

NEUTRON FILTERED BEAM TECHNIQUE AT THE KYIV RESEARCH REACTOR (KRR)

Description

The neutron filter technique is characterized by the transmission of neutron beams emanating from nuclear research reactors through relatively thick (up to 2–2.5 m) layers of materials with deep interference minimums in the total neutron cross sections. As a result of passing through these interference minimums, narrow energy range "filtered" neutrons emerge as quasi-monochromatic beams. Figure 1 below provides a cross-sectional view of the proposed neutron filter as located in the reactor's horizontal experimental channel.

Quasi-monochromatic neutron beams emerge from the filters with the following energies and half-widths: $E_n(\text{keV}) = 1.86 (1.46), 3.57 (1.68), 7.5 (0.1), 12.67 (1.2), 24.34 (1.8), 56.37 (0.55); 58.8 (2.7), 133.3 (2.8), 148.3 (14.8)$.

Innovative Aspect and Main Advantages

The KRR has specialized in neutron filters for more than 20 years, with a very significant amount of knowledge and experience accumulated—characterized by the following:

- The filtered neutron beams emerging are of among the highest flux values in the world for the kiloelectron volt energy range: 105–108 neutrons/sec·cm². This provides an opportunity to conduct unique and very precise measurements.
- Large quantities of highly enriched (stable) iso-topes (such as ⁵²Cr, ^{54,56,57}Fe, ^{58,60}Ni, etc) are available at the KRR facilities for designing and constructing specific energy-range filters which provide very high neutron fluxes within narrow (i.e., "clean") energy bands.

Areas of Applications

1. High precision measurements (0.1–0.01 %) of total and partial cross sections for fundamental neutron-nuclear investigations.
2. Precise measurements (to 1 %) of neutron cross sections to obtain averaged nuclear parameters ($\sigma_t, \sigma_s, \sigma_p, \sigma_f, S_o, S_1, S_2, R_o, R_1, D, \langle \Gamma_\gamma \rangle$).
3. Measurements of neutron capture gamma-spectra.
4. Measurements of σ_{inel} for the first excited levels of heavy nuclides.
5. Measurements of activation cross sections.
6. Isomeric ratio investigations.
7. Doppler-Effect Investigations.
8. Time-of-flight method used for precise cross section measurements of $\sigma_p, \sigma_\gamma, \sigma_{inel}$.
9. Research of radiation damage energy dependence in materials.
10. Neutron radiography and tomography.
11. Biomedical investigations.
12. Neutron and Boron-neutron capture therapy.
13. Measurements of the average energy loss $W(E)$ for ion-pair generation.

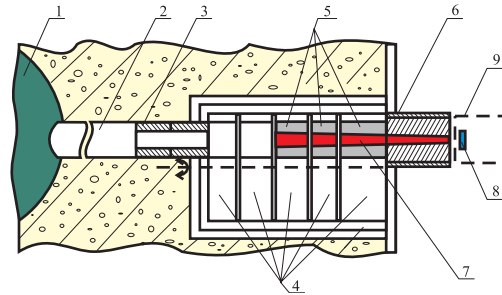


Fig. 1. Schematic of neutron filtered beam facility (1 – beryllium reflector; 2 – horizontal channel tube; 3 – preliminary collimator; 4 – beam shutter disks; 5 – filter-collimator assembly; 6 – outer collimator; 7 – filter components; 8 – research samples; 9 – device for samples removing.)

14. Prompt Gamma-ray Activation Analysis (PGAA).
 15. Development of standard fluxes for neutron-dosimetry.
 16. Energy calibration of proton recoil counters.
- (1–8 refer to scientific research areas, while 9–16 pertain to technological applications)

Stage of Development

Naturally-occurring and enriched isotopes used in the development of neutron filters include:

Natural: Si, Al, V, Sc, S, Mn, Fe, B, Ti, Mg, Co, Ce, Rh, Cd, LiF.
Enriched: ⁵²Cr (99.3), ⁵⁴Fe (99.92), ⁵⁶Fe (99.5), ⁵⁷Fe (99.1), ⁵⁸Ni (99.3), ⁶⁰Ni (92.8–99.8), ⁶²Ni (98.04), ⁸⁰Se (99.2), ¹⁰B (85), ⁷Li (90).

Three horizontal channels at the KRR are currently equipped with such neutron filters and with experimental installations for the precise measurement of total, scattering and capture cross sections. There is also the possibility to study capture gamma ray spectra with a Ge spectrometer characterized by its high resolution and angle distribution of scattered neutrons. Each of the filters is easily replaced by another to meet beam characteristic requirements, and the development of new filters is currently in progress for producing neutron energies up to 1000 keV.

Contact Details

Olena Gritzay, Ph.D.
 Institute for Nuclear Research National Academy of Sciences of Ukraine
 Neutron Physics Department
 Prospect Nauky, 47, Kyiv 03680, UKRAINE
phone: (380-44) 525-3987; **fax:** (380-44) 525-4463
E-mail: ogritzay@kinr.kiev.ua

ТЕХНІКА НЕЙТРОННИХ ФІЛЬТРОВАНИХ ПУЧКІВ НА КИЇВСЬКОМУ ДОСЛІДНИЦЬКОМУ РЕАКТОРІ (КДР) ДЛЯ НАУКОВИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЦІЛЕЙ

Огляд пропозиції

Головна ідея методу нейтронних фільтрів полягає в пропусканні спектра нейтронів реактора крізь товсті шари матеріалів (до 2–2,5 м), ядра яких мають глибокі інтерференційні мінімуми в повних перерізах взаємодії з нейтронами. Крізь ці мінімуми проходять нейтрони певних енергій, які створюють достатньо вузькі (по енергії) квазі-моноенергетичні пучки.

