нейтронов в процесс каналирования.

Тем самым создаются условия для того, чтобы нейтрон, вышедший из вещества ЗФС в канал, при всяком последующем касании стенки канала двигался под углами, меньшими угла полного отражения для вещества канала в месте касания. Создаются условия для селекции нейтронов структурой и их последующего транспортирования.

Нейтроны, которые после рассеяния в приканальной области движутся вдоль канала селекции под углами к поверхности, меньшими угла полного внутреннего отражения для вещества (с покрытием) канала, или, что то же самое, с поперечной составляющей энергии, меньшей граничной энергии, характерной для этого вещества продолжают двигаться вдоль канала и уходят из структуры в выделенном каналами структуры направлении в фокусную область устройства.

Нейтроны же, которые остались в структуре, продолжая рассеиваться, могут, при соответствующем выборе вещества замедлителя, попасть в область захвата раньше, чем поглотятся его веществом.

Выполнение устройства из материалов, которые содержат: ^{708}Pb , ^{206}Pb , ^{15}N , ^{16}O , ^{12}C , ^{13}C , ^{14}C , ^2H , ^4He и другие изотопно чистые вещества с малым сечением захвата нейтронов, и химических соединений на их основе позволяет создать устройство, в котором нейтроны будут выведены в фокус до их поглощения веществом.

Для повышения объемной эффективности процесса захвата расстояния между соседними каналами селекции выполнены малыми, много меньшими длины пробега нейтронов в веществе (длины рассеяния нейтронов). Вариант выполнения устройства, когда межканальные расстояния связаны с длиной рассеяния нейтронов веществом неравенством $h \ll l_s$,

где l_s - длина рассеяния нейтронов в веществе устройства,

h - межканальное расстояние в зоне селекции, $h = h_t + h_k$,

где h_k - ширина канала, h_t - толщина вещества в межканальном пространстве,

позволяет использовать для селекции нейтронов весь объем блока из замедляющего нейтроны вещества.

Вариант выполнения устройства, когда селектирующие каналы выполнены изогнутыми в направлении вывода нейтронов с образующей поверхности в форме части лемнискаты Бернулли, профилированной по закону:

$$r^2 - R^2 \cos(2\varphi) = 0 ;$$

где r - расстояние от точки профиля до центра кривой;

φ - полярный угол до точки профиля кривой, $0 < \varphi < \pi/4$;

R - характерный размер лемнискаты $R_{\min} < r < R$, позволяет создать устройство, в котором фокусная область находится в геометрическом центре лемнискаты. Весь объем структуры является зоной селекции нейтронов, которые могут быть сведены в фокусную область устройства, а та часть из них, которая движется по каналам селекции в противоположном фокусу ЗФС направлении, будет во время обратного движения выведена из процесса транспортирования. Малая их доля, выходя к осесимметричному отражателю нейтронов касательно его поверхности, будет более эффективно возвращена обратно в область селекции.

Зона селекции нейтронов структурой может быть создана и в том случае, если вещество структуры изменяется вдоль канала так, что изменяется угол полного отражения нейтронов поверхностью канала (работа выхода нейтронов из поверхности), увеличиваясь в направлении к выходу канала. Каналы в зоне селекции могут быть выполнены из материалов обеспечивающих постепенное увеличение работы выхода поверхности канала в направлении вывода нейтронов, например, путем создания структуры из смеси веществ с изменяющимся вдоль длины канала составом смеси. При этом даже при прямолинейных каналах будет сформирована зона селекции нейтронов в структуре и будет формироваться поле нейтронов с выделенным направлением их движения.

Зона селекции нейтронов структурой может быть создана и в том варианте, когда каналы в этой зоне расширяются к выходу. При этом фазовая область захвата и рабочий объем зоны селекции определяются эффективностью отражения нейтронов в каналах транспортировки нейтронов, являющихся непосредственным продолжением каналов зоны селекции, в которые гладко переходят каналы зоны селекции. Каналы транспортировки в этом случае должны с высокой эффективностью отражать нейтроны, с большей эффективностью, чем в каналах зоны селекции. Работа выхода нейтронов из поверхности каналов зоны транспортировки должна быть больше, чем работа выхода вещества зоны селекции нейтронов.

Важно, что нейтроны, двигающиеся в направлении, противоположном направлению селекции структуры, во всех вариантах выполнения зоны селекции устройства будут выпадать из процесса транспортирования каналами в. глубине ЗФС, вновь попадая в процесс диффузного движения для повторной селекции нейтронов.

