



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011118254/28, 05.05.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
05.05.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.05.2011

(45) Опубликовано: 27.01.2013 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 56003 U1, 27.08.2006. RU 97541 U1,
10.09.2010. RU 2356036 C2, 20.05.2009. US
5231290 A, 27.07.1993. US 2010001209 A1,
07.01.2010.

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул.
Васильева, 13, ФГУП "РФЯЦ-ВНИИТФ им.
академ. Е.И. Забабахина", отдел
интеллектуальной собственности, Г.В.
Бакалову, а/я 245

(72) Автор(ы):

Терёхин Владимир Александрович (RU),
Чернухин Юрий Илларионович (RU),
Ларцев Валерий Дмитриевич (RU),
Стрельцов Сергей Иванович (RU),
Хмельницкий Дмитрий Владимирович (RU),
Афанасьев Виктор Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное унитарное
предприятие "РОССИЙСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР -
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ИМЕНИ
АКАДЕМИКА Е.И. ЗАБАБАХИНА" (RU)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

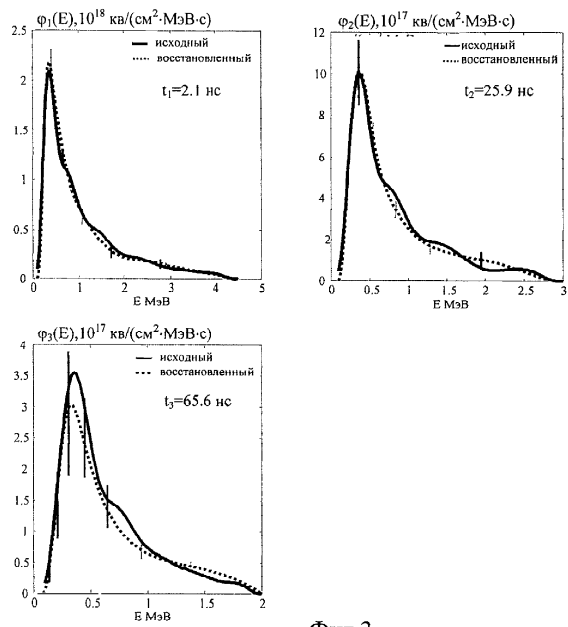
(57) Реферат:

Изобретение относится к области измерительной техники, а именно к диагностике излучения различных импульсных источников гамма-излучения. Сущность изобретения заключается в том, что способ измерения энергетических спектров импульсного гамма-излучения включает в себя прохождение гамма-излучения через поглощающие фильтры, регистрацию излучения, обработку полученной информации и восстановление энергетического спектра гамма-излучения, при этом регистрацию гамма-излучения осуществляют с помощью

гетерогенного сцинтилляционного детектора, в котором излучение регистрируется отдельными для каждого слоя фотоприемниками в токовом режиме в течение длительности гамма-импульса τ с высоким временным разрешением с получением исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в момент времени $t < \tau$. Технический результат - получение исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в различные моменты времени. 3 ил., 1 табл.

RU 2 473 927 C2

RU 2 473 927 C2



Фиг.3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011118254/28, 05.05.2011

(24) Effective date for property rights:
05.05.2011

Priority:

(22) Date of filing: 05.05.2011

(45) Date of publication: 27.01.2013 Bull. 3

Mail address:

456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk, ul.
Vasil'eva, 13, FGUP "RFJaTs-VNIITF im. akadem.
E.I. Zababakhina", otdel intellektual'noj
sobstvennosti, G.V. Bakalovu, a/ja 245

(72) Inventor(s):

Terekhin Vladimir Aleksandrovich (RU),
Chernukhin Jurij Illarionovich (RU),
Lartsev Valerij Dmitrievich (RU),
Strel'tsov Sergej Ivanovich (RU),
Khmel'nitskij Dmitrij Vladimirovich (RU),
Afanas'ev Viktor Nikolaevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriyatje "ROSSIJSKIJ FEDERAL'NYJ
JaDERNYJ TsENTR - VSEROSSIJSKIJ
NAUChNO-ISSLEDOVATEL'SKIJ INSTITUT
TEKhNICHESKOJ FIZIKI IMENI AKADEMIKA
E.I. ZABABAKHINA" (RU)

