

# ЗАРЯДОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ АКТИВАЦІЙНИХ ІНТЕГРАЛІВ $(n\gamma)$ - ТА $(n\beta)$ – КОМПОНЕНТ ПОТОКУ НЕЙТРОНІВ ІЗ КОНВЕРТОРІВ “ГАММА -КВАНТ-ФОТОНЕЙТРОН”

**М.В. Стець, Д.І. Сікора, М.В. Гошовський, Г.Ф. Пітченко, Й.Й. Гайніш**

Інститут електронної фізики Національної академії наук України,  
88016, м. Ужгород, вул. Університетська, 21

Приведено експериментальні дані зарядових залежностей активаційних інтегралів  $(n\gamma)$ - та  $(n\beta)$  – компонент потоку нейтронів для конверторів “ $\gamma$ -квант-фотонейтрон” модульного типу (матеріали конверторів:  $D_2O$ , Be, Fe, Zn, Se, Mo, Cd, In, Sb, Te, I, W, Hg, Pb), та фону прискорювача мікротрона М-30. Експеримент здійснено в інтервалі енергій прискорених електронів 14-24 МеВ. Для визначення активаційних інтегралів  $(n\gamma)$  та  $(n\beta)$  – компонент потоку нейтронів здійснено опромінення та гамма-спектрометрію активаційних детекторів Al, Si та Mn.

**Проблематика.** На величину, спектральний склад та просторовий розподіл потоків вторинного випромінювання електронних прискорювачів (в першу чергу гальмівних гамма-квантів та нейтронів) одночасно діють багато факторів, зокрема: величина струму прискорених електронів, максимальна енергія гальмівного випромінювання (котра визначається енергією  $E_e$  прискорених електронів), тип матеріалу (атомний номер  $Z$ ), форма, розміри, маса конструктивних матеріалів, тощо[1-3]. В задачах нейтронно-активаційного аналізу елементного складу речовини, та радіаційних дослідженнях, де використовуються нейтрони, важливе значення мають знання певних інтегральних характеристик фотонейтронних конверторів (вузлів, в яких відбувається конверсія гальмівного гамма-кванта у фотонейтрон), зокрема: потоків нейтронів: теплової  $(n,\gamma)$  – компоненти повного спектру нейтронів; резонансної  $(n\gamma)$  – компоненти повного спектру нейтронів;-швидкої  $(n\beta)$  – компоненти повного спектру нейтронів; оцінка “жорсткості” (вмісту більш енергетичної компоненти в повному спектрі нейтронів)

потоку нейтронів. В певній мірі проблематика цієї цікавої предметної області вже розглядалась в [5,6,10], де розглядались і отримані експериментальні результати.

Зараз ми приведемо дані для порівняльної оцінки зарядових залежностей активаційних інтегралів  $(n\gamma)$  – та  $(n\beta)$  – компонент потоку нейтронів із конверторів “ $\gamma$ -квант-фотонейтрон” модульного типу (матеріали конверторів:  $D_2O$ , Be, Ti, Fe, Zn, Se, Mo, Cd, In, Sb, Te, I, W, Hg, Pb), та нейтронного фону мікротрона. Знання зарядових залежностей (залежностей значень активаційних інтегралів від значень заряду матеріала конвертора) має самостійне значення, позаяк заряд є важливим параметром в ядернофізичних процесах [ 4 ].

**Експеримент.** Експеримент здійснено для енергій прискорених електронів 14,71; 17,51; 18,21; 19,41; 23,92 МеВ на мікротроні М-30 ІЕФ НАН України.

Активаційні інтеграли визначались гамма-спектрометрично. Вимірювання наведеної гамма – активності АД виконувались на GE(Li) – детекторах різних типів ДГДК, та аналізаторі NTA – 512В. Для визначення дози електронів Д

використовувався монітор вторинної емісії електронів.

