



УКРАЇНА

(19) UA (11) 54921 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01T 1/00  
G01T 3/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ РОЗДІЛЬНОГО ОДНОЧАСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ФОТОНІВ ТА ТЕПЛОВИХ І ШВИДКИХ НЕЙТРОНІВ У ГАЛЬМІВНОМУ ВИПРОМІНЮВАННІ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ

1

(21) u201007181

(22) 10.06.2010

(24) 25.11.2010

(46) 25.11.2010, Бюл.№ 22, 2010 р.

(72) ПАРЛАГ ОЛЕГ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ГОЛОВЕЙ  
ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ, ДОВБНЯ АНАТОЛІЙ МИ-  
КОЛАЙОВИЧ, МАСЛЮК ВОЛОДИМИР ТРОХИ-  
МОВИЧ, ЛЕНДЕЛ ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОННОЇ ФІЗИКИ НАН УКРА-  
ЇНИ

2

(57) Спосіб роздільного одночасного визначення вмісту високоенергетичних фотонів та теплових і швидких нейтронів гальмівного випромінювання електронних прискорювачів радіоактиваційним методом, який **відрізняється** тим, що аналіз здійснюється за активністю окремих гамма-ліній продуктів активації елементарних речовин та їх сполук і/або їх комбінації, які утворюються за каналами  $(\gamma, n)$ -,  $(n, \gamma)$ - та  $(n, p)$ - або  $(n, \alpha)$ -реакцій в інтервалі енергій від порогу  $(\gamma, n)$ - до порогу  $(n, 2n)$ -реакцій.

Корисна модель відноситься до ядерної фізики і може бути використана для визначення вмісту високоенергетичних фотонів та теплових і швидких нейтронів в змішаних гамма-нейтронних полях гальмівного випромінювання електронних прискорювачів (лінійний прискорювач, мікротрон) для області енергій гігантського дипольного резонансу.

Відомо [1,2], що при дослідженні фотоядерних реакцій та їх практичному використанні широко застосовують пучки гальмівного випромінювання електронних прискорювачів, яке містить високоенергетичні гамма-кванти і фотонейтрони (теплові та швидкі), розділени які практично неможливо. Характерною особливістю таких пучків є різке переважаювання вмісту гамма-квантів. Незважаючи на малий вміст теплових та швидких нейтронів у пучках, вони дають суттєвий внесок у фотоядерні реакції для низки ізотопів. Для нейтронів у широкому діапазоні енергій це відбувається завдяки більшим перерізам у порівнянні з фотоядерними реакціями типу  $(\gamma, n)$ -,  $(\gamma, f)$ - і  $(\gamma, \gamma')$ . Крім того, для теплових нейтронів відсутній поріг  $(n_{th}, \gamma)$ -реакцій, а для швидких нейтронів він є низьким (менше 1 MeV) [2-5]. Тому виникає нагальна потреба кількісного визначення вмісту високоенергетичних фотонів та теплових і швидких нейтронів у пучку, для чого широко вживають радіоактиваційні методи аналізу.

Дослідження характеристик гамма-випромінювання утворених внаслідок активації

радіоізотопів найбільш зручно здійснювати методом напівпровідникової гамма-спектрометрії [6].

Основною вимогою до матеріалу, з якого складається радіоактиваційний детектор для застосування у змішаному випромінюванні, що містить високоенергетичні фотони, теплові та швидкі нейтрони, є наявність у його складі ізотопів елементів, у наведеній активності яких присутні виразні і рознесені за енергією гамма-лінії, що можуть бути використані для аналітичних потреб. Такі лінії повинні легко виокремлюватися у гамма-спектрі на фоні ліній, утворених за каналами реакцій  $(\gamma, \gamma')$ ,  $(\gamma, n)$  при опроміненні детектора високоенергетичними фотонами та реакцій  $(n, n')$ ,  $(n_{th}, \gamma)$ ,  $(n, p)$ ,  $(n, \alpha)$  при його опроміненні нейтронами.