(54) **METHOD OF MEASURING ENERGY SPECTRA OF PULSED GAMMA RADIATION**

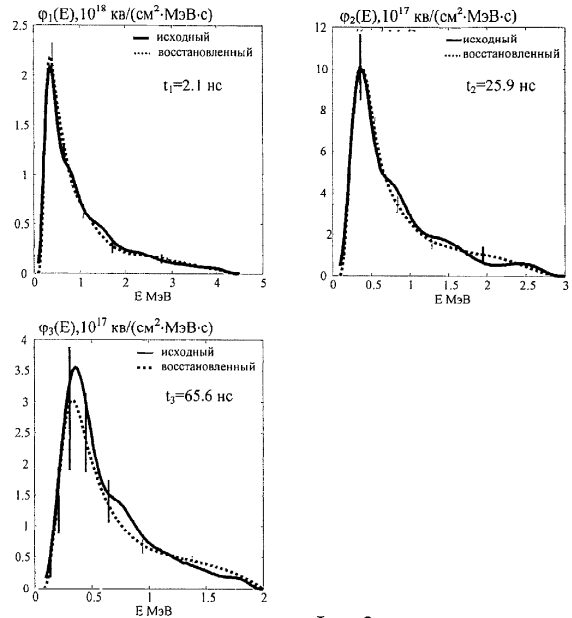
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: method of measuring energy spectra of pulsed gamma radiation involves passing gamma radiation through absorbing filters, detecting radiation, processing the obtained information and reconstructing the energy spectrum of gamma radiation. Gamma radiation is detected using a heterogeneous scintillation detector, wherein radiation is detected by photodetectors which are separate for each layer in current mode for duration of the gamma radiation pulse τ , with high time resolution, to obtain source information for mathematical reconstruction of the gamma radiation spectrum at time $t < \tau$.

EFFECT: obtaining source information for mathematical reconstruction of a gamma radiation spectrum at different moments in time.

3 dwg



Фиг.3

RU 2 4 7 3 9 2 7 C 2

RU 2 4 7 3 9 2 7 C 2

Изобретение относится к области измерительной техники, а именно к диагностике излучения различных импульсных источников гамма-излучения.

5 Широко известны разнообразные способы измерения энергетических спектров излучения стационарных гамма-источников с использованием регистраторов, работающих в режиме одночастичной регистрации: сцинтилляционных детекторов на основе органических и неорганических материалов, газовых ионизационных детекторов и магнитных спектрометров. (Л.С.Горн, Б.И.Хазанов Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Энергоатомиздат, 1989).

10 Однако эти методы не применимы для измерения энергетических спектров излучения импульсных гамма-источников.

К известным методам измерения энергетического спектра импульсного гамма-излучения относится метод поглощающих фильтров (МПФ) с установленными за ними регистраторами, совместно обеспечивающими существенно различные спектральные зависимости чувствительности для каждого из M (по числу фильтров) каналов регистрации соответствующей измерительной установки.

Наиболее близким и выбранным в качестве прототипа является способ измерения энергетических спектров импульсного гамма-излучения с использованием поглощающих фильтров, описанный в статье Ю.И. Чернухина, В.А.Терехина и С.И.Стрельцова «Гетерогенный сцинтилляционный детектор гамма-излучения» (Атомная энергия, т.101, №2, с.130-135, 2006), включающий прохождение гамма-излучения через поглощающие фильтры, регистрацию его, обработку полученной информации и восстановление энергетического спектра гамма-излучения.

25 Однако известный способ позволяет измерять только интегральные по времени спектры импульсного гамма-излучения, что связано с применением интегрирующих регистраторов: калориметров или дозиметров.

Заявляемое изобретение направлено на решение задачи по получению достоверной информации о динамике изменения спектров гамма-излучения в течение длительности импульса источника.

30 Технический результат, который позволяет решить поставленную задачу, заключается в получении исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в различные моменты времени за счет регистрации сцинтилляций отдельными для каждого слоя гетерогенного сцинтилляционного детектора (ГСД) фотоприемниками, работающими в токовом режиме в течение длительности гамма-импульса τ .

40 Это достигается тем, что в способе измерения энергетических спектров импульсного гамма-излучения, включающем прохождение гамма-излучения через поглощающие фильтры, регистрацию его, обработку полученной информации и восстановление энергетического спектра гамма-излучения, согласно изобретению регистрацию гамма-излучения осуществляют с помощью гетерогенного сцинтилляционного детектора, в котором излучение регистрируется отдельными для каждого слоя фотоприемниками в токовом режиме в течение длительности гамма-импульса τ с высоким временным разрешением с получением исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в момент времени $t < \tau$.