Кількісно значення активаційного інтегралу визначалось із виразу  $\Pi_d = [f\sigma]$ ,

$$de[f_n\sigma] = \Delta S \left( \frac{N_a}{M} \cdot c \cdot K \cdot \Theta \cdot n \cdot \varepsilon \frac{\Omega}{4\pi} \cdot \beta \cdot \Pi_K \right) \cdot \frac{D_n}{D}$$

$$\Pi_K = \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot T_i}) \cdot e^{-\lambda T_D} \cdot (1 - e^{-\lambda T_C})$$

$$\lambda = \frac{0,693}{T_{1/2}}; \Delta S = \sum_{i=1}^n N_i - \Phi;$$

$$\lambda = \frac{\ln}{T_{1/2}} - \text{стала розпаду};$$

$T_{1/2}$  – період напіврозпаду досліджуваного гамма – активного нукліду;  $T_i$  – тривалість опромінення;  $T_D$  – тривалість охолодження;  $T_C$  – тривалість виміру;  $\sigma(E)$  – переріз відповідної ядерної реакції;  $\Delta S$  – площа фотопіка;  $\Phi$  – площа під фотопіком.  $c$  – концентрація елемента в зразкові активаційного детектора,  $\Theta$  – ізотопний вміст;  $K$  – маса зразка активаційного детектора;  $\Omega/4\pi$  – відносний тілесний кут;  $\varepsilon$  – абсолютна фотоефективність;  $\beta$  – поправка на самопоглинання гамма-квантів [7].

Видно, що активаційний інтеграл є носієм інформації про спектральний склад потоків нейтронів.

Вираз для  $\Pi_d$  залежить від дози  $D$  опромінення. Для мікротрона (та інших прискорювачів електронів)  $D = k \cdot I \cdot T_i$ , де  $k$  – коефіцієнт пропорційності;  $I$  – струм прискорених електронів. Оскільки доза  $D$  в різних експериментальних циклах, як правило різна, здійснено нормування експериментальних даних на дозу  $D_n = 1$  мкА).

Визначались наступні активаційні інтеграли:

$\Pi_{1d}$  – активаційний інтеграл із значенням  $\sigma$  ( $n\gamma$ ) для реакції Al 27 ( $n\gamma$ ) Al 28 (реакція на теплових та резонансних нейтронах; переріз реакції – 0,16 барн; резонансний інтеграл – 0,18 барн; енергія основного резонансу - 5800 еВ);

$\Pi_{2d}$  – активаційний інтеграл із значенням  $\sigma$  ( $n\gamma$ ) для реакції Mn 55 ( $n\gamma$ ) Mn 56 (реакція на теплових та резонансних нейтронах; переріз реакції – 14 барн; резонансний інтеграл – 14 барн; енергія основного

резонансу – 337 еВ- ( $n\gamma$ )-компонента потоку нейтронів;

$\Pi_{3d}$  – активаційний інтеграл із значенням  $\sigma$  ( $n\gamma$ ) для реакції Al 27 ( $n\gamma$ ) Al 28 (реакція на швидких нейтронах; поріг реакції – 1,83 МеВ; переріз реакції – 74 мбарн (для нейтронів з енергією 14 МеВ);

$\Pi_{4d}$  – активаційний інтеграл із значенням  $\sigma$  ( $n\gamma$ ) для реакції Si 28 ( $n\gamma$ ) Al 28 (реакція на швидких нейтронах; поріг реакції – 3,86 МеВ; переріз реакції – 260 мбарн (для нейтронів з енергією 14 МеВ)[8,9].

Вибір активаційних детекторів (АД- (Si, Al, Mn) для визначення активаційних інтегралів зобумовлений зручними сталими розпаду, а також їх відносною доступністю. Слід завважити, що вказані хімічні елементи є типовими представниками елементного складу речовини, як з точки зору розповсюдженості в природі, так із точки зору типовості їх ядерно-фізичних констант. ). АД розташувалися в плоскій касеті, що оберталась на відстані 10 см від осі пучка гальмівних квантів, під кутом  $90^\circ$  до осі пучка. Цим задавалась контрольна площина вимірювання. Окремо вимірювався фон (нейтронний фон “прискорювач + гальмівна мішень”). Більш детально методика визначення активаційних інтегралів описана в [5,6].

#### Аналіз отриманих даних.

**Висновки.** В [10] приведено в графічному виді енергетичні залежності значень активаційних інтегралів  $\Pi_1$ ,  $\Pi_3$ ,  $\Pi_4$ . Зараз ми розглядаємо іншу систематизацію – зарядові залежності нормованих на дозу активаційних інтегралів  $\Pi_{1d}$ ,  $\Pi_{2d}$ ,  $\Pi_{3d}$ ,  $\Pi_{4d}$ . Дані для конверторів форми  $3 \times 1 \times 1$  приведено на рис.1- рис.18. Розмірність всіх активаційних інтегралів  $\Pi$  – нейтрон \*барн/( $\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ). Очевидно, що така систематизація дає нову інформацію, зокрема: вказує на немонотонний хід зарядових залежностей; наявність певної структури в області  $Z = 40-50$ ; суттєву відмінність кількісних значень  $\Pi_{2d}$  від значень інших інтегралів.