Відомий спосіб [7], згідно якого визначення вмісту швидких нейтронів у гальмівному пучку електронного прискорювача в декількох енергетичних діапазонах здійснюється за допомогою активаційного детектора, що містить суміш оксидів низьки металів. Його недоліком є непридатність для одночасного роздільного визначення гамма- і нейтронної складової змішаного гамма-нейтронного випромінювання.

Також відомий спосіб одночасного визначення гамма- і нейтронної складових у пучку гальмівного випромінювання електронного прискорювача [8] (найближчий аналог). В ньому одночасно застосовується низка активаційних детекторів у вигляді

(13) U  
(11) 54921  
(19) UA

наважок елементарних хімічних речовин, причому частина з них активується за каналом  $(\gamma, n)$ -реакцій, а інша - за каналом  $(n, \gamma)$ -реакцій. Недоліком способу є відсутність можливості одночасного визначення окрім гамма-квантів та швидких нейтронів також і теплових нейтронів.

Завданням корисної моделі є одночасне визначення вмісту гамма-квантів, теплових та швидких нейтронів у пучках гальмівного випромінювання електронних прискорювачів.

Спосіб роздільного одночасного визначення вмісту високоенергетичних фотонів та теплових та швидких нейтронів гальмівного випромінювання електронних прискорювачів радіоактиваційним методом відповідно до корисної моделі, що аналіз здійснюється за активністю окремих гамма-ліній продуктів активації елементарних речовин та їх сполук і/або їх комбінацій, які утворюються за каналами  $(\gamma, n)$ -,  $(n_{th}, \gamma)$ -,  $(n, p)$ -,  $(n, \alpha)$ -реакцій в інтервалі енергій від порогу  $(\gamma, n)$ - до порогу  $(\gamma, 2n)$ - реакцій.

Ядерно-фізичні характеристики відповідних реакцій та утворених ізотопів наведено в [2]. У випадках нестійкості відповідної елементарної речовини в атмосферних умовах більш доцільним є використання у складі активаційного детектора її сполуки за умови, що інші хімічні елементи, які входять до складу такої сполуки, не вносять додаткових похибок у виміри її гамма-активності.

З порівняльного аналізу з найближчим аналогом впливає, що, завдяки одночасному визначенню вмісту гамма-квантів, теплових і швидких нейтронів у гальмівному випромінюванні електронних прискорювачів за продуктами активації, утвореними за каналами  $(\gamma, n)$ -,  $(n_{th}, \gamma)$ -,  $(n, p)$ -,  $(n, \alpha)$ -реакцій, активаційний детектор може бути спрощений і містити лише дві елементарні речовини або їх сполуки (наприклад, оксиди).

Для кількісного визначення вмісту гамма-квантів та теплових і швидких нейтронів як активаційні детектори можуть бути використані елементарні речовини (або їх сполуки), що відповідають низці певних вимог. До таких вимог можна віднести:

1. Наявність у складі детектора щонайменше одного ізотопу, продукти активації якого утворюються за каналами  $(\gamma, n)$ -,  $(n_{th}, \gamma)$ -,  $(n, p)$ -,  $(n, \alpha)$ -реакцій і є мітками наявності у пучку гамма-квантів та теплових і швидких нейтронів;

2. Відносно високий переріз активації тепловими і швидкими нейтронами і малий переріз активації гамма-квантами ізотопів хімічних елементів, які використовуються для активаційного аналізу;

3. Зручність для аналізу ядерно-фізичні характеристики випромінювання, що спрощує ідентифікацію та визначення кількісних характеристик продуктів  $(\gamma, n)$ -,  $(n_{th}, \gamma)$ -,  $(n, p)$ -,  $(n, \alpha)$ -реакцій.

4. Елементарні хімічні речовини або їх сполуки, які використовують для активації, повинні бути нетоксичними і стійкими в атмосферних умовах (негігроскопічними, нелеткими, не окиснюватися на повітрі тощо).

Наводимо приклади реалізації.