Подобные, упорядочение двигающиеся потоки нейтронов, отражающиеся стенками каналов, формируют направленное их движение в селектирующих и транспортирующих каналах структуры и выводят из глубины замедлителя.

Для усиления этого эффекта на поверхности каналов селекции нейтронов 7 и на поверхности каналов транспортировки 5 может быть нанесено отражающее нейтроны покрытие 8. Обычно углы рассеяния нейтронов поверхностью раздела сред характеризуются величиной около десяти угловых секунд. Применяя отражающие покрытия, 5 можно увеличить эффективность отражения. Для этого можно использовать нейтронные полярирующие суперзеркала.

Нейтронные суперзеркала представляют собой многослойное покрытие из чередующихся слоев ферромагнетика и немагнитного материалов или чередующихся слоев замедлителя из веществ с противоположными по знаку амплитудами рассеяния нейтронов. При этом важно, что формируя толщину и периодичность слоев в суперзеркала, можно легко влиять на эффективность отражения и энергетический спектр отражаемых нейтронов.

Существенно также то, что эффективность подобных зеркал зависит от дополнительного внешнего магнитного поля и растет с его ростом, управляется этим полем, а отраженные нейтроны при этом поляризованы.

Для повышения эффективности отражения нейтронов с энергией около 1эв. Возможно нанесение кристаллических покрытий на поверхности канала как одного из слоев суперзеркала. Следует заметить, что никакой существенной разницы между селектирующими каналами и транспортирующими при выполнении ЗФЭ тонкими (толщиной порядка расстояния между селектирующими каналами), нет, кроме того, что транспортирующие каналы могут быть постоянными по свойствам вдоль своей длины: или такими, кривизна изгиба поверхности которых не меняется вдоль канала;

- и (или) не расширяющимися;

- и (или) такими, вещество которых не изменяется вдоль канала в теле ЗФЭ и на его поверхности.

Транспортирующие каналы (или селектирующие каналы, в случае, когда устройство выполнено без транспортирующих каналов или они совместны), направлены в точки или линии, которые можно назвать фокусами структуры - области которых сходятся потоки отселектированных нейтронов. Суммирование малорасходящихся потоков нейтронов позволяет существенно повысить плотность нейтронов в фокусах структуры.

Нанесенные на поверхности изогнутых транспортирующих и селектирующих каналов фокусирующие желобки, образованные поперечной кривизной каналов, корректируют движение нейтронов в процессе транспортировки, направляя их вдоль оси желобков путем

отражения к оси желобков нейтронов краями загнутых в ту же сторону, что и тело замедляюще-фокусирующих элементов желобков.

Опишем процесс работы устройства еще раз следующим образом. В устройстве, выбором геометрии исполнения и вещества замедлителя (пример 3 и табл.1), создают условия, когда обычное дрейфовое движение нейтронов в замедлителе обрывается каналируемым выводом их из глубины структуры. В фокусных областях вне тела структуры, суммируют отселектированные в глубине ЗФС потоки нейтронов, чем существенно улучшают их характеристики в области использования.

Выполнение устройства, когда замедляюще-фокусирующие элементы (ЗФЭ), выполнены серповидными в сечении, серповидны в поперечном сечении, при этом изогнуты в ту же сторону, что и тело замедляюще-фокусирующего элемента, образуя на нем фокусирующие желобки позволяет из совокупности ЗФЭ сформировать структуру с различными фокусными областями. Устройство может содержать несколько фокусных областей.

Область захвата (вывода) нейтронов структурой можно в первом приближении охарактеризовать телесным углом захвата - ω , (стерадиан) нейтронов, а способность вещества замедлителя взаимодействовать с нейтронами - числом столкновений нейтронов с ядрами замедлителя до поглощения - N_s : $N_s = \sigma_s / \sigma_a$, (данные в таблице). где: σ_s - сечение рассеяния нейтронов веществом; σ_a - сечение поглощения нейтронов веществом.

Для эффективного вывода нейтронов важно, чтобы: $N_s \gg 1$

В отличие от "пушки Финка" нейтроны выводят из селектирующей структуры не с "поверхности" структуры, а из ее "объема" и при этом с малым разбросом по углам: $\omega \ll 4\pi / N_s$.

Эффективность селекции и вывода термализованных нейтронов в фокусы структуры может быть велика: $K_{\text{eff}} \rightarrow 1$. (пример 3).

