

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ФОТОНЕЙТРОНІВ У ГАЛЬМІВНОМУ ВИПРОМІНЮВАННІ МІКРОТРОНА М-30 АКТИВАЦІЙНИМИ ДЕТЕКТОРАМИ

**О.О. Парлаг, О.І. Лендел, В.М. Головей, В.Т. Маслюк,
Т.Й. Маринець, М.М. Биров**

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська, 21, Ужгород, 88017
e-mail: parlag@mail.uzhgorod.ua

Представлено результати вимірів вмісту фотонейтронів у пучку гальмівного випромінювання мікротрона М-30, утворених внаслідок взаємодії прискорених електронів з танталовою мішенню. Для визначення вмісту фотонів, теплових і швидких нейтронів застосовано активаційні детектори з алюмінію, а також оксидів ванадію та мангану.

Ключові слова: мікротрон, танталова мішень, гальмівне випромінювання, високоенергетичні фотони, фотонейтрони, теплові та швидкі нейтрони, активаційні детектори, гамма-спектрометрія.

Вступ

При дослідженні характеристик фотоядерних реакцій [1] та їх практичному використанні, зокрема, при виробництві радіоізоотопів, контролі ядерних матеріалів, трансмутації відпрацьованого ядерного палива тощо [2-4] широко застосовують пучки гальмівного випромінювання електронних прискорювачів.

Гальмівне випромінювання одночасно містить високоенергетичні гамма-кванти і фотонейтрони (теплові та швидкі) [5], розділити які практично неможливо. Характерною особливістю таких пучків є різке переважаєння в них гамма-квантів.

Електронний прискорювач з енергією до 30 МеВ, яка перевищує значення критичної енергії при гальмуванні електронів у важких металах та енергію максимуму гігантського резонансу у перерізах фотоядерних реакцій, являє собою універсальне джерело випромінювання: первинного – електронного, вторинного – гальмівного і нейтронного. Нейтрони виникають у процесі перетворення $e \rightarrow \gamma \rightarrow n$.

При взаємодії електронів з енергією від одиниць до десятків МеВ з металічною мішенню окрім утворення гальмівного

випромінювання відбуваються ядерні реакції типу $(e, e'n)$ -, (γ, n) -, $(\gamma, 2n)$ -, $(\gamma, 3n)$ -, $(\gamma, p+n)$. Переріз електрон-ядерної реакції у сотні разів менший від перерізу фоторозщеплення. Основний внесок у вихід нейтронів в даній енергетичній області дає (γ, n) -реакція. Вихід нейтронів за рахунок $(\gamma, 2n)$ -, $(\gamma, 3n)$ -, $(\gamma, p+n)$ - та інших реакцій менш імовірний, оскільки вони можуть відбуватися при енергіях, які у 2-3 рази перевищують енергію зв'язку нейтронів [6]. У випадку легких ядер зі значною енергією зв'язку реакціями множинного утворення частинок можна знехтувати. Для середніх ядер вихід нейтронів за рахунок вищезгаданих реакцій не перевищує декількох процентів. Однак у випадку важких ядер, для яких енергія зв'язку мала, внесок у вихід нейтронів (наприклад, для $(\gamma, 2n)$ -реакції) може становити до 30 %.

Вихід нейтронів визначається потоком гальмівного випромінювання та сумарним перерізом реакцій, що призводить до вильоту нейтронів. Ці величини, а, отже, і кількість нейтронів, утворених в мішені на один електрон, що падає, залежать від енергії електрона, матеріалу, товщини і конструкції мішені.

На рис. 1 приведені результати розрахунків енергетичних спектрів нейтронів, утворених при взаємодії електронів з танталовою (Ta) мішенню товщиною 4,09 мм [7]. Для порівняння на цьому ж рисунку приведено спектр нейтронів поділу ізоотопу ^{252}Cf [8].

На рис. 2 представлені залежності виходу фотонейтронів від енергії електронів для танталової мішені [7, 9 - 11].

Незважаючи на малий вміст у пучку теплових та швидких нейтронів, вони для низки ізоотопів дають суттєвий внесок у фотоядерні реакції. Особливо це стосується реакцій фотоподілу [12]. Тому виникає

нагальна потреба визначення вмісту фотонейтронів у пучку гальмівного випромінювання при проведенні експериментальних досліджень.

