



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2012152358/07, 05.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.12.2012

(45) Опубликовано: 10.05.2014 Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2095796 C1, 10.11.1997, . RU 2003129858A, 27.03.2005, . МИХАЙЛОВ В.Н., ЕВТИХИН В.А. и др. Литий в термоядерной космической энергетике XXI века. Москва, Энергоиздат, 1999, стр. 33. US 20100012827A1, 21.01.2010

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Пирогова, 2,  
Новосибирский государственный университет,  
Отдел управления ИС, Н.А. Беляевой

(72) Автор(ы):

Таскаев Сергей Юрьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (Новосибирский государственный университет, НГУ) (RU)

**(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПУЧКА МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ, УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПУЧКА МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ И СПОСОБ КАЛИБРОВКИ ДЕТЕКТОРА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЧКА МОНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ**

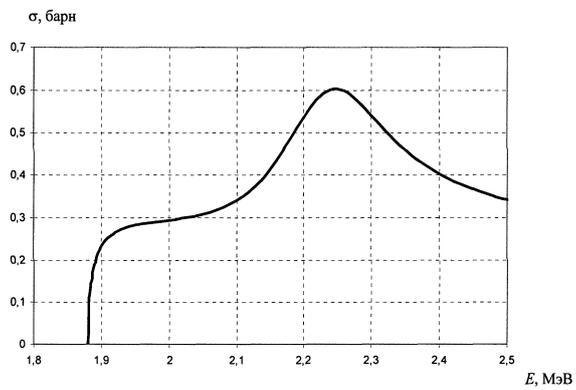
(57) Реферат:

Изобретение относится к ядерным технологиям, в частности к получению моноэнергетических нейтронов с низкой энергией. Заявленный способ включает облучение пучком протонов с энергией, превышающей 1,920 МэВ, нейтроногенерирующей мишени, при этом пучок моноэнергетических нейтронов формируют из нейтронов, распространяющихся в направлении, обратном направлению распространения пучка протонов. Варьируя энергию протонов и угол испускания нейтронов, создают моноэнергетический нейтронный пучок с любой требуемой энергией. Для исключения нейтронов с другими энергиями, случайно попавших в пучок, на пути пучка возможно размещение фильтра.

Способ калибровки детектора темной материи с жидким Ag в качестве рабочего вещества состоит в том, что его облучают пучком моноэнергетических нейтронов с энергией 74-82 кэВ, полученных при облучении мишени  ${}^7\text{Li}$  (p,n) ${}^7\text{Be}$  пучком протонов с энергией, превышающей 1,920 МэВ, и сформированном по вышеприведенному способу с использованием серного фильтра с последующей регистрацией произведенной ионизации жидкого аргона. Техническим результатом является возможность получения пучка моноэнергетических нейтронов, предназначенного для калибровки детектора темной материи, с различными энергиями без рассеяния пучка. 3 н. и 6 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 515 523 C1

RU 2 515 523 C1



Фиг.1

R U 2 5 1 5 5 2 3 C 1

R U 2 5 1 5 5 2 3 C 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012152358/07, 05.12.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**05.12.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **05.12.2012**

(45) Date of publication: **10.05.2014** Bull. № 13

Mail address:

**630090, g.Novosibirsk, ul. Pirogova, 2, Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, Otdel upravlenija IS, N.A. Beljaevoj**

(72) Inventor(s):

**Taskaev Sergej Jur'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Novosibirskij natsional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet" (Novosibirskij gosudarstvennyj universitet, NGU) (RU)**

(54) **METHOD TO PRODUCE BEAM OF MONOENERGETIC NEUTRONS, DEVICE FOR PRODUCTION OF BEAM OF MONOENERGETIC NEUTRONS AND METHOD TO CALIBRATE DETECTOR OF DARK MATTER WITH USING OF BEAM OF MONOENERGETIC NEUTRONS**

(57) Abstract:

FIELD: power engineering.