Внутри селектирующей структуры и, выходя из селектирующей структуры, нейтроны двигаются в выделенном структурой направлении с малым разбросом по углам $\omega \ll 2\pi$.

Ядерно-физические характеристики некоторых веществ, которые могут быть применены в ЗФС, приведены в таблице.

Для более полного уяснения способа и работы устройства далее приведены примеры.

Пример 1. Устройство выполнено осесимметричным. Каналы направлены в фокус в центре устройства, выполнены серповидными в сечении, причем кривизна поверхности увеличивается при движении вдоль поверхности элемента от фокуса структуры. Каналы касательно подходят к отражателю нейтронов, выполненному шаровым и полым, а магнитное поле, направленно вдоль оси устройства. В подобной структуре точечный фокус расположен в центре устройства, что позволяет резко увеличить плотность потока нейтронов в нем. При этом, управляя магнитным полем, управляют выводом поляризованных нейтронов из устройства.

Пример 2. Устройство выполнено осесимметричным. Каналы направлены в фокус на оси устройства, выполнены серповидными в сечении, причем кривизна поверхности увеличивается при движении вдоль поверхности элемента от фокуса структуры. Каналы касательно подходят к полюсу цилиндрическому отражателю нейтронов. Магнитное поле направлено вдоль оси устройства. В подобной структуре фокус продольный и он расположен на оси устройства, что позволяет резко увеличить плотность потока нейтронов в нем. Подобный вариант выполнения интересен для устройств с длинной протяженной структурой.

Пример 3. Рассматривая замедляюще-фокусирующую структуру (ЗФС), характеризуемую прежде всего как среду с резко выделенной анизотропностью замедляющего вещества и внутренней поверхностной проводимостью для отселектированных структурой нейтронов, с возможностью геометрической фокусировки потоков нейтронов "в фокусных областях структуры, мы можем оценить скорость селекции нейтронов элементом структуры, как:

$$\left(\frac{dn}{d\tau} \right)_{out} = K_{\omega} \cdot K_v \cdot K_t \cdot n / \tau_s$$

где n - плотность тепловых нейтронов в среде;

τ_s - время между столкновениями нейтронов с веществом среды, $\tau_s = l_s/v_n$;

l_s - длина пробега нейтронов в среде ЗФС;

n_s - плотность вещества замедлителя;

σ_s - сечение рассеяния нейтронов веществом;

v_n - скорость тепловых нейтронов, $v_n = 2,2 \cdot 10^5$ см/сек;

K_{ω} - эффективность захвата нейтронов по углам.

$$K_{\omega} = \omega/4\pi$$

$$\pi = 3.1416$$

ω - область (угловая) захвата нейтронов селектирующей структурой.

Для линейных структур (структур с близлежащими линейными каналами селекции):

$$K_{\omega} \approx \varphi_s / \pi,$$

где φ - угол между направлением осей каналов селекции и направлением движения захваченного нейтрона.

φ_s - угол полного отражения нейтронов поверхностью каналов.

Для плоских структур (структур с близлежащими плоскостями и каналами селекции нейтронов между ними):

$K_{\omega} \approx \varphi_s / \pi$, где φ_s - угол между направлением движения захваченного нейтрона и плоскостью элемента структуры.

φ_s - угол полного отражения нейтронов поверхностью каналов.

K_{ω} - объемная эффективность захвата нейтронов.

h - межканальное расстояние в области селекции.

K_v - эффективность транспортировки нейтронов в каналах, путем многократного отражения пологападающих нейтронов их поверхностью.

Для захваченных структурой нейтронов: $K_v \rightarrow 1$.

Отсюда: $(dn / d\tau)_{out} = K_\omega \cdot K_v \cdot K_t \cdot v_n / l_s$

Или в области селекции, на длине каналов dx , при поперечном сечении области селекции S , суммарный поток будет составлять:

$$(dN / d\tau)_{out} = (K_\omega \cdot K_v \cdot K_t \cdot n \cdot N_n / l_s) \cdot S \cdot dx$$