Для визначення вмісту теплових та швидких нейтронів зазвичай застосовують активаційний метод, який є найбільш придатним для дослідження полів змішаного випромінювання [13, 14].

Метою даної роботи є визначення вмісту фотонейтронів (теплових і швидких) та високоенергетичних фотонів у пучку гальмівного випромінювання мікротрона М-30 для конкретної геометрії експерименту активаційними детекторами.

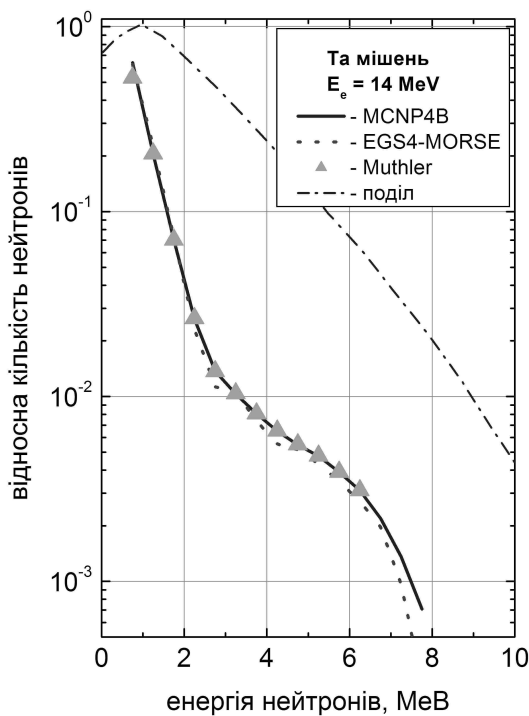


Рис. 1 Енергетичний спектр фотонейтронів, утворених при взаємодії електронів з танталовою мішенню [7].

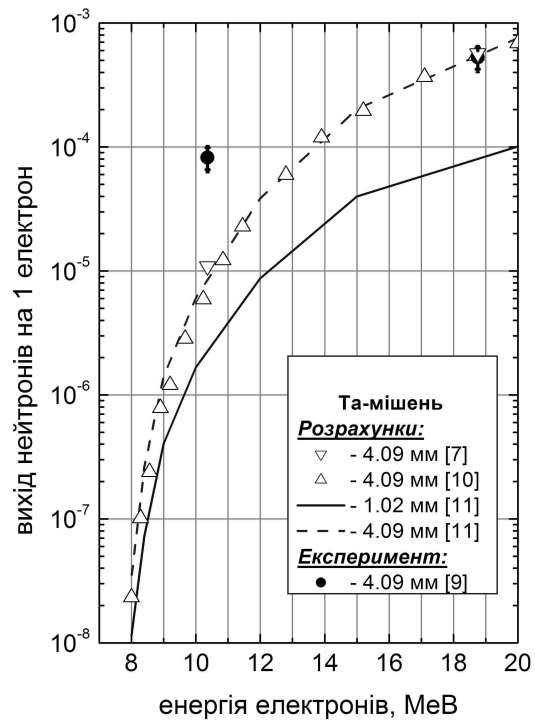


Рис. 2. Енергетична залежність виходу фотонейтронів для танталової мішені [7, 9 - 11].

Методики та результати експериментальних досліджень

Експеримент було виконано на електронному прискорювачі ІЕФ НАН України – мікротроні М-30 [1] при максимальній енергії електронів 15,3 МеВ.

Для одержання гальмівного випромінювання використовували танталову мішень.

Пороги (γ,n) -, $(\gamma,2n)$ -, $(\gamma,3n)$ - реакцій для ізоотопу ^{181}Ta , природна розповсюдженість якого складає 99,988 %, становлять 7,58; 14,22 та 22,13 МеВ, відповідно [15].

Ta-мішень товщиною 1мм розміщували на віддалі 10 мм від вузла виводу мікротрона. За таких умов утворювалася максимальна кількість високоенергетич-

них гамма-квантів та мінімальна кількість фотонейтронів [16] для області енергій гігантського дипольного резонансу.