50 Наличие в заявляемом изобретении признаков, отличающих его от прототипа, позволяет считать его соответствующим условию «новизна».

Новые признаки способа (осуществление регистрации гамма-излучения с помощью гетерогенного сцинтилляционного детектора, в котором излучение регистрируется отдельными для каждого слоя фотоприемниками в токовом режиме в течение

длительности гамма-импульса τ с высоким временным разрешением с получением исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в момент времени $t < \tau$) не выявлены в технических решениях аналогичного назначения. На этом основании можно сделать вывод о соответствии заявляемого изобретения условию «изобретательский уровень».

Предлагаемое изобретение проиллюстрировано следующими чертежами:

на фиг.1 - схема расчетной модели гетерогенного сцинтилляционного детектора ГСД-ФТ1, размеры в см;

на фиг.2 - аппаратурные функции $G_i(E)$, $i=1, 2, \dots, 9$ модели ГСД-ФТ1;

на фиг.3 - исходный и восстановленный спектры потока квантов $\varphi_k(E)$ в числовом эксперименте при трех значениях времен t_k и погрешности измерений $\varepsilon=1\%$.

Для иллюстрации способа была выбрана модель гетерогенного сцинтилляционного детектора ГСД-ФТ1 (см. фиг.1), содержащая экран Э ($A1$, $\rho=2,7 \text{ г/см}^3$) толщиной $\Delta_3=0,05 \text{ см}$, представляющая собой многослойную структуру $l=1, 2, \dots, M$ с размером входного окна $12 \times 10 \text{ см}^2$, состоящую из $M=9$ конвертирующих свинцовых слоев K_i (Pb , $\rho=11,3 \text{ г/см}^3$) переменной толщины Δ_{K_i} ; значения которой приведены в таблице 1, в которых поток гамма-квантов $\varphi(E,t)$ трансформируется в поток быстрых заряженных частиц (электронов и позитронов), и примыкающих к ним тонких сенсорных слоев C_i из сцинтиллирующей пластмассы ($CH_{0,99}$, $\rho=1,05 \text{ г/см}^3$) толщиной $\Delta_C=0,5 \text{ см}$; в которых энергия заряженных частиц преобразуется в сцинтилляции, регистрируемые светочувствительными приборами. При такой конфигурации ГСД фильтром гамма-излучения для i -го сенсорного слоя служит совокупность всех других слоев, стоящих перед ним.

Таблица 1									
Толщины конвертирующих слоев K_i модели ГСД-ФТ1									
i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Delta_{K_i}, \text{ см}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,6	1,1	0,7	1,0	1,0

Сенсорные слои в этом детекторе могут быть выполнены в виде пластин из полистиролового сцинтиллятора (ПС) со спектросмещающими волокнами (WLS) для вывода света к фотоприемникам или набраны из сцинтиллирующего полистиролового оптоволоконна фирмы VIBRON. В качестве фотоприемников могут использоваться любые «быстрые» фотопреобразователи: фотоэлементы (ФЭЛ), фотоэлектронные умножители (ФЭУ) и тому подобные приборы. Связь регистрируемого ими тока с потоком гамма-квантов, падающих на входное окно ГСД, определяется уравнением

$$J_{ik} = \Pi \cdot \int_{E_{min}}^{E_{max}} G_i(E) \cdot \varphi_k(E) \cdot dE, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (1)$$

где $J_{ik} \equiv J_i(t_k)(A)$ - измеренное значение тока регистратора i -го сенсорного слоя ГСД в момент времени t_k ;

$\varphi_k(E) = \varphi(E, t_k)$ (кв/($\text{см}^2 \cdot \text{МэВ} \cdot \text{с}$)) - плотность потока гамма-квантов с энергией E [МэВ], падающих на входное окно ГСД с площадью Π в момент времени t_k ;

E_{min} , E_{max} - минимальное и максимальное значения энергий гамма-квантов в спектре регистрируемого излучения;

$G_i(E)$ (Кл/кв) - эффективность регистрации гамма-квантов с энергией E в i -ом сенсорном слое ГСД (аппаратурная функция).