Можно также записать это соотношение через плотность потока отселектированных элементом структуры, нейтронов dn_2

$$(dN / d\tau)_{out} = S \cdot v_n \cdot dn_2$$

Отсюда: $dn_2 = n \cdot (K_\omega \cdot K_v \cdot K_t / l_s) \cdot dx$

Введем: τ_{full} - характерное время потери нейтронов элементом структуры:

$$\tau_{full} = 1 / (1 / \tau_{out} + 1 / \tau_a + 1 / \tau_n)$$

Характерное время селекции нейтронов элементами структуры, можно оценить как:

$$\tau_{out} = \tau_s / (K_\omega \cdot K_v \cdot K_t);$$

$$\tau_{out} \sim 10^{-2} \text{ сек};$$

$$\tau_s \sim 10^{-5} \text{ сек.}$$

τ_a - время поглощения нейтронов веществом ЗФС.

$$\tau_a = l_a / v_n$$

l_a - длина пробега нейтронов в среде ЗФС;

$$l_a = 1 / (n_s \cdot \sigma_a);$$

n_s - плотность вещества замедлителя;

σ_a - сечение поглощения нейтронов веществом;

τ_n - время жизни нейтронов.

$$\tau_n = 898,16 \text{ сек.}$$

Введем для оценки характеристики структуры, число столкновений нейтронов с ядрами вещества до селекции - N_{out} ;

$$N_{out} = 1 / (K_\omega \cdot K_v \cdot K_t);$$

Определим: K_a - коэффициент селекции нейтронов.

$$K_a = (dN/d\tau)_{out} / (dN/d\tau)_{abs};$$

$$K_a = \tau_a / \tau_{out};$$

$$K_a = (\sigma_a / \sigma_{out}) \cdot K_\omega \cdot K_t;$$

$$K_a = N_s \cdot K_\omega \cdot K_t;$$

$$K_a = N_s / N_{out};$$

$(dN/d\tau)_{abs}$ – скорость поглощения нейтронов веществом;

N_s - количество (максимальное) столкновений нейтронов с веществом структуры;

$$N_s = (\sigma_s / \sigma_a).$$

Для характеристики ЗФС полезно ввести коэффициент эффективности вывода нейтронов структурой.

$$K_{eff} = (dN/d\tau)_{out} = (dN/d\tau)_{full}$$

$$K_{eff} = 1 / (1 + 1 / K_a \cdot (1 + \tau_a / \tau_n)),$$

Где $(dN/d\tau)_{full}$ - скорость вывода нейтронов из ЗФС;

Видно, что в структурах, в которых $K_a \gg 1$, $K_{eff} \rightarrow 1$.

По аналогии с диффузионной длиной L , характеризующей меру смещения тепловых нейтронов в процессе их диффузии:

$$L = (D \cdot \tau_a)^{1/2} = (l_s \cdot l_a / 3)^{1/2} = l_s (N_s / 3)^{1/2}$$

можно ввести длину диффузии тепловых нейтронов в процессе их селекции:

$$L_{out} = (D \cdot \tau_{out})^{1/2} = l_s (N_{out} / 3)^{1/2} = L \cdot (1 / K_a)^{1/2}$$

В эффективно действующей ЗФС, $L_{out} < L$.

Видно, что в структуре с ЗФС выход нейтронов, если они были термализованы в ее глубине, определяется уже не диффузным их выходом, а селективно-канальным их выводом, более того, поскольку L_{out} - это длина диффузии нейтронов, но в структуре с ЗФС и поскольку $L_{out} < L$, то поток чисто диффузных нейтронов в сравнении с блоком такого же замедляющего вещества и тех же размеров с поверхности должен резко упасть.

Считая для примера, что внутри постоянной по параметрам ЗФС нейтроны имеют плотность n_0 в максимуме, спадают линейно к границе, найдем плотность нейтронов в потоке, выходящем из структуры толщиной L_0 (с длиной канала селекции L_0), с каналами, перпендикулярными этой трубке селекции, сечением S :

$$n_2 = (n_0 / 2) K_w \cdot K_v \cdot K_t \cdot (L_0 / l_s).$$

Для сравнения, поток диффузных нейтронов с той же поверхности при подобном распределении нейтронов в замедлителе будет составлять:

$$n_1 = 2 \cdot n_0 \cdot (l_s / L_0).$$

Отсюда:

$$n_2 / n_1 = (1/12) \cdot (L_0 / L_{out})^2.$$

Видно, что возможно создание структур, эффективно использующих механизм селективного вывода тепловых нейтронов из глубины замедлителя при $L_0 \gg l_s$ и при малых значениях L_{out} .