Отримані дані використовуються в задачах активаційного аналізу на мікротроні М-30.

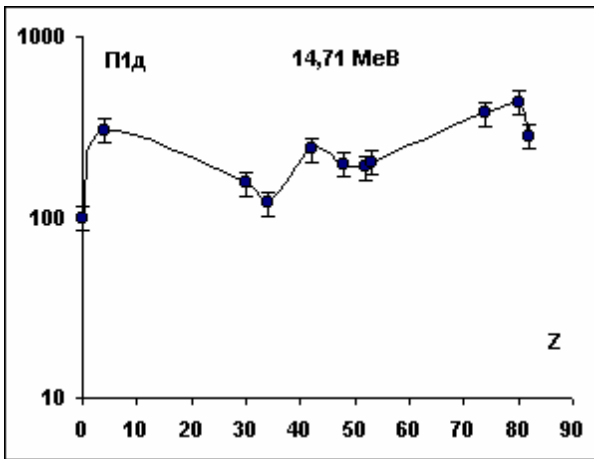


Рис.1. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

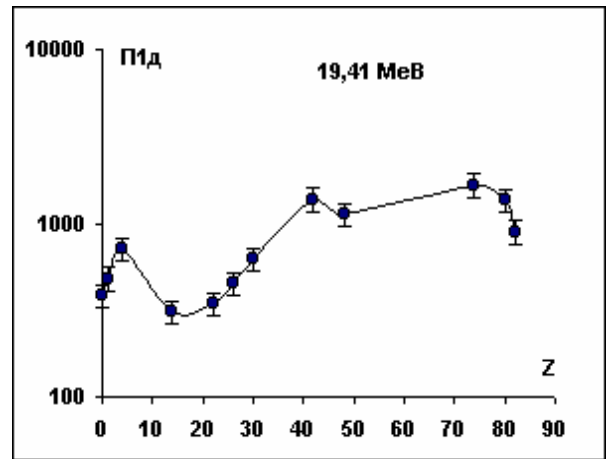


Рис.4. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

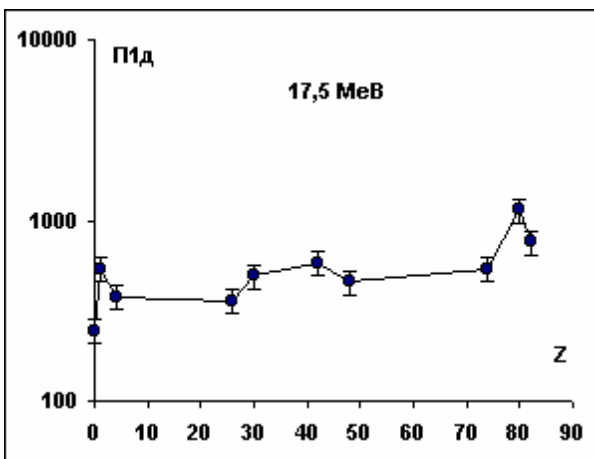


Рис.2. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

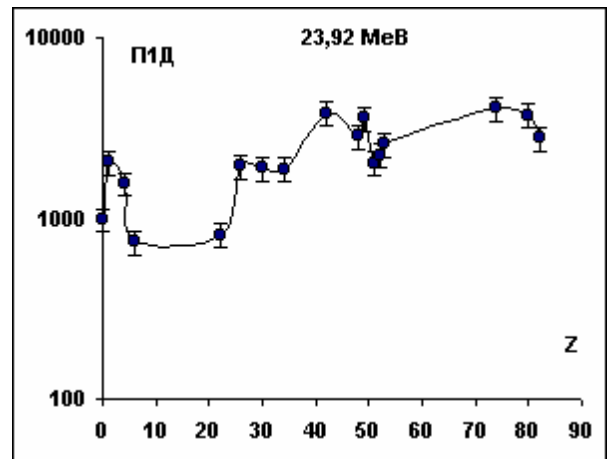


Рис.5. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

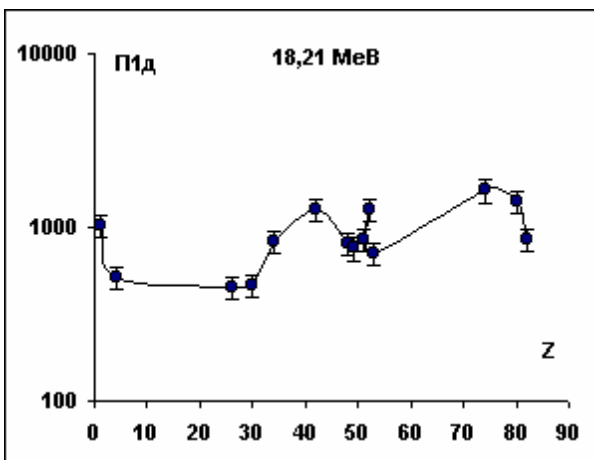


Рис.3. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