Типовий вигляд конструкції нейтронного фільтру на горизонтальному експериментальному каналі реактора представлено на Рис. 1.

На виході такої системи ми отримуємо нейтронні пучки з такими енергіями та ширинами на пів-висоті: $E_n(\text{keV}) = 1,86(1,46), 3,57(1,68), 7,5(0,1), 12,67(1,2), 24,34(1,8), 56,37(0,55); 58,8(2,7), 133,3(2,8), 148,3(14,8)$.

Інноваційний аспект та основні переваги

Розвиток техніки нейтронних фільтрів на КДР продовжується понад 20 років, при цьому накопичено великий експериментальний досвід. Головні особливості, що складають цей розвиток полягають у наступному:

- Фільтровані пучки є високо інтенсивними. Щільність нейтронів досягає 10^5 – 10^8 нейтронів/см²·сек. В світі існує дуже мало нейтронних моно-енергетичних джерел такої інтенсивності в кіло-електрон-вольтній області енергій. Такі інтенсивності створюють можливості для виконання унікальних експериментів та експериментів з високою точністю.
- Для створення фільтрів ми маємо в розпорядженні значні кількості високо збагачених ізотопних (стабільних) матеріалів (⁵²Cr, ^{54,56,57}Fe, ^{58,60}Ni та ін.). Саме це дозволяє формувати нейтронні фільтри високої інтенсивності та відмінної якості.

Галузь застосування

Головні напрямки наукових досліджень та прикладних задач, де фільтровані нейтрони дуже ефективні, є такими:

- Вимірювання з високою точністю (0,1–0,01 %) повних та парціальних нейтронних перерізів для дослідження фундаментальних характеристик нейтрон-ядерної взаємодії.
- Точні вимірювання (до 1 %) нейтронних перерізів, отримання усереднених параметрів ядер ($\sigma_n, \sigma_p, \sigma_f, S_0, S_1, S_2, R_0, R_1, D, \langle \Gamma \rangle$).
- Вимірювання гамма-спектрів захвату нейтронів з фіксованою середньою енергією.
- Вимірювання σ_{inel} для перших збуджених станів важких ядер.
- Вимірювання перерізів активації.
- Вивчення ізомерних відношень.
- Вивчення ефекту Доплера.
- Використання в часо-прольотному методі для отримання точних значень перерізів $\sigma_p, \sigma_f, \sigma_{inel}$.
- Дослідження енергетичної залежності величин радіаційних ушкоджень матеріалів.
- Нейтронна радіографія та томографія.
- Біомедичні дослідження.
- Нейтронна та боро-нейтронзахватна терапія.
- Вимірювання середніх енергетичних витрат $W(E)$ при створенні йонної пари в залежності від енергії.

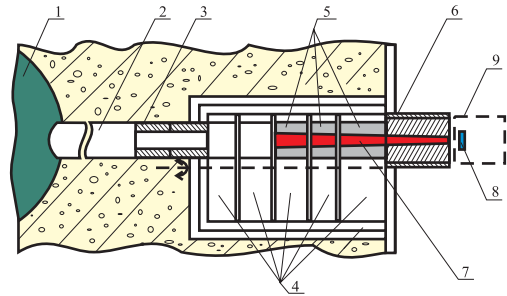


Рис. 1. Конструкція нейтронного фільтру для формування квазі-моноенергетичного пучка: 1 – берилієвий рефлектор; 2 – трубопровід горизонтального каналу; 3 – попередній коліimator; 4 – поворотні диски шибера пучка; 5 – колімуючі пристрої фільтру; 6 – зовнішній коліimator; 7 – компоненти фільтру; 8 – дослідний зразок; 9 – пристрій для пересування зразків

- Гамма-променеви елементний аналіз на миттєвих нейтронах (PGAA).
- Створення стандартних нейтронних полів для задач нейтронної дозиметрії.
- Енергетичне калібрування нейтронних лічильників по протонах віддачі.

Тут пункти 1–8 стосуються наукових досліджень, пункти 9–16 відносяться до технологічних застосувань.

Стадія розробки

Перелік матеріалів з природних речовин та збагачених ізотопів, що було використано для створення нейтронних фільтрів складається із наступного:

Природні елементи: Si, Al, V, Sc, S, Mn, Fe, B, Ti, Mg, Co, Ce, Rh, Cd, LiF.

Збагачені ізотопи: ⁵²Cr (99,3), ⁵⁴Fe (99,92), ⁵⁶Fe (99,5), ⁵⁷Fe (99,1), ⁵⁸Ni (99,3), ⁶⁰Ni (92,8–99,8), ⁶²Ni (98,04), ⁸⁰Se (99,2), ¹⁰B (85), ⁷Li (90).

Зараз на КДР три горизонтальні канали обладнані такими нейтронними фільтрами, а також експериментальними установками для точних вимірів нейтронних перерізів (повного, розсіяння та захвату). Крім цього, є можливості вивчати гамма-спектри захвату нейтронів з допомогою Ge-спектрометра високої роздільної здатності, а також кутові розподіли розсіяних нейтронів. Кожен з фільтрів без істотних труднощів можна видалити з каналу і замінити на інший з потрібною енергією. Процес створення нових фільтрів продовжується, зокрема для енергій до 1000 кеВ.

Контактна інформація

Інститут ядерних досліджень НАН України
Відділ нейтронної фізики
Проспект Науки, 47, Київ 03680, Україна
Олена Грицай
Тел.: 380 44 525 3987; Факс: 380 44 525 4463,
E-mail: ogritzay@kinr.kiev.ua