Поскольку поток выходящих из ЗФС нейтронов имеет малую угловую расходимость, то при формировании соответствующим образом структуры потоки можно сводить и интегрировать в некоторых выделенных областях, вызываемых фокусами структуры. В простейших случаях шаровой и цилиндрической симметрии устройств эффективность усиления плотности в сходящихся потоках можно оценить как:

$$n(r) = n(R_{in}) \cdot (R_{in}/r)^k \cdot K_n = n(R_{in}) \cdot (1/\varphi_s)^k \cdot K_n.$$

где R_{in} - внутренний радиус (размер) ЗФС.

$k = 1$ для цилиндрических структур и линейного фокуса,

$k = 2$ для шаровых структур и точечного фокуса.

Для фокусных районов

$$n_f = n_2 \cdot K_n \cdot (1/\varphi_s)^2 \text{ для точечного фокуса или}$$

$$n_f = n_2 \cdot K_n \cdot (1/\varphi_s) \text{ для линейного фокуса.}$$

Поэтому плотность нейтронов в фокусной области, при точечной области фокуса

Поэтому плотность нейтронов в фокусной области для шаровых структур оценим как:

$$n_f = 3/2 \cdot n_2 \cdot (l_s/L_{out})^2 \cdot (L_0/l_s) \cdot (\tau_a / \tau_{full}) \cdot (1/\varphi_s)^2$$

или при линейной фокусной области ЗФС:

$$n_f = 3/2 \cdot n_2 \cdot (l_s/L_{out})^2 \cdot (L_0/l_s) \cdot (\tau_a / \tau_{full}) \cdot (1/\varphi_s)$$

(Заметим, что соотношения имеют оценочный характер)

Видно, что возможно увеличение плотности нейтронов в движущемся (сходящемся) потоке нейтронов в сравнении с плотностью нейтронов в теле замедлителя.

Рассмотрим пример конкретного выполнения устройства. Пусть структура выполнена из ^{208}Pb . Тогда согласно табл.1 $\sigma_s = 11,6$ бн, $\sigma_a = 4,9 \cdot 10^{-4}$ бн, $N_s = 2,4 \cdot 10^4$, $n_s = 3,3 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3}$, $l_s = 2,6$ см, $L = 240$ см.

Пусть при этом структуру характеризуют следующие величины: $K_t = 1$, $h = 0,1$ см, $\varphi_s = 8'$, тогда в структуре будет: $K_w = 9,2 \cdot 10^{-4}$, $K_v = 0,1$ Поэтому в этом случае $N_{out} = 1,4 \cdot 10^4$, $L_{out} = 240$ см,

$l_a = 62000$ см, $\tau_s = 1,18 \cdot 10^{-5}$ с, $\tau_a = 0,28$ с, $\tau_{out} = 0,128$ с, $\tau_{full} = 0,088$ с, $K_n = 2,19$, $K_a = 1,7$, $K_{eff} = 0,65$.

В структуре с суперзеркальным покрытием каналов возможно: $\varphi_s = 1^0$, а поэтому $K_w = 5 \cdot 10^{-3}$, $K_v = 0,5$. И в этом случае $N_{out} = 400$, $L_{out} = 30$ см, $\tau_{out} = 0,0048$ с, $\tau_{full} = 0,0047$ с, $K_n = 60$, $K_a = 60$, $K_{eff} = 0,98$ (но в этом случае оценки сделаны без учета поглощения нейтронов покрытием).

Размеры фокусной области при этом можно оценить как:

$$r_f = R_{in} \cdot \varphi_s$$

При $R_{in} = 50$ см, $\varphi_s = 10'$, $r_f = 0,15$ см, а при $R_{in} = 50$ см, $\varphi_s = 1^0$, $r_f = 0,9$ см.

В этом случае плотность нейтронов составляет $n_f = 6 \cdot K_n \cdot n_0$ и $n_f = 50 \cdot K_n \cdot n_0$, для цилиндрического фокуса и $n_f = 2500 \cdot K_n \cdot n_0$ и $n_f = 1400 \cdot K_n \cdot n_0$, для точечного фокуса соответственно для разных вариантов покрытий, то есть $n_f \gg n_0$.

Технико-экономический эффект от использования предлагаемого устройства достигается за счет повышения эффективности возврата нейтронов в выделенные области и за счет полезного использования сформированного по характеристикам, потока нейтронов в этих областях. При формировании можно задавать направление движения и расходимость, а также плотность потока нейтронов и поляризацию нейтронов в нем. Кроме того возможно управление условиями формирования потока в структуре.