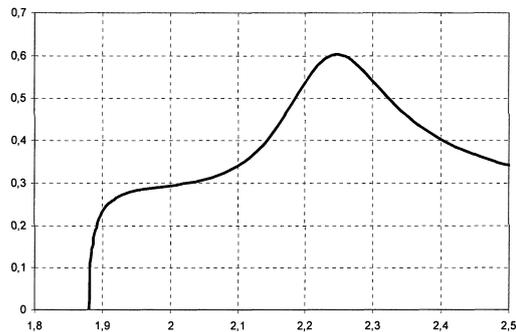
SUBSTANCE: method includes radiation with a beam of protons with energy exceeding 1.920 MeV, a neutron-generating target, at the same time the beam of monoenergetic neutrons is formed from neutrons, which spread in direction that is reverse to direction of spread of the beam of protons. By varying the energy of protons and the angle of neutrons release, they create a monoenergetic neutron beam with any required energy. To exclude neutrons with other energies, which randomly got into the beam, it is possible to place a filter on the way of the beam. The method to calibrate the dark matter detector with liquid Ar as a working substance consists in the fact, that it is radiated with a beam of monoenergetic neutrons with energy of 74-82 keV, generated during radiation of the target <sup>7</sup>Li (p,n)<sup>7</sup>Be with a beam of protons with energy exceeding 1.920 MeV, and formed in accordance with the above

method using a sulphur filter with subsequent registration of the completed ionisation of liquid argon.

EFFECT: possibility to produce a beam of monoenergetic neutrons designed for calibration of a dark matter detector, with different energies without beam scattering.

9 cl, 4 dwg

σ, барн



Фиг.1

E, МэВ

RU 2 515 523 C1

RU 2 515 523 C1

Изобретение относится к ядерным технологиям, в частности к получению моноэнергетических нейтронов с низкой энергией.

Генерация нейтронов происходит при облучении потоком заряженных частиц, взаимодействующим с мишенью для генерации нейтронов, представляющей собой структуру, состоящую из охлаждаемой подложки, с нанесенным на нее тонким слоем вещества, собственно источника нейтронов. Для получения моноэнергетических нейтронов используется свойство кинематической коллимации и, дополнительно, могут применяться фильтры, способные пропускать нейтроны с определенной энергией.

В настоящее время в мире для метрологических целей получают моноэнергетические нейтронные пучки с энергией нейтронов от 8 кэВ до 390 МэВ. В области низких энергий используют преимущественно две реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  и  ${}^{45}\text{Sc}(p,n){}^{45}\text{Ti}$  (H.Narano, T.Matsumoto, et al. Monoenergetic and quasi-monoenergetic neutron reference fields in Japan. Radiation Measurements 45 (2010) 1076-1082. V.Lacoste. Review of radiation sources, calibration facilities and simulated workplace fields. Radiation Measurements 45 (2010) 1083-1089) и получают пучки с энергиями 2, 8, 24, 27, 70 и 144 кэВ.

Для калибровки детектора темной материи требуются моноэнергетические нейтроны с энергией от 10 до 100 кэВ. Реакция  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  является наилучшей для этой цели, поскольку спектр генерируемых нейтронов относительно мягкий, сечение реакции достаточно велико, и, что фактически наиболее важно, вблизи порога сечения быстро растет (Фиг 1. - Сечение реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  из базы данных ENDF7B-VII.1).

В этой области энергии преимущественно получают пучки нейтронов с энергией 24 кэВ. Основной причиной выбора данной энергии является возможность использования железа в качестве эффективного фильтра, пропускающего нейтроны с этой энергией и рассеивающего с другой. Так, в минимуме сечение рассеяния нейтронов на ядрах  ${}^{56}\text{Fe}$  равно  $5 \cdot 10^{-4}$  барн, что на 4 порядка меньше характерного сечения при других энергиях килоэлектронвольтового диапазона.

Стандарт ISO 8529-1 предусматривает два способа производства 24 кэВ нейтронов: i) из ядерного реактора с применением фильтра из железа и алюминия; ii) от ускорителя в результате реакции  ${}^{45}\text{Sc}(p,n){}^{45}\text{Ti}$ . В первом способе неизбежно присутствуют и другие энергетические компоненты нейтронов, поскольку в сечении рассеяния нейтронов на ядрах  ${}^{56}\text{Fe}$  присутствуют провалы не только при энергии 24 кэВ, но и при энергиях 73 и 137 кэВ, хотя и не такие глубокие.

