

Секция 5

ЯДЕРНЫЕ ДАННЫЕ

В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА

А. Ю. Абрамова¹, С. С. Бельшев²

¹ Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова, физический факультет

² Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д. В. Скобельцина
E-mail: anya.abramova@mail.ru

Работа посвящена созданию системы для расчета эффективности полупроводникового гамма-спектрометра, использующегося в методике гамма-активационного эксперимента для измерения спектров гамма-квантов. Созданные программы позволяют рассчитывать эффективность спектрометра в зависимости от энергии гамма-квантов в произвольной геометрии и с учетом поглощения внутри источника.

Задача была решена с помощью моделирования экспериментальной установки методами Монте-Карло. Создана модель HPGe детектора Canberra GC3019. Код программ для моделирования написан на языке C++ с использованием библиотек GEANT4. Для калибровки были про-

ведены серии измерений различных источников (²⁴¹Am, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹³³Ba, ¹⁵²Eu, ⁴⁴Sc, ⁹⁴Nb, ²²Na, ⁴⁴Ti) со смещением осей и с алюминиевыми поглотителями различной толщины. Параметры модели были оптимизированы с помощью алгоритма Метрополиса – Гастингса.

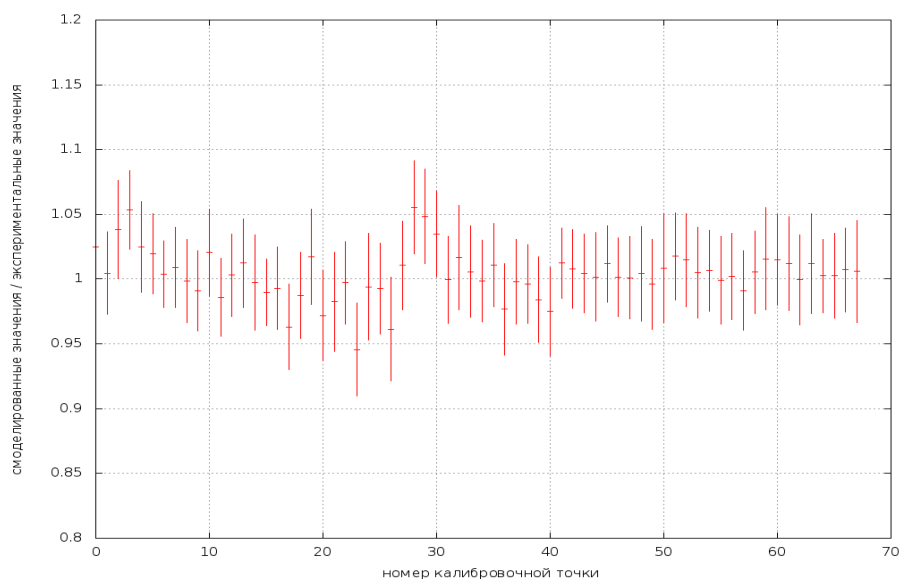
Смоделированные значения абсолютной эффективности спектрометра согласуются с экспериментальными данными с точностью лучше 5 % в диапазоне энергий от 60 до 1500 кэВ для различных геометрий измерения.

Сравнение смоделированных значений эффективности детектора с калибровочными данными

Список литературы

1. Geant4 - a simulation toolkit / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. Vol. 506, no. 3. P. 250–303.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900203013688>



SIMULATION OF THE SEMICONDUCTOR GAMMA-RAY SPECTROMETER

A. Abramova¹, S. Belyshev²

¹Lomonosov Moscow State University,
faculty of physics

²Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics,
Lomonosov Moscow State University
E-mail: anya.abramova@mail.ru

This research is devoted to the creation of a system for calculating the efficiency of semiconductor gamma-ray spectrometer used in the method of gamma-activation experiment to measure the gamma-ray spectra. Software is used to calculate the absolute efficiency of the detector for arbitrary measurement geometries, with absorption in the source itself and its geometric shape.

This was achieved using the Monte-Carlo simulation of experimental setup. A model of HPGe detector Canberra GC3019 was elaborated. Program code was written in C++ using GEANT4 package. A series of measurements of a variety sources with displacement axles and aluminum absorbers in different thickness were carried out for calibration. (²⁴¹Am, ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs, ¹³³Ba, ¹⁵²Eu, ⁴⁴Sc, ⁹⁴Nb, ²²Na, ⁴⁴Ti). The model parameters were optimized using the Metropolis-Hastings algorithm.

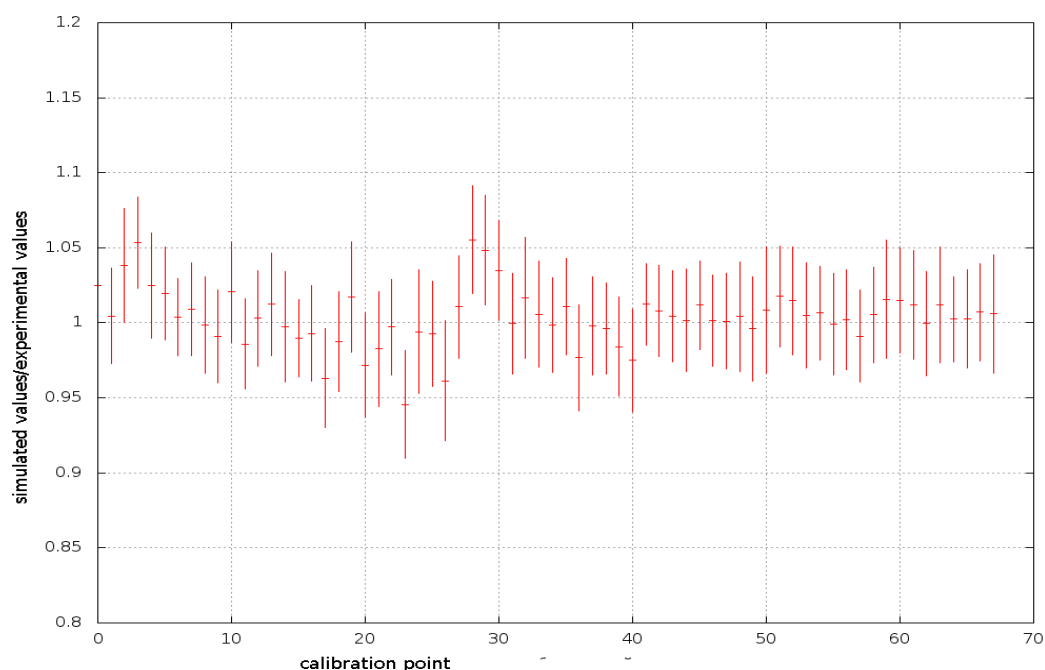
This graph shows that the simulated absolute efficiency values are consistent with experimental data with an accuracy better than 5 % in the energy range from 60 keV to 1500 for different measuring geometries.

Comparison between the simulated values of efficiency and the calibration data.

References

1. Geant4 - a simulation toolkit / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. Vol. 506, no. 3. P. 250–303.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168900203013688>



**О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
СЕЧЕНИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫХ
ПРОТОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ
МЕТОДОМ ПРОТОННОЙ
РАДИОГРАФИИ**

**А. А. Агапов, Е. И. Валекжанина,
А. А. Городнов, Н. В. Завьялов,
С. А. Карганов, К. Л. Михайлюков,
М. В. Таценко**

РФЯЦ-ВНИИЭФ
607188, г. Саров, Нижегородская обл.,
пр. Мира, 37. Факс: (83130) 4-55-69.