Таблица

Вещество	(%)	σ_s (бн)	σ_a (бн)	N_s	l_s (см)	L(см)	n_s (см ⁻³)	ρ_s (г/см ³)
¹ H ₂ O		103,	0,6	$1,7 \cdot 10^2$	0,29	2,7	$3,3 \cdot 10^{22}$	1,0
¹ H	99,985	38,	0,3	$1,3 \cdot 10^2$				
¹⁶ O	99,76	3,76	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^4$				
¹² C	99,90	4,74	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^3$	1,87	39,	$1,1 \cdot 10^{23}$	2,25
¹³ C	1,10	4,19	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^3$	2,12	67,	$1,1 \cdot 10^{23}$	2,25
¹⁴ C		4,2	$<1,4 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^6$	2,23	2900,	$1,1 \cdot 10^{23}$	2,25
¹⁵ N ₂ ¹⁶ O ₄		24,2	$48 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^6$				
¹⁵ N	0,37	4,6	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^5$				
² D ₂ O	0,015	13,6	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^3$	2,45	120,	$3,0 \cdot 10^{22}$	1,0
² D ₂	0,015	7,0	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^4$				
²⁰⁸ Pb	52,3	11,6	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^5$	2,6	240,	$3,3 \cdot 10^{22}$	11,3
⁹⁴ Mo	9,12	5,7	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^2$	2,5	34,5	$5,8 \cdot 10^{22}$	9,02
⁴ He	100,	0,7	-	-	37,0		$2,8 \cdot 10^{19}$	0,18

Формула изобретения

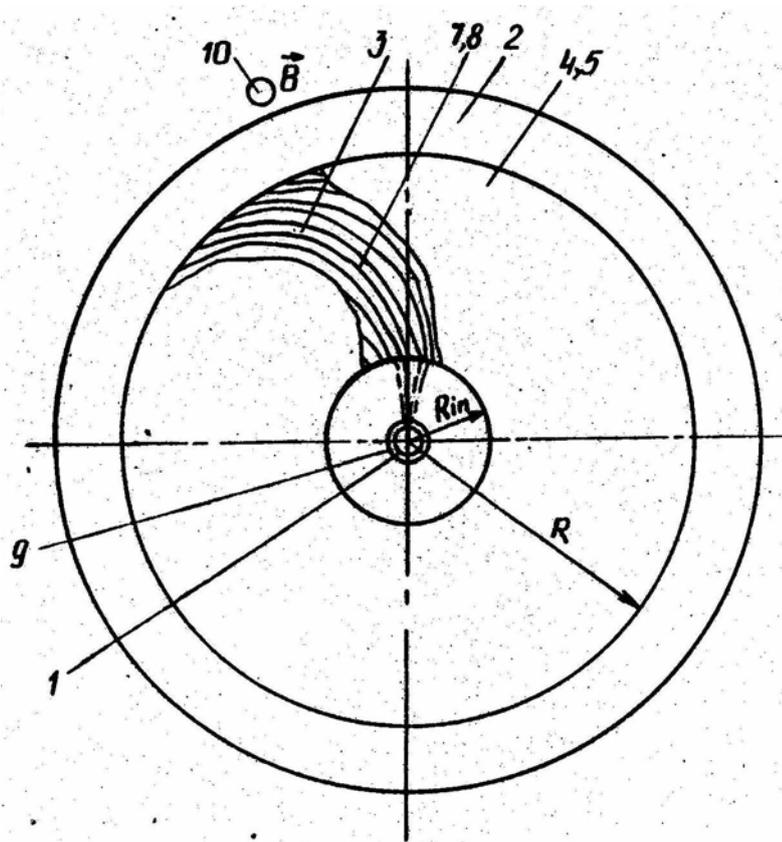
1. Устройство для формирования направленного потока нейтронов, содержащее блок из замедляющего нейтроны вещества, отличающееся тем, что, с целью уменьшения угловой расходимости потока и повышения эффективности вывода нейтронов, устройство выполнено пространственно анизотропным с зонами селекции и транспортировки в виде группы каналов в блоке из замедляющего вещества, причем в зоне селекции каналы выполнены продольно с неоднородными характеристиками.
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что межканальные расстояния h связаны с длиной l_s рассеяния нейтронов веществом неравенством $h \ll l_s$, при этом $h = h_t + h_k$, где h_k - ширина канала, h_t - толщина вещества в межканальном пространстве.
3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что, каналы в зоне селекции выполнены с изменяющимся радиусом кривизны изгиба их поверхности вдоль канала, увеличивающимся в направлении вывода нейтронов.
4. Устройство по п.1. отличающееся тем, что каналы в зоне селекции выполнены изогнутыми в направлении вывода нейтронов с образующей поверхности в форме части лемнискаты Бернулли, профилированной по закону $r^2 - R^2 \cos(2\varphi) = 0$; где r - расстояние от точки профиля до центра кривой; φ - полярный угол до точки профиля кривой, $0 < \varphi < \pi/4$; R - характерный размер лемнискаты $R_{\min} < r < R$, с центром в фокусной области устройства.
5. Устройство по п. 1. отличающееся тем, что, стенки каналов в зоне селекции выполнены из материалов с постепенно увеличивающейся в направлении вывода нейтронов граничной энергией вещества поверхности канала.
6. Устройство по п.1, отличающееся тем, что каналы в зоне селекции выполнены расширяющимися в направлении вывода нейтронов.
7. Устройство по п.1. отличающееся тем, что каналы в зоне транспортирования выполнены изогнутыми с постоянным или увеличивающимся радиусом кривизны R_0 их поверхности вдоль канала в направлении вывода нейтронов.
8. Устройство по п.1, отличающееся тем, что стенки каналов в зоне транспортировки выполнены из вещества с постоянной или увеличивающейся вдоль канала граничной энергией вещества поверхности канала в направлении вывода нейтронов вдоль канала.
9. Устройство по пп. 3 и 4, отличающееся тем, что каналы дополнительно изогнуты в направлении, перпендикулярном направлению вывода нейтронов.
10. Устройство по п.1, отличающееся тем, что поверхность каналов имеет многослойное покрытие с высокой эффективностью отражения нейтронов.