Енергію електронів визначали шляхом вимірювання магнітного поля мікротрона методом ядерного магнітного резонансу і частоти електромагнітної хвилі магнетрона. Нестабільність енергії електронів в процесі експерименту не перевищувала 0.04 МеВ. Кількість електронів контролювали за допомогою монітора вторинної емісії, прокаліброваного по циліндру Фарадея [17].

Визначення вмісту фотонейтронів в пучку гальмівного випромінювання мікротрона М-30 проводили активаційним методом, тобто шляхом реєстрації гамма-випромінювання продуктів активації ядер матеріалів активаційних детекторів.

Основною вимогою до матеріалу, з якого складається активаційний детектор для застосування у дозиметрії змішаного випромінювання, є наявність в його складі ізотопів елементів, у наведеній активності яких присутні чіткі і рознесені за енергією гамма-лінії, що можуть бути використані для аналітичних потреб. Ці лінії мають просто виокремлюватися у гамма-спектрі на фоні ліній, утворених за каналами реакцій (γ, γ) -, (γ, n) - при опроміненні детектора високоенергетичними фотонами та реакцій (n, n') -, (n_{th}, γ) -, (n, p) -, (n, α) - при опроміненні нейтронами.

При виконанні експериментальних досліджень як матеріал активаційного детектора застосовано елементарні речовини або їх сполуки, кожна з яких містила щонайменше один ізотоп, продукти активації якого утворюються за каналами (γ, n) -, (n_{th}, γ) -, (n, p) -, (n, α) -реакцій і є мітками наявності у пучку гамма-квантів та теплових і швидких нейтронів.

Активаційні детектори з металічного алюмінію і оксидів марганцю або ванадію та сумішей $MnO_2 + Al$ і $Al + V_2O_5$ розміщували у стандартних контейнерах з кальки, які мали форму квадратів з стороною 14 мм. Контейнери встановлювали вздовж осі пучка на відстані 120 мм від гальмівної мішені (рис. 3).

Опромінення активаційних детекторів проводили при струмі пучка 7 мкА на

протязі 600 с. Інтегральна доза становила $2,67 \cdot 10^{16}$ електронів. Виміри здійснювали через 60 с після закінчення опромінення. Їх тривалість становила 600 с.

Ядерно-фізичні [1, 18-20] характеристики ізотопів, що входили до складу активаційних детекторів, наведено у табл. 1.



Рис. 3. Вигляд установки для опромінення активаційних детекторів у пучку гальмівного випромінювання.

Дослідження наведеної активності детекторів проводили методом напівпровідникової гамма-спектрометрії [1].

Виміри гамма-спектрів здійснювали на спектрометричному комплексі СЕГ-40Ge-1К з Ge(Li)-детектором об'ємом 100 см^3 . Фрагменти гамма-спектрів продуктів активації вищезгаданих детекторів наведені на рис. 4.

Для розрахунку залежності абсолютної ефективності (ϵ) від енергії гамма-квантів використано напівемпіричне співвідношення [21]:

$$\ln \epsilon = a_1 \ln E/E_0 + a_2 (\ln E/E_0)^2 + a_3 (\ln E/E_0)^3 - a_4/E^\gamma \quad (1)$$

з параметрами: $a_1 = 2,57$; $a_2 = -0,575$; $a_3 = 0,0307$; $a_4 = 3,72 \cdot 10^8$; $\gamma = 4,69$; $E_0 = 1 \text{ кеВ}$.

При проведенні гамма-спектрометричних вимірів було враховано геометричні розміри поверхні активаційного детектора, що випромінює гамма-кванти, площі ефективної поверхні детектора, віддаль від джерела до поверхні детектора (тобто було введено поправку на ефективний тілесний кут захоплення гамма-випромінювання поверхнею детектора).