Монохроматичность пучка количественно описывается шириной энергетического распределения. Ширина распределения на полувывсоте была измерена у пучка нейтронов с энергией 144 кэВ и составила 14% (M. Yoshizawa, S. Shimizu, Y. Kajimoto et, al. Present Status of Calibration Facility of JAERI, Facility of Radiation Standards. Proceedings of Symposium - IRPA-11, Madrid, May 2004. 3b46 (2004)).

Предложен способ производства 24 кэВ нейтронов от ускорителя в результате реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  с применением железного фильтра (T.Matsumoto, H.Narano, J. Nishiyama, et al. Novel generation method of 24-keV monoenergetic neutrons using accelerators.

Proc. of the 20<sup>th</sup> International Conference on the Application of Accelerator in Research and Industry, Fort Worth, Texas, USA, Aug. 10-15, 2008, AIP Conf. Proc. 1099 (2009), pp.924-927).

При энергии протонного пучка 1,890 МэВ нейтроны испускаются вперед внутри угла 30° и имеют энергии от 8 до 65 кэВ. Эти нейтроны инжектируются в установленный за мишенью железный фильтр толщиной 80 мм, который пропускает только нейтроны с

энергией 24 кэВ и эффективно рассеивает другие нейтроны. По сравнению с реакторным способом получения 24 кэВ нейтронов, данный способ обладает тем преимуществом, что в первоначальном нейтронном пучке отсутствуют нейтроны с энергиями 73 и 137 кэВ, которые также может пропускать железный фильтр.

5 Указанный способ является наиболее близким аналогом-прототипом предлагаемому изобретению.

К недостаткам данного способа можно отнести следующее:

1. Нейтроны проходят через подложку мишени, которая хоть и минимизирована в толщине, но неизбежно приводит к рассеянию и деформации спектра нейтронов.

10 2. При инжектировании нейтронов с широким энергетическим спектром использование фильтра позволяет выделить нейтроны с определенной энергией, но не позволяет полностью исключить нейтроны с другими энергиями.

3. Использование фильтра ограничивает возможность получать моноэнергетичные нейтроны с различными значениями энергий.

15 Задачей настоящего изобретения является создание способа, обеспечивающего получение моноэнергетического нейтронного пучка. Изобретение базируется на следующем.

При использовании моноэнергетического протонного пучка в предположении тонкой мишени (мишень называется тонкой в случае малого изменения энергии протонов при  
20 прохождении нейтроногенерирующего слоя) энергия и угол испускания нейтрона однозначно определяются кинематикой. На Фиг.2 представлена зависимость энергии нейтрона  $E$  от угла вылета  $\Theta$  (в лабораторной системе координат) при разных энергиях протонов (в МэВ, приведены у линий) в реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ . Угол  $0^\circ$  совпадает с  
25 направлением протонного пучка (C.Lee, X. Zhou. Thick target neutron yields for the  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  reaction near threshold. Nucl. Instr. Meth. B 152 (1999) 1-11). Видно, что при энергии протонного пучка выше порога реакции 1,882 МэВ, но ниже 1,920 МэВ, нейтроны испускаются в только переднюю полусферу и характеризуются двумя моноэнергетическими линиями. При энергии протонов выше 1,920 МэВ нейтроны  
30 излучаются во все направления и характеризуются только одной моноэнергетичной линией.

Данное свойство позволяет сделать улучшение способа производства 24 кэВ нейтронов от ускорителя в результате реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$  с применением железного  
35 фильтра, а именно использовать летящие назад нейтроны, что позволяет перейти к действительно моноэнергетичным нейтронам.

Данное решение не ограничивается получением только 24 кэВ нейтронов, а открывает возможность получения моноэнергетичных нейтронов с различной энергией.