11. Устройство по п. 10, отличающееся тем, что многослойное покрытие выполнено из чередующихся слоев замедляющих веществ с противоположными по знаку амплитудами рассеяния нейтронов.
12. Устройство по п.1, отличающееся тем, что блок из замедляющего вещества выполнен сборным из серповидных в поперечном сечении элементов, промежутки между которыми образуют при сборке каналы селекции и транспортировки.
13. Устройство по п.1, отличающееся тем, что оно дополнительно снабжено отражателем нейтронов, окружающим блок из замедляющего вещества.
14. Устройство по п. 10, отличающееся тем, что многослойное покрытие содержит магнитные вещества, а блок из замедляющего вещества размещен во внешнем магнитном поле.
15. Устройство по п. 1, отличающееся тем, что составляющие его элементы выполнены из материала с малым сечением поглощения нейтронов, причем эффективность захвата нейтронов $k = \omega/4\pi$ определяется соотношением $\sigma_a/\sigma_s \ll \omega/4\pi$, где σ_s - среднее по устройству сечение рассеяния нейтронов, σ_a - среднее по устройству сечение поглощения нейтронов, ω - угловая область захвата нейтронов в точке на поверхности каналов в зоне селекции, стерад.

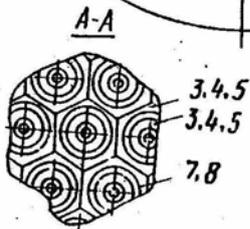
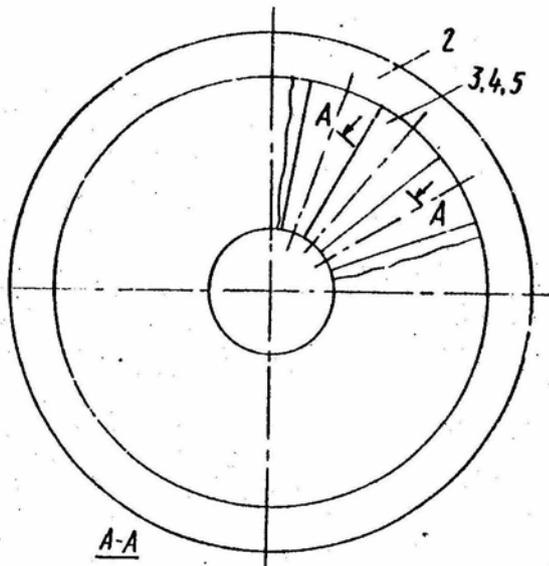
Устройство для формирования направленного потока нейтронов

Сущность изобретения: нейтроны вводят, в замедлитель, выполненный анизотропным с зонами селекции и транспортировки, и термализуют нейтроны на веществе замедлителя. Формируют поток во всем объеме зоны селекции, направленный вдоль поверхностей каналов селекции. Внутри структуры транспортируют отселектированные нейтроны по каналам зон селекции и транспортировки и фокусируют их вдоль направления каналов. Замедлитель выполнен анизотропным с зонами селекции и транспортировки в виде слоистой группы каналов.