**OF THE POSSIBILITY
OF MEASUREMENT CROSS SECTIONS
OF HIGH-ENERGY PROTONS
INTERACTION WITH SUBSTANCE
USING PROTON RADIOGRAPHY
METHOD**

**A. A. Agapov, E. I. Valekzhanina,
A. A. Gorodnov, N. V. Zavyalov, S. A. Kartanov,
K. L. Mihailyukov, M. V. Tatsenko**

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhnii Novgorod region, Mira ave, 37.
Fax: (831 30) 4-55-69

Высокоэнергетичная протонная радиография является перспективным методом исследования в области физики быстропротекающих процессов и высоких плотностей энергии.

Важным этапом протонографических исследований является моделирование процесса прохождения высокоэнергетичных протонов через исследуемый объект. Для проведения корректных расчетов необходима информация о сечениях ядерного взаимодействия протонов с энергией 50–70 ГэВ с веществами. Имеющихся справочных данных не всегда достаточно для проведения модельных расчетов, в то же время, система формирования и регистрации изображений, входящая в состав протонного радиографического комплекса ПРГК-100, созданного на базе синхротрона У-70, потенциально может быть использована для измерения сечений ядерного взаимодействия. В работе приводятся расчетные оценки возможности проведения таких измере-

ний и результаты пробных экспериментов по измерению сечений ядерного взаимодействия для свинца, стали, сплава вольфрам-никель-железо (ВНЖ) и сплава дюралюминия.



**СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ФЛУКТУАЦИЙ ПОТОКА АЛЬФА
ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Е. В. Акиндинова, А. Г. Бабенко,
В. М. Вахтель, В. А. Работкин,
Д. Д. Харитонов**

Воронежский государственный университет,
394006, Воронеж, Университетская площадь д. 1,
тел.: (473) 2208821, e-mail: vakhtel@phys.vsu.ru

**RESEARCHING OF SPECTROMETRIC
CHARACTERISTICS OF FLOW
FLUCTUATIONS OF ALPHA
RADIATION**

**E. V. Akindinova, A. G. Babenko, V. M. Vakhtel,
V. A. Rabotkin, D. D. Kharitonova**

Voronezh State University, 394006, Voronezh,
Universitetskaya pl., 1, Russia,
Phone: (473) 2208821
e-mail: vakhtel@phys.vsu.ru

Проведено исследование эффекта периодичности характеристик флуктуаций потока альфа-излучения моноизотопного источника ^{238}Pu типа ОСАИ. Первичной измеряемой величиной в каждом из трех спектрометрических каналов является время t регистрации полупроводниковым детектором альфа-частиц [1]. Перепрограммирование контроллера, управляющего счетчиком – измерителем времени СЧМ-2А «АСПЕКТ» позволило провести измерения t и интервалов времени τ между последовательными регистрациями альфа-частиц, исключив искажение эмпирических распределений в диапазоне $250 \text{ нс} < \tau < 1 \text{ с}$.

После цифрового сканирования формировались массивы размером до $5 \cdot 10^7$ значений τ и временных рядов $K(\Delta t)$ в интервале $250 \text{ нс} < \Delta t$.

Статистический анализ выборок $K(\Delta t)$ объемом до 10^3 событий проведен с помощью критериев согласия хи-квадрат и разработанного специально для этих целей критерия на основе производящей функции вероятности [2].

Анализ выборок τ проведен методом автокорреляционной функции и соответствующего спектра мощности с использованием окон Тьюки и Парзена. Анализ эмпирических распределений $K(\Delta t)$ показал отсутствие периодичной составляющей тренда с периодом менее 10 суток. В автокорреляционных функциях τ и спектре мощности при уровне значимости 0,01 проявляется периодическая составляющая в интервале 120–140 мин относительно нуля часов. Однако амплитуда автокорреляции составила значение менее 0,2–0,25 в указанном интервале.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания на 2014–2016 гг. проект № 1692.

Список литературы

1. Akindinova E. V., Babenko A. G. et al// 65 International conference Nucleus 2013. Book of Abstracts. S-Petersburg. June 29–July 3, 2015, p. 310.
2. Akindinova E. V., Babenko A. G. et al// 63 International conference Nucleus 2013. Book of Abstracts. S-Petersburg. Oktober 8-12, 2013, p.236.



ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС GROUND КОНСТАНТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

**А. В. Алексеев, А. В. Бнятов, С. С. Касаткин,
Н. А. Крутько**

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,

Адрес: 607188, Нижегородская обл.,

г. Саров, пр. Мира, 37

Тел.: 8 (83130) 2-48-02, факс: 8(83130) 2-94-94,

e-mail: staff@vniief.ru



наиболее важных классов данных константного обеспечения ядерно-физическими данными. Охвачены следующие классы данных:

- оценённые (спектральные) данные (формат ENDF/B);
- экспериментальные данные (архив EXFOR);
- библиотека данных по уровням возбуждения и гамма-переходам ENSDF;
- справочные таблицы ядерных масс и энергий реакций;
- данные экспериментов с критическими сборками;
- групповые данные (нейтронные, гамма-кванты, заряженные частицы).

Основные задачи, решённые в ходе разработки комплекса:

- обеспечение надёжности хранения и актуальности наиболее важных классов ядерно-физических данных константного обеспечения;
- предоставление открытого документированного SQL-интерфейса к данным;
- реализация современного сервиса графической визуализации данных;
- автоматизация расчёта и повышение достоверности групповых констант.

Ключевая особенность комплекса - единство хранилища данных (БД GROUND на основе реляционных СУБД MS SQL Server, MySQL) и его программной оболочки GDE – клиента БД, включающей всю функциональность комплекса. В целом комплекс GROUND позиционируется как единая информационно-справочная система по всем наиболее важным для константного обеспечения типам ядерно-физических данных.

Комплекс GROUND также включает полный цикл расчёта групповых констант (нейтронных, гамма-образования и гамма-прохождения, быстрых заряженных частиц), снабжённый развитым пользовательским интерфейсом задания входной информации. Реализован доступ к рассчитанным групповым константам в БД GROUND из программного кода на языке Фортран.

В рамках программного комплекса GROUND достигнута высокая степень интеграции функций хранения, визуализации и расчёта

**GROUND SOFTWARE
SYSTEM FOR PROVISION
OF NUCLEAR-PHYSICAL CONSTANTS**

**A. V. Alekseyev, A. V. Bnyatov, S. S. Kasatkin,
N. A. Krut'ko**

Federal State Unitary Enterprise. Russian Federal
Nuclear Center – All-Russian
Research Institute for Experimental Physics
(FSUE "RFNC-VNIIEF")
Address: 37 Mir Avenue, Sarov, 607188,
N. Novgorod region
Tel.: 8(83130) 2-48-02, Fax: 8(83130) 2-94-94,
E-mail: staff@vniief.ru

A high-level integration of functions for data storage, visualization and computation of the most important nuclear-physical data types has been implemented in the GROUND software system. The following data types have been covered:

- evaluated (spectral) data (ENDF/B format);
- experimental data (EXFOR archive);
- ENSDF library of data on excitation levels and gamma-transitions;
- reference data tables of nuclei masses and energies of reactions;
- data of experiments with critical assemblies;
- group data (neutrons, gamma-quanta, charged particles).

The major problems resolved during the software development are, as follows:

- providing reliability of storing data and actuality of the most important categories of nuclear physical data for provision of constants;
- submitting an open documentary SQL-interface to data;
- implementation of advanced tools for graphical data viewing;
- automation of calculations and improvement of the group constant reliability.

A key feature of this software system is the unity of data storage (GROUD DB on the base of relational DBMS MS SQL server, MySQL) and its shell program GDE – client of DB including the full volume of the software system functions. In general, the GROUND software system is marketed as a single inquiry system of the most important types of nuclear-physical data for provision of constants.