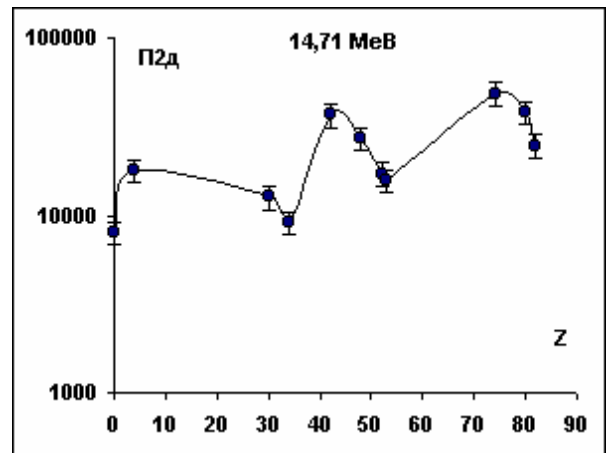


Рис.6. Залежність активаційного інтеграла П1д (( $n\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-Мп.

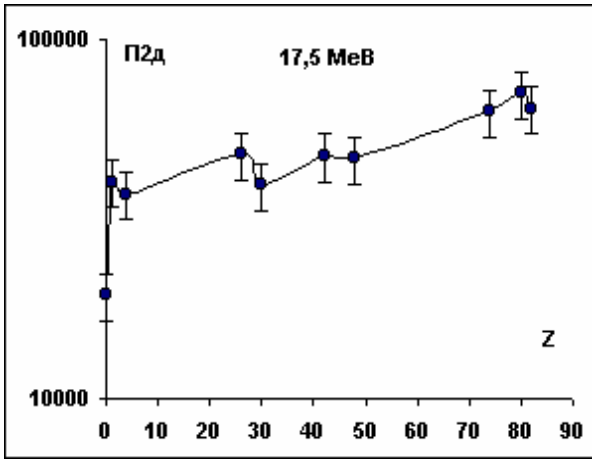


Рис.7. Залежність активаційного інтеграла П2д (( $\nu\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-Мп.

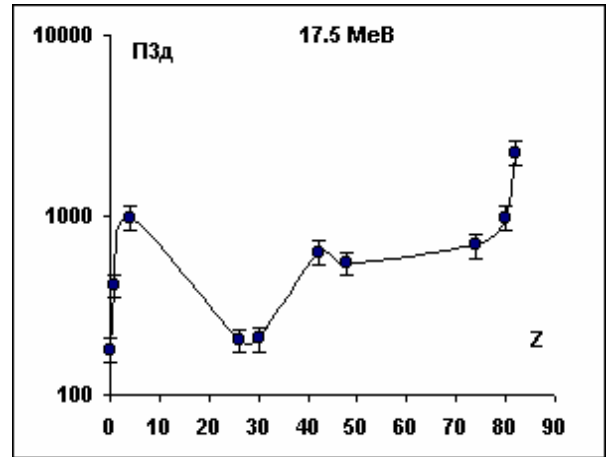


Рис.10. Залежність активаційного інтеграла П3д (( $\nu p$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

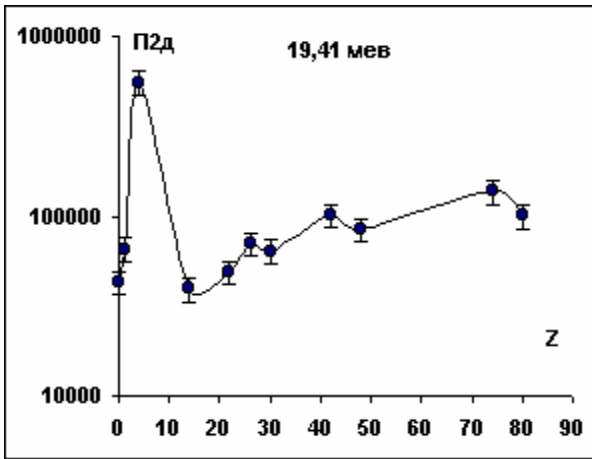


Рис.8. Залежність активаційного інтеграла П2д (( $\nu\gamma$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-Мп.