40 Помимо этого данное решение еще привлекательно тем, что вылетевшие назад из литиевого слоя нейтроны не проходят через подложку, что неизбежно приводит к рассеянию и деформации спектра нейтронов. Данное свойство не накладывает ограничения на толщину подложки мишени, что позволяет сделать ее интенсивно охлаждаемой, поднять мощность пучка и, как следствие, существенно увеличить плотность потока нейтронов.

45 Таким образом, поставленная задача достигается тем, что в известном способе получения моноэнергетических нейтронов, включающем облучение пучком протонов нейтроногенерирующей мишени, согласно изобретению, используют протонный пучок с энергией, превышающей 1,920 МэВ, а пучок моноэнергетических нейтронов формируют из нейтронов, распространяющихся в направлении, обратном направлению

распространения пучка протонов, причем, варьируя энергию протонов и угол испускания, создают моноэнергетический нейтронный пучок с любой требуемой энергией. При этом:

- 5 - нейтроны получают от ускорителя в результате реакции  ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ ;
- нейтронгениерирующий слой мишени тонкий;
- на пути пучка возможно размещение фильтра, рассеивающего нейтроны с другими энергиями, случайно попавшие в пучок. В качестве материалов фильтров могут быть использованы:  ${}^{56}\text{Fe}$  для 24, 73 и 137 кэВ,  ${}^{58}\text{Ni}$  для 12 и 59 кэВ;  ${}^{48}\text{Ti}$  для 35 и 48 кэВ;  ${}^{28}\text{Si}$  для 54 и 145 кэВ и  ${}^{32}\text{S}$  для 74 кэВ.

10 Из Фиг.2 видно, что, варьируя энергию протонов и угол наблюдения, можно создавать моноэнергетические нейтронные пучки с любыми энергиями. Так, при угле наблюдения  $110^\circ$  нейтроны с энергией 24 кэВ получаются при энергии протонного пучка 1,977 МэВ, а нейтроны с энергией 77 кэВ - при 2,070 МэВ. Стоит обратить  
15 внимание, что в этой области достаточно слабая зависимость энергии от угла и от энергии протонов, что позволит обеспечить высокую монохроматичность и стабильность.

Предлагаемый способ получения моноэнергетического пучка нейтронов может быть реализован на устройстве, включающем вакуумную камеру, в которой распространяется  
20 пучок протонов, и нейтроногениерирующую мишень, размещенную на пути распространения пучка протонов, и коллиматор, формирующий требуемый пучок.

Описание способа и работа устройства поясняется Фиг.3, где 1 - пучок протонов, 2 - вакуумная камера, 3 - нейтроногениерирующая мишень, 4 - пучок моноэнергетических  
нейтронов, 5 - коллиматор, 6 - окно.

25 Способ осуществляется следующим образом. Моноэнергетичные протоны 1 с энергией выше 1,920 МэВ, распространяясь в вакуумной камере 2, падают на мишень 3. Мишень состоит из подложки, на которую со стороны протонного пучка напылен (нанесен) тонкий слой лития. Взаимодействие протонов с ядрами лития приводит к генерации нейтронов, испускаемых во все стороны. Для формирования пучка  
30 моноэнергетических нейтронов 4 коллиматором 5 используются нейтроны, испущенные назад (по отношению к направлению движения протонов). Энергия нейтронов в пучке определяются углом испускания и энергией протонного пучка. Монохроматичность пучка определяется телесным углом и толщиной литиевого слоя.

Пучок протонов с энергией выше 1,920 МэВ с высокой монохроматичностью и  
35 стабильностью в вакууме может быть получен с помощью ускорителя заряженных частиц (Кузнецов А.С., Малышкин Г.Н., Макаров А.Н., и др. Первые эксперименты по регистрации нейтронов на ускорительном источнике для бор-нейтронозахватной терапии. Письма в ЖТФ, 2009, том 35, выпуск 8, стр.1-6).

Контролируемое нанесение литиевого слоя толщиной несколько микрометров на  
40 подложку мишени осуществляют, например, термическим способом (Б.Ф.Баянов, Е.В.Журов, С.Ю.Таскаев. Измерение толщины литиевого слоя. Приборы и техника эксперимента, 1 (2008), 160-162).