Приклад 1 (аналог). Для визначення у пучку гальмівного випромінювання електронного прискорювача вмісту нейтронів у декількох діапазонах енергій був використаний активаційний детектор, який містив суміші сполук, наприклад, оксидів різних металів (алюмінію, нікелю, заліза, талію) і/або нітратів (індію та ртуті) і співполімера фенолформальдегідної смоли та метаклорфенолформальдегіда. Після опромінення швидкими нейтронами з флюенсом  $10^{17}$  н/см<sup>2</sup> (для відокремлення теплових нейтронів використано фільтр з кадмію) і охолодження на протязі 24 год. його залишкову активність було виміряно за допомогою багатоканального аналізатора імпульсів на напівпровідниковому кристалі. Вміст нейтронів у різних енергетичних діапазонах було визначено з урахуванням енергетичних порогів реакцій взаємодії швидких нейтронів з відповідними ізотопами алюмінію, нікелю, заліза, талію, індію, ртуті, хлору [7]. Даний спосіб непридатний для визначення гамма-складової гальмівного випромінювання електронного прискорювача.

Приклад 2 (прототип). Для одночасного роздільного визначення вмісту гамма- і нейтронної складових у пучку гальмівного випромінювання електронного прискорювача використано низку порогових активаційних детекторів у вигляді наважок елементарних хімічних речовин з порогоми активації від 0,3 до 5,5 МеВ. Частина детекторів активували шляхом  $(\gamma, n)$ -реакцій ( $^{65}\text{Cu}$   $(\gamma, n)$   $^{64}\text{Cu}$ ;  $^{54}\text{Fe}$   $(\gamma, 2n)$   $^{52}\text{Fe}$ ;  $^{52}\text{Cr}$   $(\gamma, n)$   $^{51}\text{Cr}$ ) а іншу - шляхом  $(n, \gamma)$ -реакцій ( $^{187}\text{Re}$   $(n, \gamma)$   $^{188}\text{Re}$ ;  $^{115}\text{In}$   $(n, \gamma)$   $^{116}\text{In}$ ;  $^{127}\text{J}$   $(n, \gamma)$   $^{128}\text{J}$ ;  $^{75}\text{As}$   $(n, \gamma)$   $^{76}\text{As}$ ), завдяки чому стало можливим одночасне роздільне визначення вмісту гамма-квантів і швидких нейтронів у змішаному гамма-нейтронному випромінюванні [8]. Даний спосіб не дозволяє визначати у гальмівному випромінюванні електронного прискорювача теплові нейтрони.

Приклад 3. Для одночасного роздільного визначення гамма- і нейтронної складових у пучку гальмівного випромінювання електронного прискорювача як матеріал активаційного детектора використовували склад, який містив суміш діоксиду мангану  $\text{MnO}_2$  і металічного алюмінію (або оксиду алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Завдяки високому енергетичному порогу фотоядерних реакцій для ізотопів кисню їх присутність не заважає проведенню аналізу. Відповідні ядерні реакції і характеристики продуктів активації використаних ізотопів наведено у таблиці 1, а гамма-спектри продуктів активації і часові режими вимірів - на Рис. 1.

Активаційний детектор, який містив рівні за масою наважки діоксиду мангану  $\text{MnO}_2$  і металічного алюмінію (або оксиду алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) розміщували у стандартних циліндричних контейнерах з кальки. Розміри контейнерів складали: діаметр ~10,0 мм і висота ~4,0 мм, маса детектора - 0,300 г. Контейнери встановлювали по центру вісі пучка випромінювання на відстані 55 мм від гальмівної мішені. Опромінення здійснювали на електронному прискорювачі ІЕФ НАН України - мікротроні М-30 в стандартних геометричних умовах при максимальній енергії електронів 14 МеВ та середньому струмі ~6 мкА. Пучок прискорених електронів взаємодіяв з танталовою мішенню товщиною 1 мм, внаслідок чого утворювалося гальмівне випромінювання, що містило високоенергетичні гамма-кванти.