При решении системы уравнений (1) относительно спектральных функций $\varphi_k(E)$ аппаратурные функции $G_i(E)$ считаются известными. В первом приближении они

могут быть найдены по соотношению

$$G_i(E) = g_i(E) \cdot P_i \cdot \mathcal{E}_i \cdot Y_i \cdot K_i \cdot e_0. \quad (2)$$

Здесь: - $g_i(E)$ (МэВ/кв) - поглощенная энергия в i -ом сенсорном слое, нормированная на один квант с энергией E , падающий на входное окно детектора; для модели ГСД-ФТ1 она определялась методом Монте-Карло по программе MCNP ($1\sigma < 1\%$);

- P_i (фот/МэВ) - сцинтилляционная эффективность (световыход) i -го сенсорного слоя;

- $\mathcal{E}_i(\%)$ - эффективность передачи света к i -му фоторегистратору;

- Y_i (ф.э./фот) - квантовая эффективность фотокатода i -го регистратора (ФЭЛ, ФЭУ);

- K_i - коэффициент умножения i -го фоторегистратора (~ 1 - для ФЭЛ и $\sim 10^6$ - для ФЭУ);

- $e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл/эл - заряд электрона.

В общем случае параметры P_i , \mathcal{E}_i , Y_i , K_i могут отличаться для всех каналов регистрации ГСД ($i=1, 2, \dots, M$), их характерные значения:

$P=10^4$ фот/МэВ, $\mathcal{E}=2\%$, $Y \approx 0,1$ ф.э./фот, $K=1$ (для ФЭЛ), $K=10^6$ (для ФЭУ).

Полученные по этим данным аппаратурные функции $G_i(E)$ для модели ГСД-ФТ1 в диапазоне $E=(0,1 \div 5)$ МэВ приведены на фиг.2.

Восстановление искомого спектра гамма-квантов осуществляется путем решения системы уравнений (1) относительно спектральных функций $\varphi_k(E)$, когда аппаратурные функции $G_i(E)$ и токи регистратора сенсорных слоев ГСД J_{ik} заданы, относится к классу некорректно поставленных задач. Для однозначного выбора решения наряду с положительностью искомой функции $\varphi_k(E)$ используется ее представление в виде В-сплайна

$$\varphi_k(E) = \sum_{j=1}^m u_{kj} \cdot B_{kj}(E), \quad (3)$$

где $B_{kj}(E)$ - базисные сплайны с конечными носителями минимальной длины (В-сплайны);

$u_{kj} \geq 0$ - искомые параметры задачи.

При подстановке (3) в (1) для заданного значения t_k задача сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов u_{kj} .

Проверка предложенного способа проводилась в числовом эксперименте на примере импульса тормозного излучения (ТИ) электронов ускорителя прямого действия ИГУР-3 (В.С.Диянков, В.П.Ковалев, А.И.Кормилицын и др. «Обзор экспериментальных установок ВНИИТФ для радиационных исследований» ФММ, т.81, №2, с.119-123, 1996).

Проведение «числового эксперимента» предполагает решение прямой и обратной задач согласно (1). В прямой задаче определяются зависимости $J_i(t)$ по предварительно найденным спектральным функциям $\varphi(E,t)$. Обратная задача заключается в решении системы интегральных уравнений (1) относительно функции $\varphi(E,t)$ по результатам решения прямой задачи $J_i(t)$ с учетом характерных ошибок в определении этих величин в реальных экспериментах

Задача решалась для трех значений времени t_k , при $k=1,2,3$:

$t_1=2,1$ нс; $t_2=25,9$ нс, $t_3=65,5$ нс.

Отсчет времени производили относительно максимума импульса напряжения.

Полученные результаты представлены на фиг.3. Из приведенных на фиг.3 данных видно, что рассматриваемая методика на основе ГСД позволит определить энерго-временные распределения импульсного гамма-излучения установок типа ИГУР-3 с точностью $10 \div 20\%$ (2σ); для этого точность измерений амплитудных значений токов детектора должна быть не хуже $\sim 1\%$ (2σ).

Таким образом, изложенные сведения доказывают выполнимость при реализации заявленного способа следующей совокупности условий:

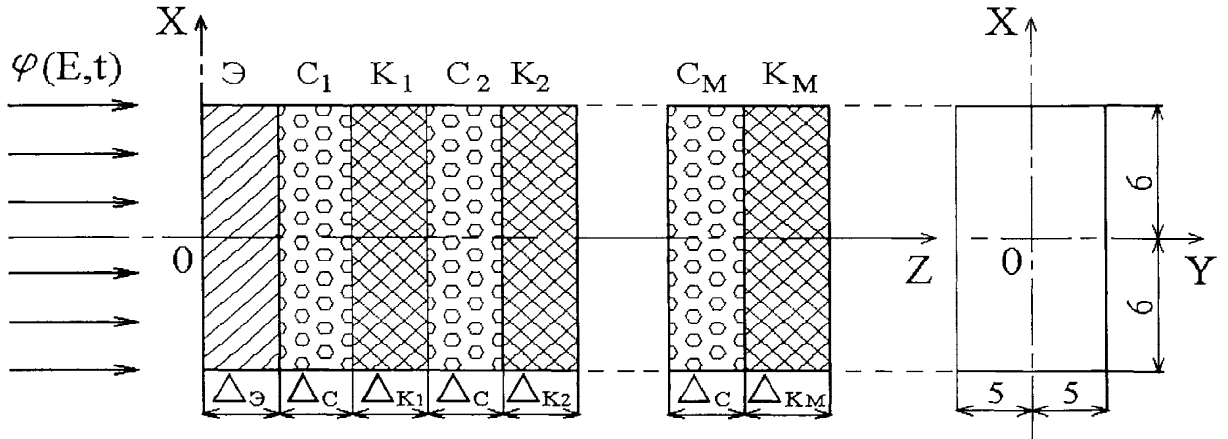
- предложенный способ, предназначенный для измерений спектров излучения мощных импульсных гамма-установок обеспечивает: возможность достижения рекордно-высокой чувствительности детектора и, как следствие, высокой устойчивости к внешним помехам; возможность изучения изменяемых в течение импульса спектров гамма-излучения; высокое временное разрешение ($\Delta\tau \sim 5$ нс).

Для заявленного изобретения в том виде, как оно охарактеризовано в формуле изобретения, подтверждена возможность осуществления способа измерения энергетических спектров импульсного излучения и способность обеспечения достижения усматриваемого заявителем технического результата.

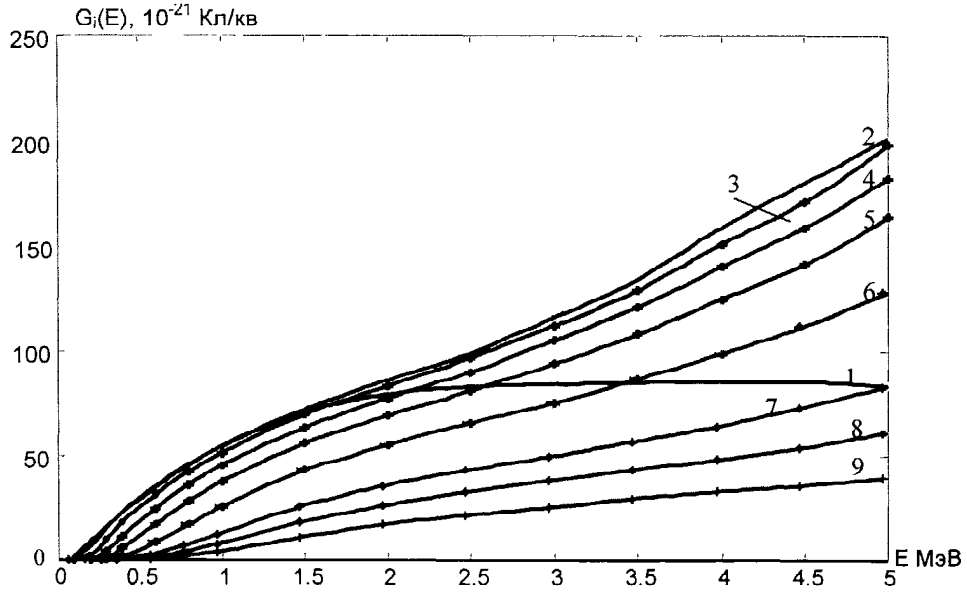
Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию "промышленная применимость".

Формула изобретения

Способ измерения энергетических спектров импульсного гамма-излучения, включающий прохождение гамма-излучения через поглощающие фильтры, регистрацию излучения, обработку полученной информации и восстановление энергетического спектра гамма-излучения, отличающийся тем, что регистрацию гамма-излучения осуществляют с помощью гетерогенного сцинтилляционного детектора, в котором излучение регистрируется отдельными для каждого слоя фотоприемниками в токовом режиме в течение длительности гамма-импульса τ с высоким временным разрешением с получением исходной информации для математического восстановления спектра гамма-излучения в момент времени $t < \tau$.



Фиг.1



Фиг.2