При энергии протонов выше 1,920 МэВ нейтроны испускаются во все стороны. Энергия нейтронов определяется углом испускания и энергией протонов. Так, при  
45 энергии протонного пучка 1,977 МэВ под углом  $110^\circ$  испускаются нейтроны с энергией 24 кэВ, а при энергии 2,070 МэВ - нейтроны с энергией 77 кэВ.

Монохроматичность испускаемых нейтронов определяется толщиной литиевого слоя, поскольку по мере прохождения слоя протоны тормозятся и энергия испускаемых

нейтронов уменьшается. Так, после прохождения 1 мкм лития энергия протона уменьшается, например, с начальных 2,070 МэВ на 3,1 кэВ (Hydrogen stopping powers and ranges in all elements. Ed. by Andersen H. N.Y.: Pergamon Press Inc., 1977), и энергия испускаемых под углом 110° нейтронов уменьшается на 1,5 кэВ. Таким образом, литиевый слой толщиной 1 мкм приводит к 2% ширине энергетического распределения нейтронов.

Монохроматичность также определяется телесным углом - при энергии протонов 2,070 МэВ и угле испускания 110° вариации угла в 1° приводят к изменению энергии нейтронов на 1,4 кэВ, т.е. к 2% ширине энергетического распределения нейтронов.

Монохроматичность пучка ухудшается при прохождении через стенку вакуумной камеры, но данный эффект сводится к минимуму путем уменьшения толщины камеры в месте прохождения пучка нейтронов (окно б на Фиг.3) или практически исчезает для фиксированных энергий из-за наличия провалов в сечении рассеяния. Так, если вся вакуумная камера или окно изготовлены из железа, то они прозрачны для нейтронов с энергиями 24, 73 и 137 кэВ.

Монохроматичность пучка может быть улучшена путем установки фильтра. При поперечном размере, равном размеру нейтронного пучка, этот фильтр не будет препятствовать пролету требуемых нейтронов, зато будет рассеивать все остальные, случайным образом попавшие в пучок. Такие фильтры могут быть изготовлены из железа, никеля, титана, кремния или серы.

Для конкретного применения - калибровки детектора темной материи с жидким аргоном в качестве рабочего вещества, может быть реализовано следующее решение. Энергия протонов равна 2,070 МэВ, угол испускания 110°. Испускаемые в этот угол нейтроны имеют энергию 77 кэВ. Нейтроны с такой энергией имеют наибольшее сечение рассеяния на ядрах аргона - 35 барн, при этом в диапазоне от 74 до 82 кэВ сечение превышает 10 барн (Фиг.4 - Сечение рассеяния нейтрона на ядре аргон-40 из базы данных ENDF/B-VII.1). Пучок может быть улучшен постановкой на его пути серного фильтра. Сечение рассеяния нейтронов на ядрах серы-32 характеризуется глубоким и широким провалом при данных энергиях нейтронов - оно на 3 порядка меньше характерных значений при 74 кэВ и на 2 порядка в диапазоне 71-77 кэВ. При рассеянии нейтрона на ядре аргона последнему передается импульс, что приводит к ионизации вещества. Переданный импульс однозначно определяется углом рассеяния нейтрона, который находится путем детектирования рассеянного нейтрона. Регистрация ядер отдачи осуществляется электролюминесцентным усилением ионизационного сигнала, позволяющим регистрировать предельно малую величину ионизации - вплоть до одного электрона (С.Hagmann and A. Bernstein. Two-Phase Emission Detector for Measuring Coherent Neutrino-Nucleus Scattering. IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.51, No. 5, October 2004, 2151).

#### Формула изобретения

1. Способ получения пучка моноэнергетических нейтронов, включающий облучение пучком протонов нейтроногенерирующей мишени, отличающийся тем, что используют протонный пучок с энергией, превышающей 1,920 МэВ, а пучок моноэнергетических нейтронов формируют из нейтронов, распространяющихся в направлении, обратном направлению распространения пучка протонов, причем, варьируя энергию протонов и угол испускания нейтронов, создают моноэнергетический нейтронный пучок с любой требуемой энергией.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что монохроматичность нейтронного пучка

регулируют энергией протонного пучка, выбором телесного угла испускания нейтронов и толщиной нейтроногенерирующего слоя мишени.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что нейтроны получают с использованием ускорителя заряженных частиц.