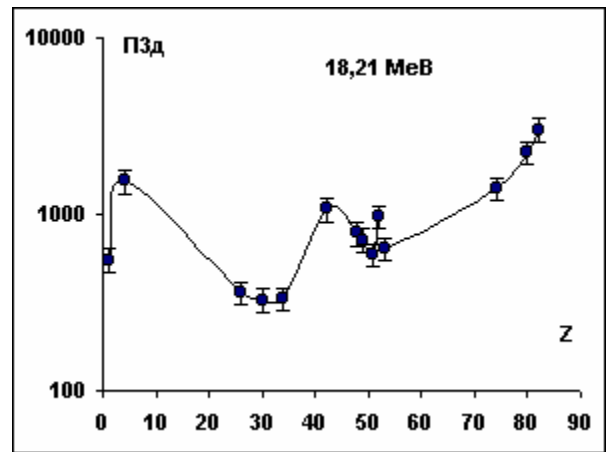


Рис.11. Залежність активаційного інтеграла П3д (( $\nu p$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

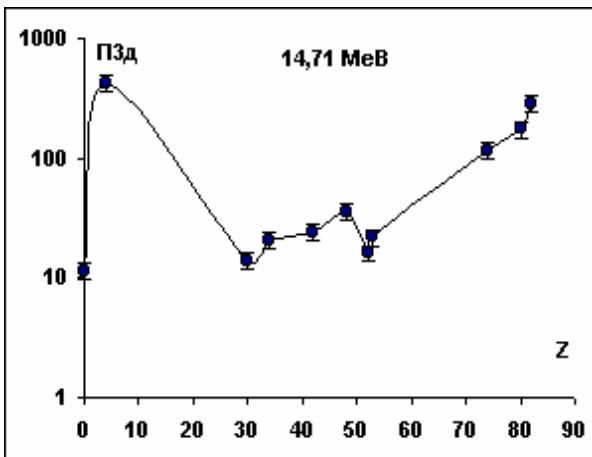


Рис.9. Залежність активаційного інтеграла АД-АІ. П3д (( $\nu p$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-Мп.

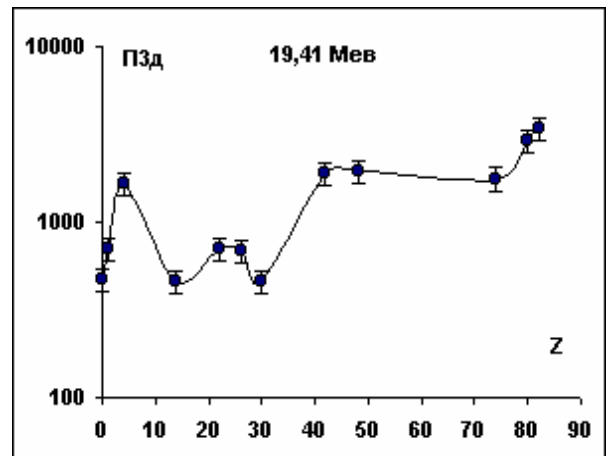


Рис.12. Залежність активаційного інтеграла П3д (( $\nu p$ )-компонента) від заряду  $Z$  конвертора. АД-АІ.

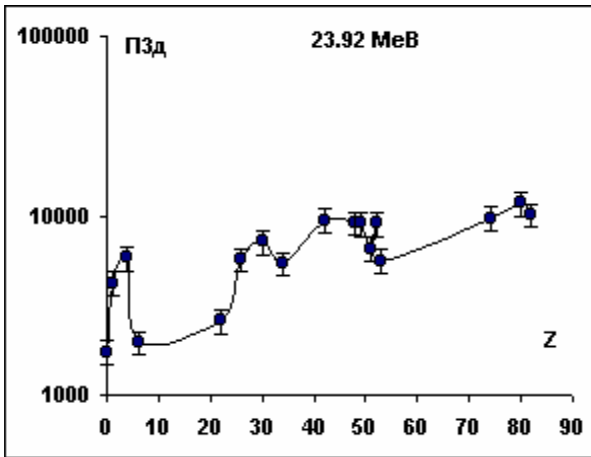


Рис.13. Залежність активаційного інтеграла ПЗд ((np)-компонента) від заряду Z конвертора АД-Al.