The GROUND software system also includes a full computational cycle for group constants (neutron constants, gamma-generation and gamma-passage constants, fast charged particles) equipped

with an advanced user's interface for setting input data. Access to the calculated group constants of database GROUND from a Fortran code has been implemented.



**ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
МИКРОПРИМЕСЕЙ В МАТЕРИАЛАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИЗМЕРИТЕЛЬНО-
АКТИВАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА
НА БАЗЕ ФОТОНЕЙТРОННОГО
ИСТОЧНИКА**

**A. В. Андреев, Ю. М. Бурмистров, С. В. Зуев,
Е. С. Конобеевский, М. В. Мордовской,
В. Г. Недорезов, Н. А. Федоров**

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки
Институт ядерных исследований Российской
академии наук
117312 Москва, проспект 60-летия Октября д. 7а
Телефон: (499)135 7760.
Факс: (499)135 2268. E-mail: zuyev@inr.ru

В ИЯИ РАН создан активационно-измерительного комплекс, включающий W-Фотонейтронный источник нейтронов [1] и низкофононый гамма-спектрометр [2]. Фотонейтронный источник создан на базе промышленного линейного ускорителя электронов ЛУЭ-8 с энергией электронов 7–8 МэВ, вольфрамовой тормозной мишени, фотонейтронной бериллиевой мишени и замедлителя быстрых нейтронов. Измерительная часть комплекса на базе низкофонового гамма-спектрометра включает детектор из обособистого германия, размещенный в низкофононой камере с «пассивной» защитой. Для определения содержания нано и микропримесей в веществах используются методы нейтронно-активационного анализа.

Создана библиотека измеренных активационных гамма-спектров различных изотопов, облученных смешанными потоками тепловых, промежуточных (резонансных) и быстрых нейтронов фотонейтронного источника. Отработана

методика и проведены измерения ультрамалых содержаний элементов в воздушных аэрозольных фильтрах. Проведены измерения содержания Au, As, Sb, Mn и других элементов в геологических образцах. Исследованы факторы, влияющие на точность анализа. Проведены оценки пределов определения микропримесей в материалах.

Работа была поддержана Российским научным фондом, грант 16-12-10039.

Список литературы

1. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Gromov A. V., Konobeevsky E. S., Mordovskoy M. V., Soloduhov G. V., Zuyev S. V. // Book of abstracts of LXV International Conference "NUCLEUS 2015" (June 29–July 3) – Saint-Petersburg. Russia, 2015. P. 252.

2. Andreev A. V., Burmistrov Yu. M., Zuyev S. V., Konobeevskiy E. S., Mordovskoy M. V., Firsov V. I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V.4 P. 879–882.

Photoneutron source (IN-LUE) is created on the base of industrial electron linac LUE-8 operating at electron energy of 7–8 MeV, tungsten electron-gamma convertor, photoneutron beryllium target and moderator of fast neutrons. The measuring part of the complex – low-background gamma spectrometer is based on a High Purity Germanium (HPGe) detector, housed in a low-background chamber with a "passive" protection. To determine nano- and micro-impurities in various materials we used neutron activation analysis method.

A database of the measured activation spectra of different nuclides, irradiated by mixed fluxes of thermal, intermediate (resonance) and fast neutrons of Photoneutron source was created. The technique of measuring was created and measurements of ultra-small contents of elements in aerosol filters were performed. The contents of Au, As, Sb, Mn and other elements in geological samples were determined. Factors, influencing the accuracy of the analysis, were investigated and estimates of micro-impurities detection limits in the materials were performed.

This work was supported by grant 16-12-10039 of the Russian Science Foundation.

References

1. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Gromov A.V., E.S.Konobeevsky, Mordovskoy M.V., G.V.Soloduhov, Zuyev S.V. // Book of abstracts of LXV International Conference "NUCLEUS 2015" (June 29–July 3) Saint-Petersburg. Russia, 2015. P. 252.

2. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Firsov V.I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V. 4. P. 879-882.

▼

A POSSIBILITY OF DETERMINATION MICRO-IMPURITIES IN MATERIALS USING A MEASURING- ACTIVATION COMPLEX ON THE BASE OF PHOTONEUTRON SOURCE

**A. V. Andreev, Yu. M. Burmistrov,
N. A. Fedorov, E. S. Konobeevsky,
M. V. Mordovskoy, V. G. Nedorezov, S. V. Zuyev**

Institute for Nuclear Research of the Russian
Academy of Sciences
Prospekt 60-letiya Oktyabrya 7a,
Moscow, 117312 Russia
Phone: (499)135 7760. Fax: (499)135 2268.
E-mail: zuyev@inr.ru

Activation-measuring complex including W-Be-photoneutron neutron source [1] and low-background gamma spectrometer [2] is created at the Institute for Nuclear Research. The



ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЕ ЯДРА ^{89}Y И ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ

**В. В. Варламов, А. И. Давыдов,
В. Н. Орлин, Н. Н. Песков**

Научно-исследовательский институт ядерной
физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова,
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

На основе результатов анализа экспериментальных сечений парциальных фотонейтронных реакций, полученных на пучках квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов и тормозного γ -излучения, с использованием объективных физических критериев достоверности данных было установлено, что для большого количества средних и тяжелых ядер данные не являются достоверными, поскольку не удовлетворяют введенным критериям [1, 2]. Во многих областях энергий наблюдаются отчетливые корреляции физически запрещенных отрицательных значений сечения реакции $(\gamma, 1n)$ и значений сечения реакции $(\gamma, 2n)$, при которых отношения $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$, где $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + \dots$ превышают физические пределы (0.50) для достоверных значений. В рамках экспериментально-теоретического метода оценки сечений парциальных фотонейтронных реакций были получены новые данные, удовлетворяющие критериям достоверности. Было показано, что оцененные сечения реакций существенно отличаются от экспериментальных, и что причинами являются сложная неоднозначная связь между множественностью нейтронов и их измеряемой кинетической энергией, а также отсутствие учета роли протонных каналов распада ГДР, прежде всего, реакции $(\gamma, 1n1p)$.

Ядро ^{89}Y с точки зрения проблемы достоверности данных представляет особый интерес, поскольку для него имеются результаты двух экспериментов, выполненных с квазимоноэнергетичными аннигиляционными фотонами в Ливерморе (США) [3] и Сакле (Франция [4], одного эксперимента на пучке тормозного излучения, выполненного в НИИЯФ МГУ и одного эксперимента с мечеными фотонами, выполненного в

Иллинойсе (США) [6], заметно отличающиеся друг от друга. Полученные [3, 4] сечения реакции $(\gamma, 2n)$ весьма близки друг к другу, однако сечения реакций (γ, xn) и $(\gamma, 1n)$ весьма значительно (на 22 %) расходятся. В то же время сечение реакции (γ, xn) [5] намного (~47 и 21 %) превышает данные [3, 4]. В дополнение сечение реакции $(\gamma, 1n)$ [6] имеет промежуточное значение.

В рамках экспериментально-теоретического метода ($\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, in) = F_i^{\text{теор}}(\gamma, in) \sigma^{\text{экс}}(\gamma, xn)$) были оценены сечения парциальных реакций, удовлетворяющих критериям достоверности данных. Показано, что оцененное сечение реакции $^{89}\text{Y}(\gamma, 1n)^{88}\text{Y}$ занимает промежуточное положение между данными [3, 4] и согласуется с данными [6]. Это дополнительно подтверждает наличие существенных систематических погрешностей в результатах экспериментов, основанных на разделении фотонейтронов по множественности, и свидетельствует в пользу достоверности результатов проведенных оценок.