ма-кванти та фотонейтрони (у склад яких входять як теплові, так і швидкі нейтрони). Виміри наведеної активності детекторів проводили на гамма-спектрометричному комплексі SBS-40 з напівпровідниковим Ge(Li)-детектором в стандартних геометричних умовах. Виявлено, що за даних умов експерименту вміст фотонейтронів в пучку гальмівного випромінювання не перевищувала ~3%, з яких на швидкі нейтрони припадало ~2%.

Приклад 4. Аналогічно прикладу 3, але як матеріал активаційного детектора використовували склад, який містив суміш діоксиду мангану  $MnO_2$  і елементарного сіліцію (або діоксиду сіліцію  $SiO_2$ ). Відповідні ядерні реакції і характеристики продук-

тів активації використаних ізотопів наведено у таблиці 2, а гамма-спектри продуктів активації і часові режими вимірів - на Рис.2. Виявлено, що за даних умов експерименту вміст фотонейтронів в пучку гальмівного випромінювання не перевищувала ~3%, з яких на швидкі нейтрони припадало ~1,6%.

Рис.1. Фрагмент гамма-спектру продуктів активації суміші №1. ( $T_{опром.}=10$  хв.  $T_{охол.}=1$  хв.  $T_{вим.}=10$  хв.).

Рис.2. Фрагмент гамма-спектру продуктів активації суміші №2. ( $T_{опром.}=10$  хв.  $T_{охол.}=1$  хв.  $T_{вим.}=10$  хв.).

Таблиця 1

Ядерно-фізичні характеристики продуктів активації суміші №1

Тип випромінювання, що визначається	Елементарна речовина	Реакції	Продукти реакції	Пороги реакцій, МеВ	Періоди напіврозпаду	Енергії аналітичних гамма-ліній, кеВ	Квантовий вихід гамма-ліній, %
Високо енергетичні гамма-кванти	$^{55}Mn$	$(\gamma, n)$	$^{54}Mn$	10,23	312,2 діб	834,8	100
Нейтрони теплові	$^{55}Mn$	$(n, \gamma)$	$^{56}Mn$		2,579 год.	846,8 1811 2113	99 30 15,5
Нейтрони теплові	$^{27}Al$	$(n, \gamma)$	$^{28}Al$	-	2,2406 хв.	1779	100
Нейтрони швидкі	$^{27}Al$	$(n, p)$	$^{27}Mg$	1,828	9,462 хв.	844 1014	72 28

Таблиця 2

Ядерно-фізичні характеристики продуктів активації суміші № 2

Тип випромінювання, що визначається	Елементарна речовина	Реакції	Продукти реакції	Пороги реакцій, МеВ	Періоди напіврозпаду	Енергії аналітичних гамма-ліній, кеВ	Квантовий вихід гамма-ліній, %
Високо енергетичні гамма-кванти	$^{55}Mn$	$(\gamma, n)$	$^{54}Mn$	10,23	312,2 діб	834,8	100
Нейтрони теплові	$^{55}Mn$	$(n, \gamma)$	$^{56}Mn$	-	2,579 год.	846,8 1811 2113	99 30 15,5
Нейтрони швидкі	$^{28}Si$	$(n, p)$	$^{28}Al$	3,860	2,2406 хв.	1779	100

Джерела інформації:

1. В.В. Варламов, Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов. Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных. (Учебное пособие). - М.: Университетская книга, 2008. - 304с.

2. О.О. Парлаг, В.Т. Маслюк, П.П. Пуга, В.М. Головей. Каталог гамма-спектрів продуктів активації хімічних елементів гальмівним випромінюванням мікротрону. - К.: Наукова думка, 2008. - 184с.

3. A.V. Varlamov, V.V. Varlamov, D.S. Rudenko, M.E. Stepanov. Atlas of Giant Dipole Resonances. Parameters and Graphs of Photo nuclear Reaction Cross Sections. - Vienna: Intern. Atomic Energy Agency. INDS (NDS)-394. Distr. GN+NM. - 1999. - 311p.