5 4. Способ по п.1, отличающийся тем, что используют мишень с тонким нейтроногенерирующим слоем.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что для исключения нейтронов с другими энергиями, случайно попавших в пучок, на пути пучка возможно размещение фильтра.

10 6. Способ по п.5, отличающийся тем, что качестве материалов фильтров могут быть использованы:  $^{56}\text{Fe}$  для 24, 73 и 137 кэВ,  $^{58}\text{Ni}$  для 12 и 59 кэВ;  $^{48}\text{Ti}$  для 35 и 48 кэВ;  $^{28}\text{Si}$  для 54 и 145 кэВ и  $^{32}\text{S}$  для 74 кэВ.

15 7. Устройство для получения пучка моноэнергетических нейтронов, включающее вакуумную камеру, в которой распространяется пучок протонов, и нейтроногенерирующую мишень, размещенную на пути распространения пучка протонов, отличающееся тем, что на пути пучка нейтронов, распространяющихся в направлении, обратном направлению распространения пучка протонов, оно дополнительно содержит коллиматор пучка нейтронов.

20 8. Устройство по п.6, отличающееся тем, что на пути распространения пучка нейтронов в стенке камеры образовано окно, минимизирующее рассеяние нейтронов с требуемой энергией.

25 9. Способ калибровки детектора темной материи с жидким Ar в качестве рабочего вещества путем его облучения пучком моноэнергетических нейтронов с энергией 74-82 кэВ, полученных при облучении мишени  $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$  пучком протонов с энергией, превышающей 1,920 МэВ, и сформированном из нейтронов, распространяющихся в направлении, обратном направлению распространения пучка протонов, с использованием серного фильтра ( $^{32}\text{S}$ ) с последующей регистрацией произведенной ионизации жидкого аргона.