Таблиця 1

Ядерно-фізичні характеристики ізоотопів, що входять у склад матеріалів активаційних детекторів, та продуктів їх активації [1, 18-20]

Ізотоп	Розповсюдженість ізотопа, %	Тип випромінювання, що активує детектор	Реакції	Продукти реакцій	Пороги реакцій, MeV	Ефективні перерізи, Барн	Періоди напіврозпаду	Енергії аналітичних гамма-ліній, кеВ	Квантовий вихід гамма-ліній, %
^{55}Mn	100	γ	(γ, n)	^{54}Mn	10,23	0,036	312,05 доби	834,848	99,98
^{51}V	99,75	n_{th}	(n, γ)	^{52}V	-	4,9	3,43 хв.	1434,06	100
^{55}Mn	100	n_{th}	(n, γ)	^{56}Mn	-	13,3	2,579 год.	846,75 1810,721	98,9 27,2
^{27}Al	100	n_{th}	(n, γ)	^{28}Al	-	0,231	2,2414 хв.	1778,85	100
^{27}Al	100	n_{f}	(n, p)	^{27}Mg	1,828	0,048	9,462 хв.	843,76 1014,44	71,8 28,0

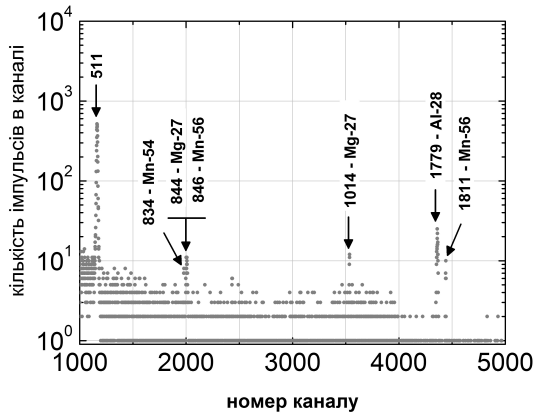


Рис. 4. Фрагмент гамма-спектру продуктів активації детектора, який складається з суміші $\text{MnO}_2 + \text{Al}_{\text{мет.}}$. ($T_{\text{опром.}} = 10$ хв. $T_{\text{охол.}} = 1$ хв. $T_{\text{вим.}} = 10$ хв.).

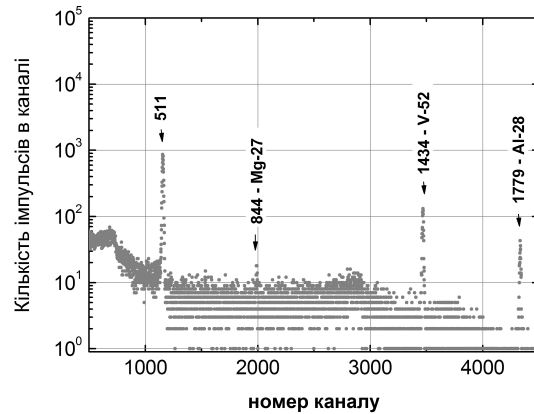


Рис. 5. Фрагмент гамма-спектру продуктів активації детектора, який складається з суміші $\text{Al}_{\text{мет.}} + \text{V}_2\text{O}_5$. ($T_{\text{опром.}} = 10$ хв. $T_{\text{охол.}} = 1$ хв. $T_{\text{вим.}} = 10$ хв.).

Статистична похибка вимірів інтенсивностей піків повного поглинання, які використовували в процесі аналізу, не перевищувала 8 %.

Теплові ($E_n < 0,05$ eV) нейтрони у пучку гальмівного випромінювання визначали за активністю радіоізоотопів ^{28}Al , ^{52}V , ^{56}Mn , а швидкі ($4,5 \text{ MeV} \leq E_n \leq 9,2 \text{ MeV}$ [20]) – за активністю ^{27}Mg . Ефективний поріг реакції $^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$ становить $\sim 4,5 \text{ MeV}$ [14].

Визначення вмісту високоенергетичних фотонів також здійснювали активаційним методом [22, 23], тобто шляхом реєстрації гамма-випромінювання радіо-

ізоотопу ^{54}Mn , утвореного за каналом (γ, n) -реакції (табл. 1). Цю реакцію можна використати для області енергій від порогу (10,23 MeV) до 18 MeV (тобто до максимальної енергії фотонів за винятком енергії зв'язку нейтрона (7,27 MeV [6]) в ізотопі, на якому відбувається реакція). Однак ^{54}Mn може утворюватися за каналом реакції $^{55}\text{Mn}(n, 2n)^{54}\text{Mn}$, переріз якої у ~ 20 разів більший за переріз (γ, n) -реакції, а поріг становить $\sim 12,5 \text{ MeV}$ [24], але максимальна енергія нейтронів, що випромінює танталова мішень, не перевищує $\sim 12 \text{ MeV}$.