4. Таблица 9.4. Активационный анализ на тепловых нейтронах / Новый справочник химика и технолога.

[http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/03\\_analiticheskaya\\_khimiya\\_chast\\_II/5270\(2008\)](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/03_analiticheskaya_khimiya_chast_II/5270(2008)).

5. В.М. Бычков, В.Н. Манохин, А.Б. Пашенко, В.И. Пляскин. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами: Справочник. М.: Энергоиздат, 1982. - 216с.

6. А.А. Алексеев, В.В. Андреев, В.П. Бадковский и др. Вопросы дозиметрии и радиационной безопасности на атомных электрических станциях. Учебное пособие. - Славутич: Укратоиздат, 1998. - 406с.

7. Pat. USA 3931523. Activation neutron detector. МПК<sup>5</sup> G01T3/00/ Т.С. Ambardanishvili, Kolomiitsev M.A., Zakharina T.Ya. et al; -

№05/4141054; заявл. 11.08.1973; опубл. 01.06.1976.

8. T.V. Malykhina, A.A. Torgovkin, A.V. Torgovkin et al. The research of mixed x,n-radiation field at

photonuclear isotopes production // Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Nucl. Phys. Invest. - 2008. - V.50, №5. - P.184-188.

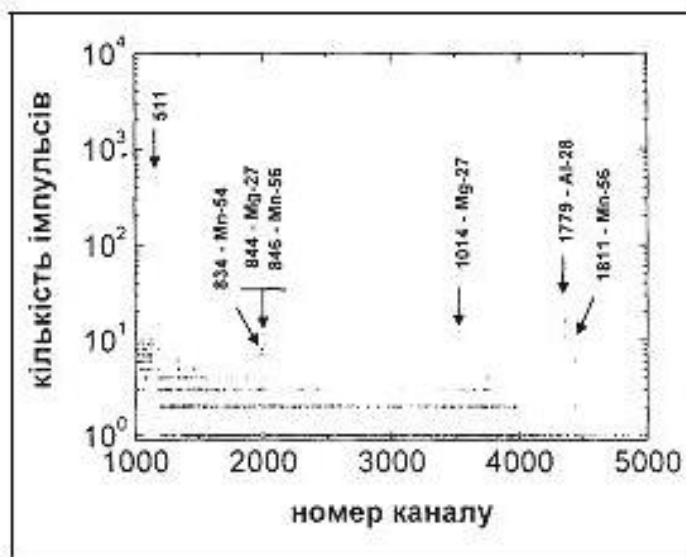


Рис.1

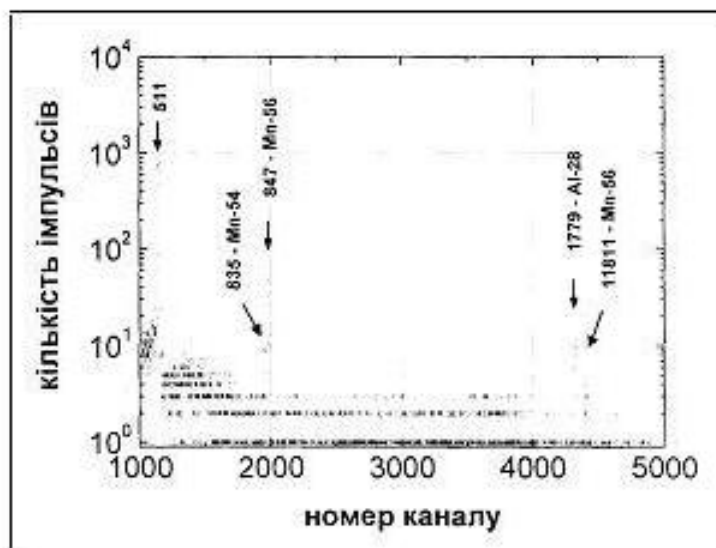


Рис.2