Работа выполнена в Отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер НИИЯФ МГУ и поддержана Координационным исследовательским проектом № F4132 Международного агентства по атомной энергии.

Список литературы

1. Варламов В. В., Макаров М. А., Песков Н. Н., Степанов М. Е. // Ядерная физика. 2015. Т. 78. С. 797.
2. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Stopani K. A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
3. Berman V. L. et al. // Phys. Rev. 1967. V. 162. P. 1098.
4. Lepretre A. et. al. // Nucl. Phys. 1971. V. A175. P. 609.
5. Ишханов Б. С., Капитонов И. М., Лазутин Е. В., Пискарев И. М., Шевченко О. П. Известия АН СССР. Серия физическая. 1970. Т. 34. С. 2232.
6. Young L. M. PhD. Thesis. 1972.



PHOTODISINTEGRATION OF ^{89}Y AND PHYSICAL CRITERIA OF DATA RELIABILITY

V. V. Varlamov, A. I. Davydov, V. N. Orlin,
N. N. Peskov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
of Lomonosov Moscow State University,
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

On the base of analysis of experimental partial photonuclear reaction cross sections obtained on the beams of quasimonoenergetic annihilation photons and bremsstrahlung using objective physical criteria of data reliability it was found out that for many medium and heavy nuclei those data are not reliable because do not satisfy to the proposed objective physical criteria [1, 2]. For many energy ranges there are clear correlations between physically forbidden negative values of $(\gamma, 1n)$ reaction cross section and $(\gamma, 2n)$ reaction cross section values for which the ratios $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$, where $\sigma(\gamma, xn) = \sigma[(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + \dots]$, are larger than physically reliable top limit 0.50. Using experimental–theoretical method for partial photoneutron reaction cross sections evaluation new data satisfied to data reliability criteria were obtained. It was shown that evaluated cross sections differ noticeably from experimental once and that the reasons are complicated dependence of neutron multiplicity on its measured kinetic energy and absence of taking into account the contributions of proton GDR decay channels, first of all the reaction $(\gamma, 1n1p)$.

The nucleus ^{89}Y is of special interest concern the problems of data reliability because there are results of two experiments carried out using quasimonoenergetic annihilation photons at Livermore (USA) [3] and Saclay (France) [4], one experiment using bremsstrahlung at MSU SINP [5] and one experiment using tagged photons at Illinois (USA) [6] noticeably differ each other. Cross sections [3, 4] of the reaction $(\gamma, 2n)$ are close to each other but those for (γ, xn) and $(\gamma, 1n)$ reactions significantly ($\sim 22\%$) disagree. At the same time (γ, xn) reaction cross section [5] is significantly (~ 47 and 21%) larger in comparison with data [3, 4]. In addition the $(\gamma, 1n)$ reaction cross section [6] has intermediate value.

Using experimental–theoretical method ($(\sigma^{\text{eval}}(\gamma, 1n) = F_i^{\text{theor}}(\gamma, 1n) \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn))$) partial photoneutron reaction cross sections satisfied to the data reliability criteria were evaluated. It was shown that evaluated $^{89}\text{Y}(\gamma, 1n)^{88}\text{Y}$ reaction cross section has intermediate value between [3, 4] data in agreement with data [6]. This is real evidence of the presence of noticeable systematic disagreements in the results obtained using neutron multiplicity sorting and confirmation of the reliability of evaluations carried out.

The research is carried out in the MSU SINP Department of electromagnetic processes of atomic nuclei and is supported by the Coordinated Research Project N F41032 of the International Atomic Energy Agency.

References

1. Varlamov V. V., Makarov M. A., Peskov N. N., Stepanov M. E. // Phys. Atom. Nucl. 2015. V. 78. 746.
2. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Stopani K. A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
3. Berman B. L. et al. // Phys. Rev. 1967. V. 162. P. 1098.
4. Lepretre A. et. al. // Nucl. Phys. 1971. V. A175. P. 609.
5. Ishkhanov B. S., Kapitonov I. M., Lazutin E. V., Piskarev I. M., Shevchenko O. P. // Bul. Rus. Acad. Sci, Ser. Phys. 1970. V. 34. P. 1991.
6. Young L. M. PhD. Thesis. 1972.



**ОЦЕНКА СЕЧЕНИЙ ПАРЦИАЛЬНЫХ
ФОТОНЕЙТРОННЫХ РЕАКЦИЙ
ДЛЯ ЯДЕР ^{141}Pr И ^{186}W С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ФИЗИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ
ДОСТОВЕРНОСТИ ДАННЫХ**

В. В. Варламов, В. Н. Орлин, Н. Н. Песков

Научно-исследовательский институт
ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова,
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

Для исследования достоверности данных по сечениям парциальных фотонейтронных реакций, полученных с использованием пучков квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов и метода разделения фотонейтронов по множественности, были предложены объективные физические критерии [1]. По определению отношения $F_i = \sigma(\gamma, in)/\sigma(\gamma, xn)$, в которых (γ, in) – реакция с определенной множественностью нейтронов, а $(\gamma, xn) = (\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + \dots$ – реакция выхода нейтронов, не должны иметь значений, превышающих 1.00, 0.50, 0.33, ... для $i = 1, 2, 3, \dots$. Если для экспериментальных данных эти отношения имеют большие значения, это означает, что разделение фотонейтронов по множественности было выполнено недостоверно. С использованием этих критериев было обнаружено, что для многих средних и тяжелых ядер от Cu до Bi данные по сечениям парциальных реакций $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ и $(\gamma, 3n)$ не являются достоверными, поскольку введенным объективным физическим критериям не удовлетворяют [2–4]. В рамках специально предложенного экспериментально–теоретического метода ($\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F_i^{\text{theor}} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$) оценки сечений парциальных фотонейтронных реакций были получены новые данные, удовлетворяющие критериям достоверности. Было показано, что эти данные расходятся с данными, полученными с помощью разделения нейтронов по множественности, но согласуются с результатами других альтернативных экспериментов, прежде всего выполненных с помощью активационного метода, позволяющего идентифицировать определенные пар-

циальные реакции по ядрам, образующимся в их конечных состояниях.

Критерии и метод оценки, описанные выше, были использованы для получения новых достоверных данных по сечениям парциальных и полных фотонейтронных реакций для ядер ^{141}Pr и ^{186}W в области энергий ГДР. Было проведено сравнение оцененных данных с результатами экспериментов, выполненных с использованием разных пучков фотонов (квазимоноэнергетичные аннигиляционные и меченые фотоны, тормозное излучение) и методов (разделение нейтронов по множественности, активационный метод).

Работа выполнена в Отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер НИИЯФ МГУ и поддержана Координационным исследовательским проектом № F4132 Международного агентства по атомной энергии.

Список литературы

1. Варламов В. В., Ишханов Б. С., Орлин В. Н., Четверткова В. А. // Известия РАН, серия физическая. 2010. Т. 74. С. 875.
2. Варламов В. В., Ишханов Б. С., Орлин В. Н., Песков Н. Н., Степанов М. Е. // Ядерная физика. 2013. Т. 76. С. 1484.
3. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Stopani K. A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
4. Варламов В. В., Макаров М. А., Песков Н. Н., Степанов М. Е. // Ядерная физика. 2015. Т. 78. С. 797.