Густина потоку φ_{ef} високоенергетич-

них фотонів, теплових і швидких нейтронів з енергією $E > E_{ef}$ визначали за формулою

$$\varphi_{ef} = I/\sigma_{ef}, \quad (2)$$

де σ_{ef} – ефективний переріз активації; I – швидкість реакції активації (активаційний інтеграл).

$$I = A_0 / N \cdot [1 - \exp(-\lambda \cdot t_a)], \quad (3)$$

де A_0 – питома активність радіонукліду, утвореного в активаційному детекторі, на момент закінчення опромінення; t_a – час опромінення; N – питома кількість ядер ізотопу – елемента активаційного детектора:

$$N = \eta \cdot N_A / M, \quad (4)$$

де N_A – число Авогадро ($6.023 \cdot 10^{23}$); η – розповсюдженість ізотопу в природній суміші; M – молярна маса.

Питому активність A_0 радіонукліду на момент закінчення опромінення визначали

за формулою

$$A_0 = (S \cdot k_p \cdot k_g / \varepsilon \cdot p \cdot m) \cdot [\lambda \cdot t_m / \exp(1 - \lambda \cdot t_m)] \cdot \exp(\lambda \cdot t_c), \quad (5)$$

де S – інтенсивність фотопіка продукту активації; ε – ефективність реєстрації гамма-квантів; p – вихід гамма-квантів на один розпад; k_p і k_g – поправки на самопоглинання та геометрію вимірів елементів активаційних детекторів; m – маса елемента активаційного детектора; t_m – час виміру; t_c – час витримки після активації; λ – стала розпаду радіонукліда ($\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$, де $T_{1/2}$ – період напіврозпаду радіонукліда).

При розрахунках для ізотопу ^{54}Mn , утвореного за каналом (γ, n) -реакції, використовували значення інтегрального періоду.

Усереднені значення питомої активності, швидкості реакції та густини потоку частинок, яка приведена до 1 мкА, для продуктів реакцій - елементів активаційних детекторів, представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Середні значення питомої активності, швидкості реакції та густини потоку частинок

Продукти активації	^{28}Al	^{52}V	^{56}Mn	^{27}Mg	^{54}Mn
Тип випромінювання, що вимірюється	Теплові $E_n < 0,05$ eB	Теплові $E_n < 0,05$ eB	Теплові $E_n < 0,05$ eB	Швидкі $4,5 \leq E_n \leq 9,2$ MeB	Фотони $12,25 \leq E_\gamma \leq 15,3$ MeB
Питома активність, (Бк/г)	2,396	7,081	0,431	0,1755	0,2439
Швидкість реакції, (с^{-1})	6,971E-23	1,40E-21	4,919E-21	1,251E-23	5,271E-18
Густина потоку (частинка / $\text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) до 1мкА	4,319E+1	5,698E+1	5,290E+1	3,66E+1	1,025E+7

Сумарна похибка вимірів не перевищувала 20 %. Похибки значень питомої кількості ядер ізотопів – елементів активаційних детекторів та значень інтегрального потоку електронів становили ~ 10 %.

Висновки

Проведено експериментальне дослідження вмісту високоенергетичних гамма-квантів та фотонейтронів (теплових і

швидких) у пучку гальмівного випромінювання мікротрона М-30, утвореного при взаємодії прискорених електронів ($E_e = 15,3 \text{ MeV}$) з танталовою мішенню товщиною 1 мм. Отримано експериментальні значення питомої активності в активаційних детекторах, визначені на момент закінчення опромінення, і відповідні значення швидкості протікання реакції (активаційного інтегралу) та густини потоку фотонів ($12,25 \text{ MeV} \leq E_\gamma \leq 15,3 \text{ MeV}$), теплових ($E_n < 0,05 \text{ eV}$) і швидких ($4,5 \text{ MeV} \leq E_n \leq 9,2 \text{ MeV}$) нейтронів, приведених до 1 мкА, для описаної геометрії експерименту (в точці розташування активаційних детекторів).