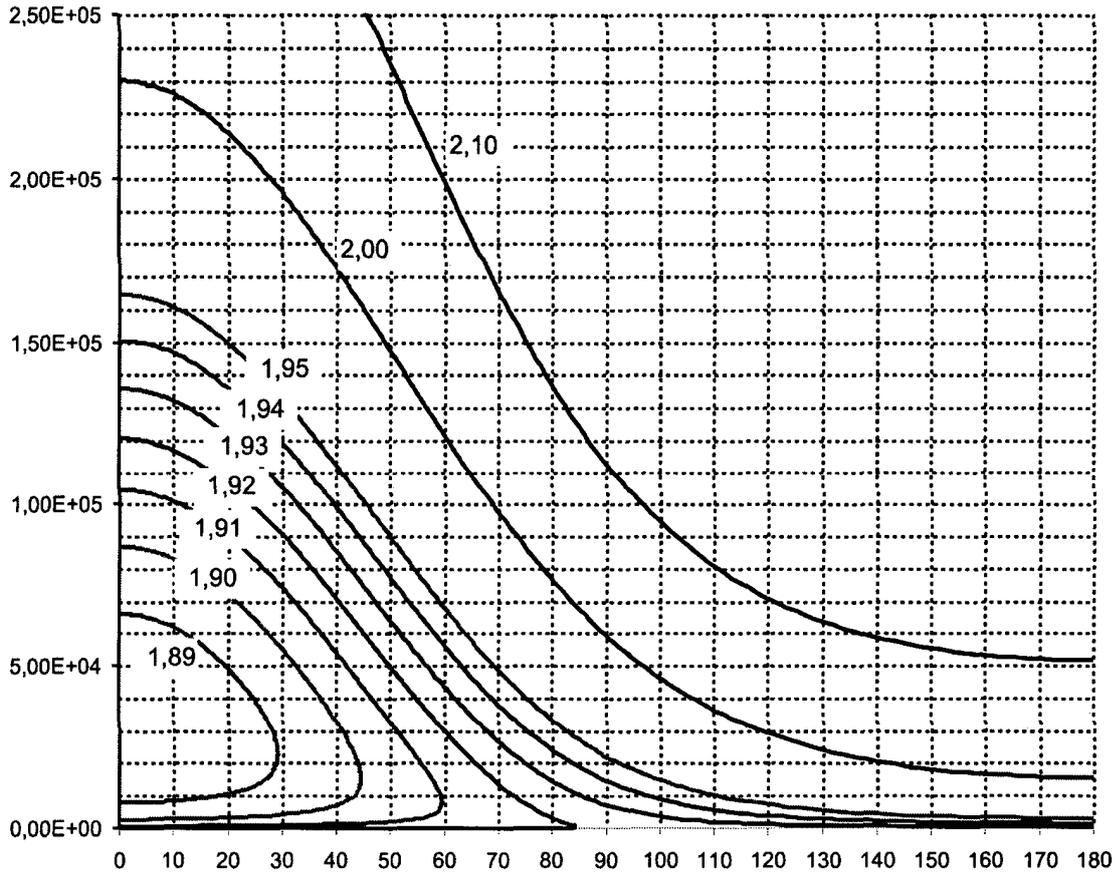
30

35

40

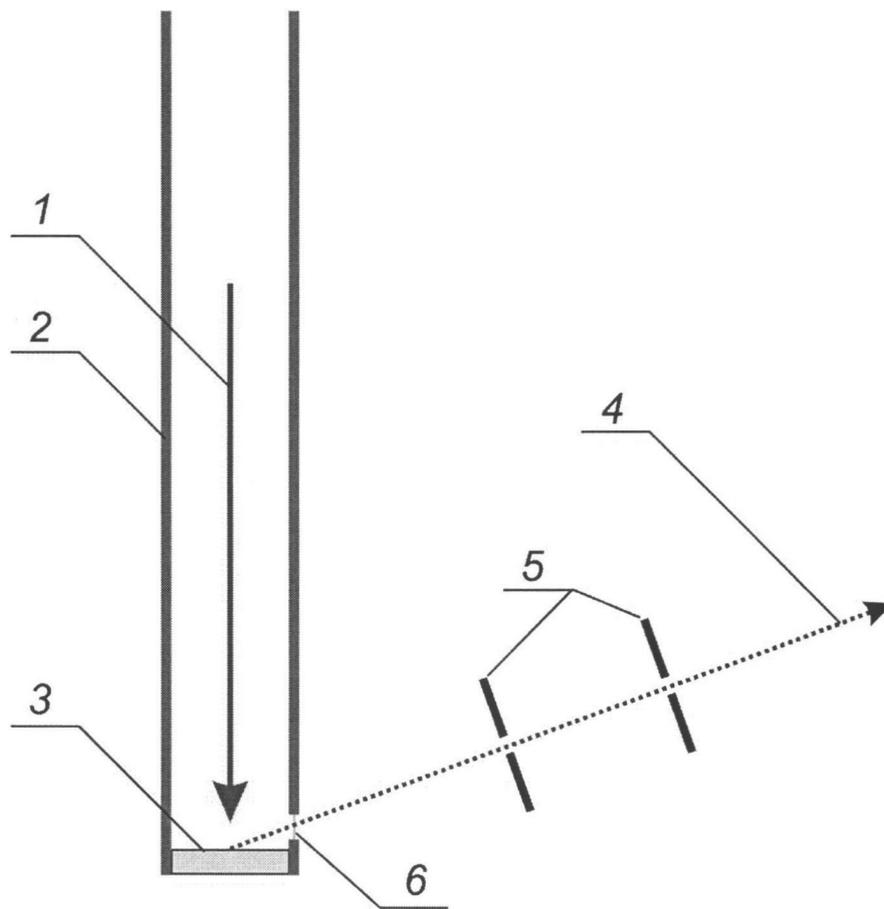
45

$E, \text{эВ}$



$\Theta, \text{град}$

Фиг.2



Фиг.3