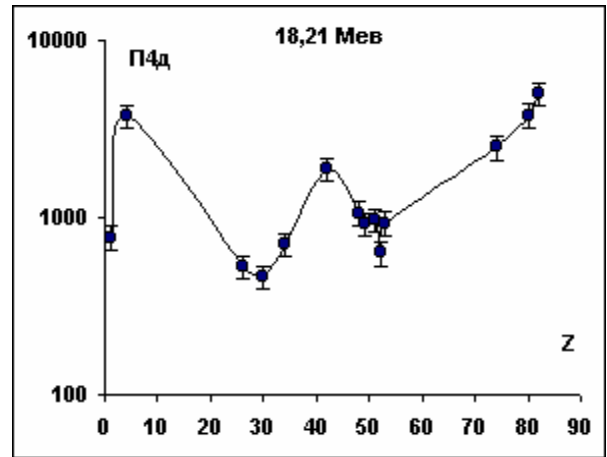


Рис.16. Залежність активаційного інтеграла П4д ((np)-компонента) від заряду Z конвертора. АД-Si.

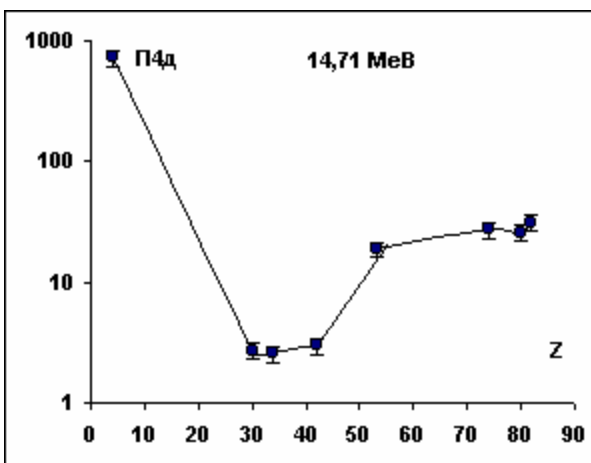


Рис.14. Залежність активаційного інтеграла П4д ((np)-компонента) від заряду Z конвертора. АД-Si.

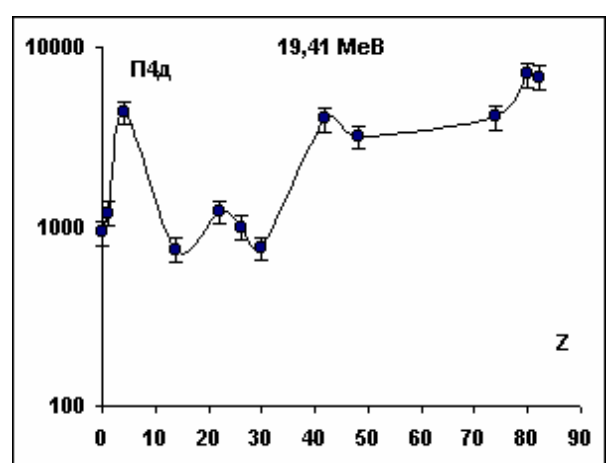


Рис.17. Залежність активаційного інтеграла П4д ((np)-компонента) від заряду Z конвертора. АД-Si.

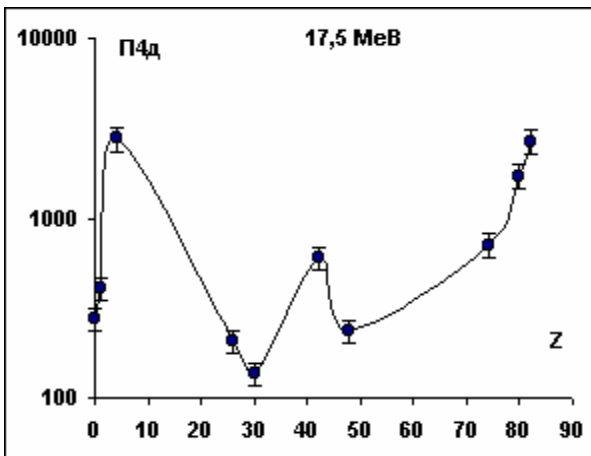


Рис.15. Залежність активаційного інтеграла П4д ((np)-компонента) від заряду Z конвертора. АД-Si.