**EVALUATION OF PARTIAL
PHOTONEUTRON REACTION CROSS
SECTIONS
FOR ^{141}Pr AND ^{186}W USING PHYSICAL
CRITERIA OF DATA RELIABILITY**

V. V. Varlamov, V. N. Orlin, N. N. Peskov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
of Lomonosov Moscow State University,
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

The objective physical criteria were proposed [1] for investigation of the reliability of data on

partial photoneutron reaction cross sections obtained using beams of quasimonoenergetic annihilation photons and the method of photoneutron multiplicity sorting. According to definition the ratios $F_i = \sigma(\gamma, in)/\sigma(\gamma, xn)$, where (γ, in) is the reaction with definite multiplicity and $(\gamma, xn) = (\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + \dots$ is the neutron yield reaction, should not have values larger 1.00, 0.50, 0.33,... for $i = 1, 2, 3, \dots$. If for experimental data those ratios have larger values it means that photoneutron multiplicity sorting was carried out unreliably. Using those criteria it was found out that for many medium and heavy nuclei from Cu to Bi data on cross sections of partial reactions $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ and $(\gamma, 3n)$ are not reliable because do not satisfy to the proposed objective physical criteria [2–4]. Using specially proposed experimental–theoretical method ($\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F_i^{\text{theor}} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$) for partial photoneutron reaction cross sections evaluation new data satisfied reliability criteria were obtained. It was shown that those data do not agree with data obtained neutron multiplicity sorting but agree with the results of alternative experiments, first of all carried out using activation method for identification of definite partial reaction as reactions with different nuclei in final states.

The criteria and evaluation method described above were used for obtaining new reliable partial photoneutron reaction and total photoneutron reaction cross section data for ^{141}Pr and ^{186}W for GDR energy ranges. Evaluated data were compared with the results of the experiments carried using various photon beams (quasimonoenergetic annihilation and tagged photons, bremsstrahlung) and methods (neutron multiplicity sorting, activation).

The research is carried out in the MSU SINP Department of electromagnetic processes of atomic nuclei and is supported by the Coordinated Research Project N F41032 of the International Atomic Energy Agency.

References

1. Varlamov V.V., Ishkhanov B.S., Orlin V.N., Chetvertkova V.A. // Bull. Rus. Acad. Sci. Phys. 2010. V. 74. P. 833.
2. Varlamov V.V., Ishkhanov B.S., Orlin V.N., Peskov N.N., Stepanov M.E. // Phys. Atomic Nucl. 2013. V. 76. P. 1403
3. Varlamov V.V., Ishkhanov B.S., Orlin V.N., Stopani K.A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
4. Varlamov V. V., Makarov M. A., Peskov N. N., Stepanov M. E. // Phys. Atom. Nucl. 2015. V. 78. 746.



СОВРЕМЕННЫЙ СТАТУС ФОТОЯДЕРНЫХ ДАННЫХ

В. В. Варламов, Б. С. Ишханов

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета им.
М. В. Ломоносова,
119991 Москва, Ленинские горы, НИИЯФ МГУ,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

Фотоядерные реакции играют важную роль, как в фундаментальных, так и прикладных ядерно-физических исследованиях. Параметры гигантских дипольных резонансов (ГДР), наблюдаемые в сечениях различных реакций под действием γ -квантов, представляют большой интерес с точки зрения изучения структуры и динамики атомных ядер, механизмов ядерных реакций, используются в исследованиях в самых разных областях, таких как физика релятивистских тяжелых ионов и ядерная астрофизика.

Проанализированы [1–3] экспериментальные сечения парциальных фотонейтронных реакций $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ и $(\gamma, 3n)$, полученные для большого количества средних и тяжелых ядер с помощью квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов (нейтроны разделялись по множественности с помощью измерения их кинетических энергий) и тормозного γ -излучения (в сечения реакции выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma[(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$ вносились соответствующие поправки по статистической теории ядерных реакций). Анализ проводился с использованием объективных физических критериев достоверности данных [4] – отношений сечения реакции с конкретной множественности нейтронов к сечению реакции выхода $F_i = \sigma(\gamma, in)/\sigma(\gamma, xn)$. По определению положительные отношения F_i не должны превышать предельных значений 1.00, 0.50, 0.33... для $i = 1, 2,$

3, ..., соответственно. Установлено, что для многих ядер ($^{63,65}\text{Cu}$, ^{80}Se , $^{90,91,94}\text{Zr}$, ^{115}In , $^{112-124}\text{Sn}$, ^{133}Cs , ^{138}Ba , ^{159}Tb , ^{181}Ta , $^{186-192}\text{Os}$, ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi) во многих областях энергий фотонов наблюдаются отчетливые корреляции между недостоверными значениями $F_2 > 0.50$ и физически запрещенными отрицательными значениями отношений F_1 (и, соответственно, сечений реакции $(\gamma, 1n)$). Дополнительно наблюдалось большое количество физически недостоверных отношений F_3 .

В рамках экспериментально–теоретического метода оценки сечений парциальных фотонейтронных реакций ($\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 1n) = F_1^{\text{теор}}(\gamma, 1n) \cdot \sigma^{\text{экс}}(\gamma, 1n)$) для указанных выше ядер были получены новые сечения парциальных реакций, удовлетворяющие введенным критериям достоверности данных. Отношения $F_1^{\text{теор}}(\gamma, 1n)$, используемые в процедуре оценки, рассчитывались в рамках комбинированной модели фотоядерных реакций [5], основанной на использовании плотностей уровней ядра, рассчитанных в модели ферми–газа, и учитывающей эффекты деформации ядра и изоспинового расщепления ГДР. Новые оцененные сечения реакций сравнивались с экспериментальными данными. Показано, что основными причинами существенных расхождений являются сложная неоднозначная связь между энергией нейтронов и их множественностью, а также отсутствие учета роли протонных каналов распада ГДР. Показано, что оцененные сечения согласуются с результатами альтернативных активационных экспериментов. Обсуждается необходимость проведения новых экспериментов, не использующих разделение фото–нейтронов по множественности.

Работа была поддержана Грантом РФФИ № 13–02–00124 и поддерживается Координационным исследовательским проектом № F4132 Международного агентства по атомной энергии.

Список литературы

1. Варламов В. В., Макаров М. А., Песков Н. Н., Степанов М. Е. // Ядерная физика. 2015. Т. 78. С. 797.
2. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Stopani K. A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
3. Варламов В. В., Ишханов Б. С., Орлин В. Н., Песков Н. Н., Степанов М. Е. // Ядерная физика. 2013. Т. 76. С. 1484.
4. Варламов В. В., Ишханов Б. С., Орлин В. Н., Четверткова В. А. // Известия РАН, серия физическая. 2010. Т. 74. С. 875.
5. Ишханов Б. С., Орлин В. Н. // ЯФ. 2008. Т. 71. С. 517.



MODERN STATUS OF PHOTONUCLEAR DATA

V. V. Varlamov, B. S. Ishkhanov

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
of Lomonosov Moscow State University,
119991 Moscow, Leninskie gory, MSU SINP,
(495)9393483, (495)9390896,
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

The photonuclear reaction data plays very important role in both basic and applied nuclear physics research. Parameters of Giant Dipole Resonance (GDR) observed in cross sections of various reactions induced by γ -quanta are of great interest for study of structure and dynamics of atomic nuclei, nuclear reaction mechanisms, are involved into the research in various fields, such as relativistic heavy ions physics and astrophysics. Experimental cross sections of partial photonuclear reactions $(\gamma, 1n)$, $(\gamma, 2n)$ and $(\gamma, 3n)$ obtained for many medium and heavy nuclei using beams of both quasimonoenergetic annihilation photons (neutron multiplicity sorting on the base of its kinetic energies measuring) and bremsstrahlung (correspondent corrections for neutron yield reaction cross section $\sigma(\gamma, xn) = \sigma[(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$ based on the statistical theory of nuclear reactions) were analyzed [1–3]. The analysis was carried out using objective physical criteria for data reliability [4] – ratios $F_i = \sigma(\gamma, in)/\sigma(\gamma, xn)$ of definite multiplicity reaction cross sections to the neutron yield reaction cross section. According to definition F_i should not have values larger 1.00, 0.50, 0.33... for $i = 1, 2, 3, \dots$, correspondingly. It was found out that for many nuclei ($^{63,65}\text{Cu}$, ^{80}Se , $^{90,91,94}\text{Zr}$, ^{115}In , $^{112-124}\text{Sn}$, ^{133}Cs , ^{138}Ba , ^{159}Tb , ^{181}Ta , $^{186-192}\text{Os}$, ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi) in many energy ranges there are clear correlations between unreliable values $F_2 > 0.50$ and physically forbidden negative

F_1 values (and correspondingly of $(\gamma, 1n)$ reaction cross sections). Additionally there are many unreliable F_3 values.