Результати аналізу вмісту домішкових теплових та швидких нейтронів у пучку гальмівного випромінювання мікротрона М-30 дозволять підвищити достовір-

ність визначення характеристик фотоядерних реакцій при проведенні експериментальних досліджень.

Встановлено можливість використання Mn, як матеріалу активаційного детектору, для одночасного визначення вмісту гамма-квантів і теплових нейтронів [25], а суміші Mn і Al для одночасного визначення гамма-квантів, теплових та швидких нейтронів у гальмівному випромінюванні мікротрона [26].

Робота виконана згідно договору № X-1-257 на проведення науково-дослідних робіт та створення науково-технічної продукції «Створення тканино-еквівалентних матеріалів для нейтронної та змішаної реакторної дозиметрії».

Література

1. Парлаг О.О., Маслюк В.Т., Пуга П.П., Головей В.М. Каталог гамма-спектрів продуктів активації хімічних елементів гальмівним випромінюванням мікротрона. – К.: Наукова думка. - 2008. – 184 с.
2. Malykhina T.V., Torgovkin A.A., Torgovkin A.V. 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.
3. Каретников М.Д., Козлов Л.Н., Мелешко Е.А. и др. Экспериментальный стенд для измерения выхода нейтронов из ядерных материалов под действием тормозного излучения (фотоядерный метод) // ПТЭ. – 2009. – № 5. – С. 38-46.
4. Лютиков И.А. Трансмутация атомных ядер в интенсивных потоках γ -квантов // Автореф. дисс. канд. физ.-мат. наук. НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобельцына. – Москва. - 2006. – 24 с.
5. Ковалёв В.П. Вторичные излучения ускорителей электронов – М.: Атомиздат. – 1979. – С.61.
6. Беланова Т.С., Игнатюк А.Б., Пащенко А.Б., Пляскин В.И. Радиационный захват нейтронов. Справочник // М.: Энергоатомиздат. – 1986. - 247 с.
7. Heredia R.D., Blanco J.G., Leitner M.S. Validación del código MCNP4B en el transporte acoplado de fotones, electrones y neutrones // <http://msantana.web.cern.ch/msantana/Thesis.html>
8. McCall R.C., Jenkins T.M., Shore R.A. Transport of accelerator produced neutrons in a concrete room // SLAC-PUB-2214. October 1978. – 10 p.
9. Barber W.C., George W.D. Neutron yields from target bombarded by electron // Phys Rev C – 1959. – V. 116, N 6. – P. 1551–1559.
10. Berger M.J., Seltzer S.M. Bremsstrahlung and photoneutron from thick tungsten and tantalum targets // Phys Rev C – 1970. – V. 2, N 2. – P. 621-631.
11. Seltzer S.M., Berger M.J. Photoneutron production in thick targets // Phys Rev C. – 1973. – V. 7, N 2. – P. 858–861.