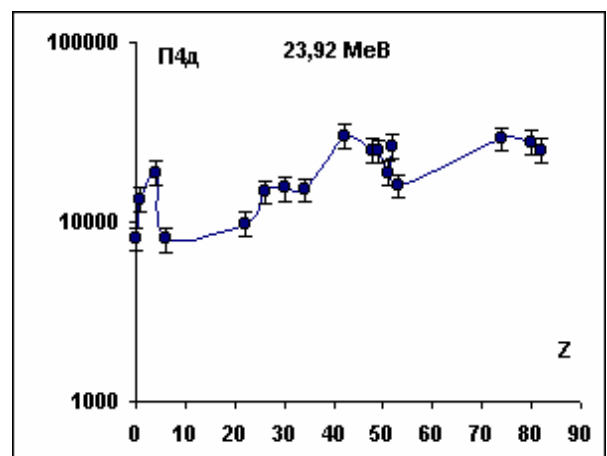


Рис.18. Залежність активаційного інтеграла П4д ((np)-компонента) від заряду Z конвертора. АД-Si.

### Література

1. Ковалёв В.П. Вторичные излучения ускорителей электронов. - М: Атомиздат, 1979.
2. Ганжа А.П. Конверторы нейтронов электронных ускорителей. // Деп. ВИНТИ – 3 – 62 – 84, 1984.

3. Дробинин А.В и др. Фотонейтроны из толстых конверторов  $D_2O$ , Be и Pb при  $E_{max}=15$  MeV // Атомная энергия. – т. 53. – С. 398-399.
4. Власов Н.А. Нейтроны. – М: Наука, 1971. – 552 с.
5. Применение микротрона М-30 для изучения некоторых фотоядерных реакций области ЕI-гигантского резонанса. Отчёт УжО ИЯИ АН УССР, № гос. регистр. 81044505, Ужгород, 1985, раздел б.
6. Исследование процессов фотовозбуждения и распада ЕI-гигантского резонанса атомных ядер. Отчёт №01.86005.9807 УжО ИЯИ АН УССР, Ужгород, 1989, С. 134-198.
7. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовые излучения радио-активных нуклидов. – М.: Атомиздат, 1977. – 400 с.
8. Бычков В.М. и др. Сечения пороговых реакций, вызываемых нейтронами. Справочник. - М: Энергоиздат, 1982. - 216 с.
9. Беланова Т.С. и др. Радиационный захват нейтронов. Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1982. – 248 с.
10. Стець М.В., Сікора Д.І. Енергетичні залежності активаційних інтегралів ( $n\gamma$ )-та ( $np$ ) – компонент потоку нейтронів із конверторів “квант-фотонейтрон“ в інтервалі енергій електронів 14-24 MeV микротрону М-30 // Науковий вісник Ужгородського Університету. Сер. Фізика. – 2005. – Вип.18. – С. 47-56.

## **NEUTRON FLUENCE ( $n\gamma$ )- AND ( $np$ ) –COMPONENTS CHARGE DEPENDENCES OF THE ACTIVATION INTEGRALS FOR THE “GAMMA-QUANT-PHOTONEUTRON” CONVERTORS**

**M.V.Stets, D.I. Sikora, M.V. Hoshovskij, G.F.Pitchenko, J.J.Hajnish**

Institute of Electron Physics, Ukrainian National Academy of Sciences  
21 Universitetska str., Uzhhorod, 88016, Ukraine

The experimental data of the charge dependence of the activation integrals ( $n\gamma$ ) and ( $np$ ) –components of the neutron fluence–components for the modul type “gamma-quant-photon neutron” convertors (convertors materials -  $D_2O$ , Be, Ti, Fe, Zn, Se, Mo, Cd, In, Sb, Te, I, W, Hg, Pb) and the microtron M-30 background are given. The experiment is realized in the interval 14- 24 MeV of the accelerated electrons. The irradiation and gamma – spectrometry of the Al-, Si-, and Mn - activation detectors for the activation integrals ( $n\gamma$ ) and ( $np$ ) – of the neutron fluence–components determination is realized.