Using experimental–theoretical method for partial photoneutron reaction evaluation ($\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F_i^{\text{theor}}(\gamma, in) \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$) for nuclei mentioned above new partial reaction cross sections satisfied introduced data reliability criteria were obtained. Ratios $F_i^{\text{theor}}(\gamma, in)$ used in evaluation procedure were calculated in the frame of combined model of photonuclear reactions [5] relying on the use of Fermi gas nuclear level densities and taking into account effects of nucleus deformation and isospin splitting respective its giant dipole resonance (GDR). New evaluated reaction cross sections were compared with experimental data. It was obtained that the main reasons of significant disagreements are complicated and ambiguous connection between energy of neutron and its multiplicity and absence of taking into account contributions of proton channels of GDR decay. It was shown that evaluated cross sections agree with results of alternative activation experiments. The need for new experiments without neutron multiplicity sorting was discusses.

The research was supported by the RFBR Grant N 13–02–00124 and is supported by the Coordinated Research Project N F41032 of the International Atomic Energy Agency.

References

1. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Peskov N. N., Stepanov M. E. // Phys. Atomic Nucl. 2013. V. 76. P. 1403
2. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Stopani K. A. // Eur. Phys. J. 2014. V. A 50. P. 114.
3. Varlamov V. V., Makarov M. A., Peskov N. N., Stepanov M. E. // Phys. Atom. Nucl. 2015. V. 78. P. 746.
4. Varlamov V. V., Ishkhanov B. S., Orlin V. N., Chetvertkova V. A. // Bull. Rus. Acad. Sci. Phys. 2010. V. 74. P. 833.
5. Ishkhanov B. S., Orlin V. N. // Phys. At. Nucl. 2008. V. 71. P. 493.



АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

О. П. Вихлянцев, Л. Н. Генералов,
А. В. Курякин, Н. Е. Гурин, А. Д. Тумкин,
С. В. Фильчагин

РФЯЦ-ВНИИЭФ

607188, г. Саров, Нижегородская обл.,
пр. Мира, 37. Факс: (83130) 4-55-69,
e-mail: Vikhlyantsev@expd.vniief.ru

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR MEASURING ENERGY AND ANGULAR DISTRIBUTIONS OF CHARGED PARTICLES PRODUCED IN NUCLEAR REACTIONS

O. P. Vikhlyantsev, I. N. Generalov,
A. V. Kuryakin, N. E. Gurin, A. D. Tumkin,
S. V. Fil'chagin

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhnii Novgorod region,
Mira ave, 37. Fax: (831 30) 4-55-69,
e-mail: Vikhlyantsev@expd.vniief.ru

Исследование взаимодействия заряженных частиц с ядрами лития, бериллия и бора до сих пор представляют собой значительный научный и практический интерес. С этой целью на ионных пучках (p , d , t) ускорителя ЭПП-10 [1] для измерения энергетических и угловых распределений заряженных частиц, образующихся в ядерных реакциях, создан аппаратно-программный комплекс. Он состоит из шести $\Delta E \cdot E$ телескопов из кремниевых детекторов, модульной ядерно-физической аппаратуры в стандарте КАМАК и NIM, программно управляемых устройств по смене мишеней и угловых положений телескопов, программного обеспечения для сбора и хранения экспериментальных данных, программного обеспечения для обработки полученных данных. Телескопы $\Delta E \cdot E$ с их предусилителями на вращающейся платформе и рейка с 7 мишенями размещены в вакуумированной камере рассеяния. Конструктивно каждый телескоп представляет собой сборку из трех

детекторов. У входного окна телескопа находится ΔE -детектор (толщиной 10–13 мкм). За ним расположены два E -детектора (каждый толщиной 0,5 мм). Они объединяются в один канал регистрации посредством простого суммирования аналоговых сигналов. Получено отчетливое разделение локусов p , d , t , ^3He и ^4He (рис. 1).

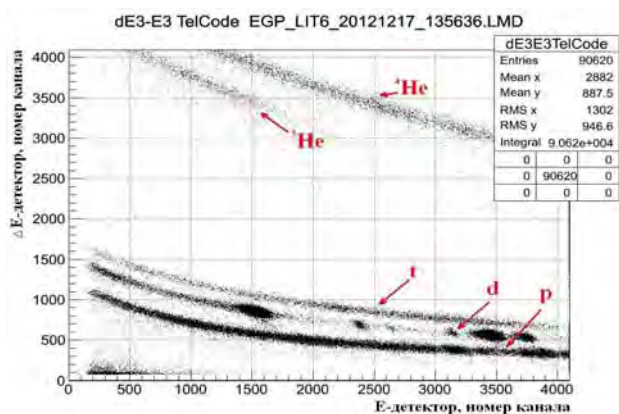


Рис. 1. Двумерный спектр заряженных частиц из мишени LiF на 0,5 мкм Al подложке при энергии налетающих дейтронов 6,5 МэВ и угле регистрации $\theta_L = 60^\circ$

Программное обеспечение системы сбора многопараметрических данных разработано с помощью инструментального пакета CRW-DAQ [2]. При проектировании ставилась задача построения модульной и отказоустойчивой к аппаратным и программным сбоям системы, обеспечивающей при этом высокую скорость регистрации, записи и обработки данных. Программа позволяет запускать различные режимы регистрации и сохраняет сложные многопараметрические данные в файл на жестком диске управляющего компьютера в формате LMD (List Mode Data). В этом формате разработан универсальный адаптивный режим работы аппаратно-программного комплекса для долговременного хранения многопараметрических данных, а для просмотра и обработки LMD файлов создано программное обеспечение в режиме «offline». Программа обработки данных делится на два типа. В одном возможно быстро оценивать качество измерений. Второй же тип в режиме «offline» предназначен для более углубленного анализа данных. Для этого задействован специализированный математический пакет ROOT [3] – объектно-ориентированная (C++) программная оболочка (библиотека), предоставляющая большое количество инструментов, необходимых для

обработки данных. В докладе подробно излагаются вопросы, изложенные в тезисах.

Список литературы

1. Абрамович С. Н. Технические возможности ВНИИЭФ для исследований в области ядерной спектроскопии // ВАНТ. Серия: Физика ядерных реакторов. 1997. ТИЯС-ХІ. Специальный выпуск. с. 4–8.

2. Курякин А. В., Виноградов Ю. И. Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок (CRW-DAQ) // Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612848 от 10.08.2006 г., <http://www.crw-daq.ru>.