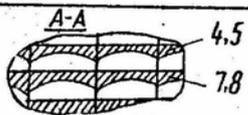
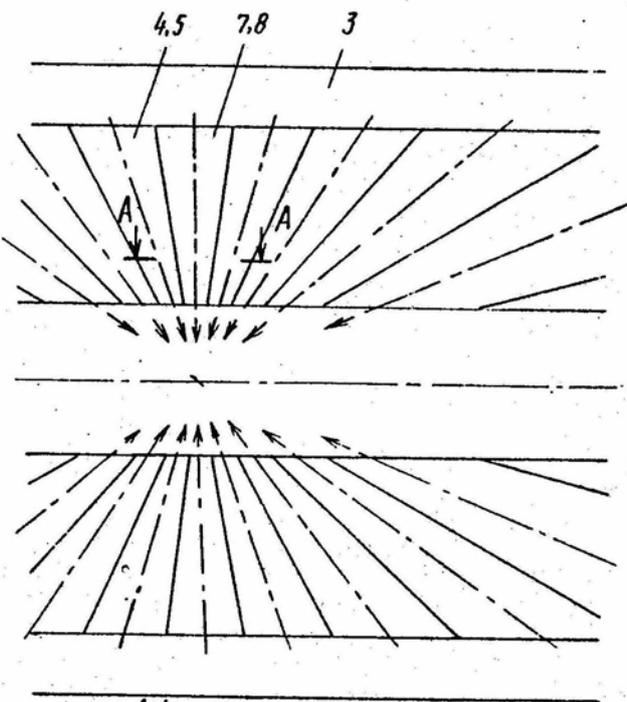
14 з.п. ф-лы, 5 ил., 1 табл.



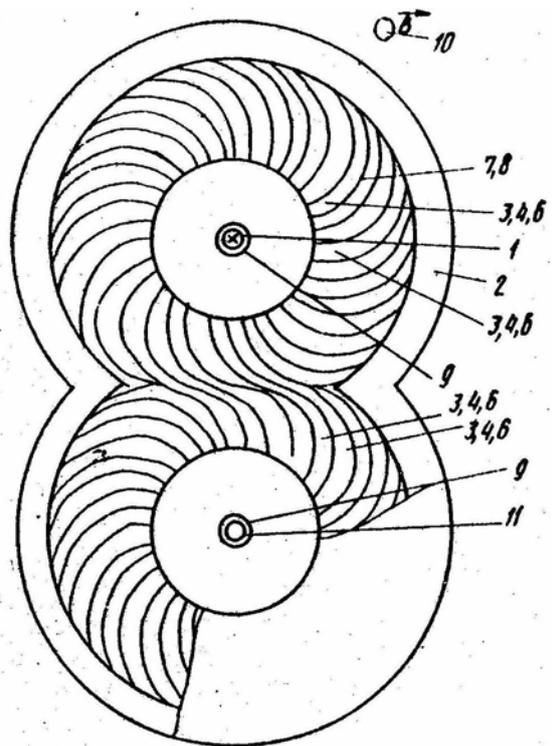
Фиг.1



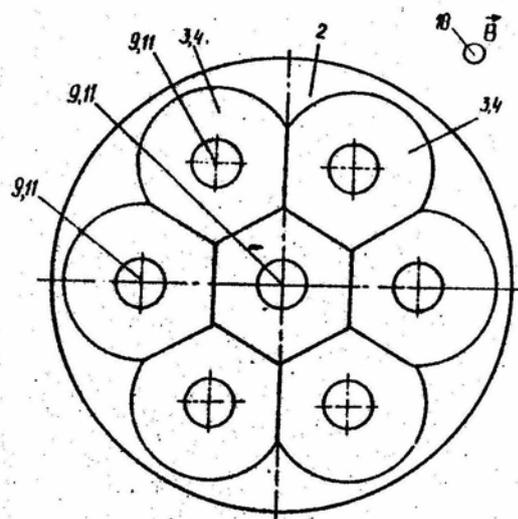
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5