12. Парлаг О.О., Маслюк В.Т., Лендел О.І., Пилипченко В.А. Особливості виміру кумулятивних виходів уламків фотоподілу актинідних ядер // Наук. вісник Ужгород. ун-ту. Сер. Фізика. - 2002. - № 11. – С. 171-176.
13. Крамер-Агеев Е.А., Трошин В.С., Тихонов Е.Г. Активационные методы спектрометрии нейтронов. - М.: Атомиздат. - 1976. – 232 с.
14. Negoita C.C. Measurement of neutron flux spectra in a tungsten benchmark by neutron foil activation method // Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor der Naturwissenschaften. Institut für Kern- und Teilchenphysik Fachrichtung Physik Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften Der Technischen Universität Dresden. - 2004. 115 p.
15. Varlamov A.V., Varlamov V.V., Rudenko D.S., Stepanov M.E. Atlas of Giant Dipole Resonances: Parameters and Graphs of Photonuclear Reaction Cross Sections. INDC(NDS)-394, IAEA NDS, 1999, pp. 1-311. <http://cdfc.sinp.msu.ru/publications/atlas.pdf>
16. Petwal V.C., Senecha V.K., Subbiah K.V. et al. Optimization studies of photo-neutron production in high Z metallic targets using high energy electron beam for ADS and transmutation // PRAMANA Journal of Physics – 2007. – V. 68, N 2. – P. 235 – 241.
17. Романюк Н.И., Лямаев В.И., Плакош Ю.Ю. и др. Пульт управления микротроном М-30 на базе персонального компьютера // Тез. докл. “VII конф. по физике высоких энергий, ядерной физике и ускорителям” - Харьков. - 2009. - С. 119-120.
18. Decay Radiation Search. Decay radiation database version of 10/25/2010. http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_desc.js
19. Таблица р- 9.4. Активационный анализ на тепловых нейтронах / Новый справочник химика и технолога. http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/
20. Furuta M., Shimizu T., Hayashi H. et al. Measurements of activation cross sections of (n,p)- and-(n,a) reactions in the energy range of 3.5-5.9 MeV using a deuterium gas target // An. Nucl. En. - 2008. - V. 35. – P. 1652.
21. Лендел О.І., Парлаг О.О., Маслюк В.Т. Напівемпіричне описання абсолютної ефективності Ge(Li)- та HPGe- детекторів для фотоподільних експериментів // Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія Фізика. – 2009. – № 25. – С. 95-99.
22. Hirayama H., Nakamura T. Measurement of bremsstrahlung spectra produced in iron and tungsten targets by 15 MeV electrons with activation detectors // Nucl. Sci.Eng. – 1973. - V. 50. – P. 248-256.
23. Tran Duc Thiep, Truong Thi An, Tran Dinh Phu, Phan Viet Cuong Activation method for measurement of bremsstrahlung photon flux produced by electron accelerator // Part. Nucl. Lett. - 2005. – V. 2 (127), N. 4. – P. 53-59.
24. Iwasaki S., Than Win, Matsuyama S., Odano N. Measurement of (n,2n) cross-sections for Sc, Mn, Cr and In between 12 and 19 MeV with activation technique// Report: JAERI Conf. Proc. - 1997. – N. 97. – P. 5.
25. Парлаг О.О., Головей В.М., Довбня А.М. та інш. Спосіб роздільного визначення вмісту гамма-квантів та теплових нейтронів у гальмівному випромінюванні електронних прискорювачів // Пат. України на корисну модель № 50868 від 25.06.2010.
26. Парлаг О.О., Головей В.М., Довбня А.М. та інш. Спосіб роздільного одночасного визначення вмісту високоенергетичних фотонів та теплових і швидких нейтронів у гальмівному випромінюванні електронних прискорювачів // Пат. України на корисну модель № 54921 від 25.11.2010.

DETERMINATION OF PHOTONEUTRONS CONTENT IN MICROTRON M-30 BREMSSTRAHLUNG BY ACTIVATION DETECTORS

**O.A. Parlag, A.I. Legyel, V.M. Holovey, V.T. Maslyuk,
T.I. Marinec, M.M. Birov**

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci.
Universytetska Str., 21, Uzhhorod, 88017
e-mail: parlag@mail.uzhgorod.ua

The results of photoneutrons measurements in the bremsstrahlung from interaction of electron beam from microtron M-30 with Ta target are presented. Activation detectors containing Al, V and Mn were used to determine the content of photons, thermal and fast neutrons.

Key words: microtron, Ta-target, bremsstrahlung, highenergy photons, photoneutrons, thermal and fast neutrons, activation detectors, gamma-spectrometry.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОНЕЙТРОНОВ В ТОРМОЗНОМ ИЗЛУЧЕНИИ МИКРОТРОНА М-30 АКТИВАЦИОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

**О.А. Парлаг, А.И. Лендьел, В.М. Головей, В.Т. Маслюк,
Т.И. Маринец, М.М. Биров**

Институт электронной физики НАН Украины
ул. Университетская, 21, Ужгород, 88017
e-mail: parlag@mail.uzhgorod.ua

Представлены результаты измерения содержания фотонейтронов в пучке тормозного излучения микротрона М-30, полученные в результате взаимодействия ускоренных электронов с танталовой мишенью. Для определения содержания фотонов, тепловых и быстрых нейтронов применялись активационные детекторы, содержащие алюминий, а также оксиды ванадия и марганца.

Ключевые слова: микротрон, танталовая мишень, тормозное излучение, высокоэнергетические фотоны, фотонейтроны, тепловые и быстрые нейтроны, активационные детекторы, гамма-спектрометрия.