Пакет ROOT, <http://www.root.cern.ch>.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ РАБОЧИХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ ЧАСТИЦ – ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Г. Е. Гаврилов

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Федеральное государственное бюджетное учреждение Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова, 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща
Тел.: +7 81371-318-37,
gennady.gavrilov@pnpi.spb.ru

Сегодня на Большом Адронном Коллайдере (БАК) в ЦЕРН (Европейский центр ядерных исследований) работают четыре основные экспериментальные установки – детекторы ATLAS, ALICE, LHCb и CMS. Эти гигантские установки на 70–80 % состоят из газоразрядных субдетекторов: пропорциональных, дрейфовых и резистивных плоско-параллельных камер. Многие из газов рефрижерантов, используемых в рабочих газовых смесях детекторов, оказывают сильное воздействие на окружающую среду, вызывая

накопление парниковых газов в атмосфере или повреждая её озоновый слой. Суммарный выброс парниковых газов установками БАК в углеродных единицах GWP (Global-Warming Potential) сопоставим с выбросом десятка тепловых электростанций. Поэтому обязательства Евросоюза, России и других государств по уменьшению выбросов парниковых газов стали серьёзным побудительным мотивом для начала разработки новых безопасных газовых смесей.

Анализ известных рефрижерантов показал, что наиболее интересным кандидатом для замещения тетрафторметана CF_4 (GWP – 7390 кг CO_2 , время жизни в атмосфере 50000 лет!) среди широко применяемых рабочих смесей $\text{Ar}/\text{CO}_2/\text{CF}_4$ является трифторйодметан CF_3I (GWP – 0,4 кг CO_2 , время жизни менее года). Очевидно, что газовые смеси с CF_3I способны удовлетворять современным экологическим требованиям, и главным направлением работы стало исследование характеристик детекторов с новыми газовыми смесями. С использованием straw (солома) – пропорциональных счётчиков на основе полиамидных трубок, были изучены три газовые смеси с концентрацией CF_3I : 1 %, 5 % и 10 %. Во всех случаях плато счетной характеристики было достигнуто при газовом усилении в режиме ограниченного стримера. Вблизи стенок катода, в области слабого электрического поля, была обнаружена зона сильного прилипания электронов, что снижает эффективность регистрации детектора. Однако, следует отметить, что наличие такой зоны подавляет вторичную спонтанную эмиссию с катода (Мальтер эффект), которая нередко возникает при работе в интенсивных радиационных полях. Эта особенность исследованных газовых смесей должна способствовать увеличению времени жизни детекторов.



STUDY OF ENVIRONMENTALLY SAFE WORKING GAS MIXTURES FOR PARTICLE DETECTORS – FIRST RESULTS

G. E. Gavrilov

National Research Centre «Kurchatov Institute»
B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics
Institute, Orlova Roscha, Gatchina,
Leningrad district, 188300,
Phone: +7 81371-318-37,
gennady.gavrilov@npni.spb.ru

Today, the Large Hadron Collider (LHC) at CERN (European Organization for Nuclear Research) has four main experimental setups – there are the detectors ATLAS, ALICE, LHCb and CMS. These giant installations by 70–80 % consist of subdetectors: proportional, drift and resistive plate chambers. Many refrigerant gases currently used in the working mixtures of the detectors have a great impact on the environment since they either contribute largely on the greenhouse gas accumulation, or because they tear the ozone layer. The total emission of greenhouse gases from LHC installations in carbon units GWP (Global-Warming Potential) is comparable with the emission of dozen of the thermal power stations! Therefore, the commitments of EU, Russia and other countries to reduce the greenhouse gases emissions have become a serious motivation to start research of new secure gas mixtures.

Analysis of known refrigerant gases have shown that trifluoroiodomethane CF_3I (GWP – 0.4 kg of CO_2 , lifetime in atmosphere less of one year) is a most interesting candidate for substitution of tetrafluoromethane CF_4 (GWP – 7390 kg of CO_2 , lifetime in atmosphere of 50,000 years!) which is widely used in working mixtures $\text{Ar} / \text{CO}_2 / \text{CF}_4$. It is obvious that the gas mixture with CF_3I must meet the latest environmental requirements, and then main focus of the work was the study of the characteristics of the detectors with new gas mixtures. Using the straws – proportional counters designed from the polyamide tubes, three gas mixtures with CF_3I concentration of 1 %, 5 % and 10 % have been studied. In all cases, the plateau of the counting rates was reached at the limited streamer mode of gas amplification. Near the wall of the cathode at low electric field in the straw a zone of strong attachment of electrons was discovered

that reduces the detector efficiency. However, it should be noted, that existence of such attachment zone suppresses a spontaneous secondary electron emission from the cathode (Malter effect), which often occurs during the detector operation in intense irradiation fields. This property of the studied gas mixtures can significantly extend the life time of the detectors.



**ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛА NaI(Tl)
С АНОМАЛЬНОЙ
НЕОДНОРОДНОСТЬЮ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВЫХОДА**

В. В. Гаганов, А. А. Васюхин

РФЯЦ-ФНИИЭФ
607190, г. Саров Нижегородской обл,
пр. Мира -37, факс:(83130)44569,
gavaler@post.com

**INVESTIGATION OF NAI(TL)-CRYSTAL
WITH ANOMALOUS NONUNIFORMITY
OF LIGHT YIELD SPATIAL
DISTRIBUTION**

V. V. Gaganov, A. A. Vasuhin

Russian Federal Nuclear Center – the All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607190, Sarov, Nizhnij Novgorod reg.,
pr. Mira -37, fax: (83130)44569, gavaler@post.com

Представлены результаты эксперимента по уточнению характеристик сцинтилляционного гамма-детектора на основе кристалла NaI(Tl) с диаметром основания 150 мм и высотой 100 мм. Рассматриваемый детектор использовался при осуществлении цикла интегральных экспериментов. Для обеспечения обработки результатов интегральных экспериментов, было выполнено исследование функции отклика гамма-детектора. Основу этого исследования составили градуировочные измерения с эталонными гамма-источниками. В результате градуировочных из-

мерений была получена форма линии для нескольких энергий гамма-квантов.

Дополнительно был выполнен эксперимент по измерению неоднородности световыхода вдоль оси кристалла NaI(Tl). В измерениях были применены два источника гамма-квантов с фиксированной энергией – ^{60}Co и ^{137}Cs . Первый из них использовался в качестве реперного и был закреплён перед передним торцом кристалла; второй перемещался с шагом 10 мм вдоль оси кристалла, облучая его через свинцовый щелевой коллиматор с шириной просвета 2 мм. Для каждого положения коллимированного источника было измерено распределение амплитуд импульсов с детектора.

В результате сравнения полученных распределений был выявлен плавный сдвиг пика полного поглощения (от квантов перемещаемого источника ^{137}Cs). Для крайних положений источника сдвиг составил 20 %. Это свидетельствует о снижении световыхода при продвижении вдоль оси кристалла (в направлении к ФЭУ).

Представлены оценки, показывающие необходимость учёта выявленной неоднородности световыхода. Согласно этим оценкам, при расчёте функции отклика рассматриваемого детектора следует, вместо функции Гаусса, использовать комбинированную функцию уширения, зависящую от распределения поглощённой энергии по объёму кристалла.



РАСЧЁТ СПЕКТРОВ НЕЙТРОНОВ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В МИШЕНИ НЕЙТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

В. В. Гаганов

РФЯЦ-ВНИИЭФ
607190, г. Саров Нижегородской обл,
пр. Мира -37, факс: (83130)44569,
gavaler@post.com

CALCULATION OF SPECTRUMS OF NEUTRONS AND CHARGED PARTICLES, PRODUCED IN TARGET OF NEUTRON GENERATOR

V. V. Gaganov

Russian Federal Nuclear Center – the All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607190, Sarov, Nizhnij Novgorod reg., pr. Mira -37,
fax:(83130)44569, gavaler@post.com

Представлены результаты расчёта спектров нейтронов и сопутствующих заряженных частиц, образующихся в мишени нейтронного генератора при бомбардировке дейтронами с энергией 130 кэВ. Рассмотрены продукты четырёх ядерных реакций: $T(d,n)^4\text{He}$, $D(d,n)^3\text{He}$, $D(d,p)T$, $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$. Спектры заряженных частиц из указанных реакций определяют форму распределения амплитуд импульсов с детекторов, используемых для мониторинга выхода нейтронов.

Выполнено моделирование ядерных реакций на дейтронах в твердотельных мишенях двух типов: Ti-T и Ti-D. Торможение дейтронов моделировалось без учёта эффектов многократного рассеяния и в предположении однородной структуры мишени. Мишень разбивалась на конечное число слоёв. Для каждого слоя рассчитывалась энергия углубившегося в мишень дейтрона; в зависимости от этой энергии вычислялись сечения ядерных реакций и энергии образующихся частиц. Расчёты выполнены на основе релятивистских кинематических соотношений с использованием данных по сечениям ядерных реакций из библиотеки ENDF/B-VII. Потери энергии заряженных частиц в материале мишени были рассчитаны с помощью программы SRIM [1].

Представлены спектры DT- и DD-нейтронов для нескольких углов вылета и спектры сопутствующих заряженных частиц (с учётом их торможения в мишени) для угла вылета 180° .

Список литературы

1. Ziegler J. F., Ziegler M. D., Biersack J. P. SRIM - The Stopping and Range of Ions in Matter (2010) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2010. Vol. B268, N. 11–12, p. 1818–1823.



ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕЦИЗИОННОЙ ГРАДУИРОВКИ ПО ЭНЕРГИИ СПЕКТРОМЕТРОВ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ

**В. В. Гаганов, П. Л. Усенко,
М. А. Крыжановская**

РФЯЦ-ВНИИЭФ
607190, г. Саров Нижегородской обл,
пр. Мира -37, факс:(83130)44569,
gavaler@post.com

FEASIBILITY OF THE pRECISICE ENERGY CALIBRATION FOR FAST NEUTRON SPECTROMETERS

**V. V. Gaganov, P. L. Usenko,
M. A. Kryzhanovskaja**

Russian Federal Nuclear Center – the All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607190, Sarov, Nizhnij Novgorod reg., pr. Mira -37,
fax:(83130)44569, gavaler@post.com

Представлены результаты расчётных исследований, направленных на повышение точности измерений, выполняемых на статических нейтронных генераторах с тритиевой мишенью. Показана возможность организации измерительной позиции, обеспечивающей получение экстремально узкого энергетического спектра DT-нейтронов.

Для осуществления фундаментальных и прикладных нейтронных исследований необходимо наличие источника моноэнергетических нейтронов. Наиболее доступным способом реализации такого источника является использование известной особенности DT-реакции в отношении нейтронов, вылетающих из мишени перпендикулярно пучку дейтронов.

Для корректного описания спектра таких нейтронов необходим учёт эффектов многократного рассеяния дейтронов в мишени. В данной работе применён двухэтапный алгоритм вычислений: сначала, с использованием программы SRIM [1] был получен набор траекторий дейтронов в мишени; затем, по этим траекториям рассчитывалась энергия вылетающих нейтронов.

Проведены расчёты, моделирующие протекание DT-реакции на дейтронах с начальной энергией в диапазоне от 0,10 МэВ до 0,18 МэВ. Показано, что энергетические спектры нейтронов, вылетающих из мишени перпендикулярно пучку дейтронов, имеют двойную структуру – узкий пик (содержащий порядка 25 % от общего числа нейтронов в спектре) расположенный на «пьедестале», обусловленном отклонением дейтронов на малые углы при многократном рассеянии. Ширина «пьедестала» на полувысоте составляет порядка 0,07 МэВ. Наличие узкого пика обеспечивает возможность прецизионной градуировки по энергии спектрометров быстрых нейтронов. Представлены оценки, показывающие, что для такой градуировки оптимальным является угол вылета нейтронов 97,5°.

Список литературы

1 Ziegler J. F., Ziegler M. D., Biersack J. P. SRIM - The Stopping and Range of Ions in Matter (2010) // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 2010. Vol. B268, N11–12, p. 1818–1823.



АКТИВАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ ${}^6\text{Li}(d, n_0+n_1){}^7\text{Be}$, ${}^7\text{Li}(d, 2n){}^7\text{Be}$, ${}^{65}\text{Cu}(d, 2n){}^{65}\text{Zn}$, ${}^7\text{Li}(p, n_0+n_1){}^7\text{Be}$, ${}^{65}\text{Cu}(p, n){}^{65}\text{Zn}$

Л. Н. Генералов, С. Н. Абрамович,
С. М. Селянкина

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
607188, г. Саров, Нижегородская обл.,
пр. Мира, 37. Факс: (83130) 4-55-69,
e-mail: generalov@expd.vniief.ru

INTEGRAL CROSS SECTION ACTIVATION MEASUREMENTS OF THE ${}^6\text{Li}(d, n_0+n_1){}^7\text{Be}$, ${}^7\text{Li}(d, 2n){}^7\text{Be}$, ${}^{65}\text{Cu}(d, 2n){}^{65}\text{Zn}$, ${}^7\text{Li}(p, n_0+n_1){}^7\text{Be}$, ${}^{65}\text{Cu}(p, n){}^{65}\text{Zn}$ REACTIONS

L. N. Generalov, S. N. Abramovich,
S. M. Selyankina

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhnii Novgorod region,
Mira ave, 37. Fax: (831 30) 4-55-69,
e-mail: generalov@expd.vniief.ru

Мотивация нашего сообщения, в первую очередь, связана с неопределенностью сечений реакции ${}^7\text{Li}(d, 2n){}^7\text{Be}$ [1, 2]. Основная часть данных по сечениям реакций, указанных в названии тезисов, была получена давно – в процессе измерения полных сечений образования трития в реакциях ${}^7\text{Li}(p, xt)$, ${}^6\text{Li}(d, xt)$ и ${}^7\text{Li}(d, xt)$ [3, 4], выполненных методом накопления трития в медных и алюминиевых сборниках. В этих сборниках – медных (алюминиевых) фольгах, на которых были напылены мишенные слои LiF (известного изотопного состава), тритий накапливался при их облучении протонами или дейтронами. Затем он выделялся радиохимическими методами [4, 5]. Перед этой процедурой с целью контроля толщин мишенных слоев, измеренных номинально с точностью 1–5 % при их напылении, германиевыми детекторами проводилась регистрация γ -квантов, вылетающих из облученных сборников. В процессе разработки метода

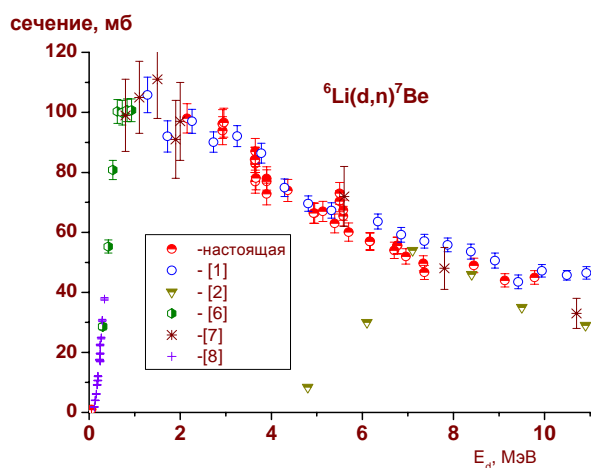


Рис. 1. Интегральное сечение реакции ${}^6\text{Li}(d,n){}^7\text{Be}$

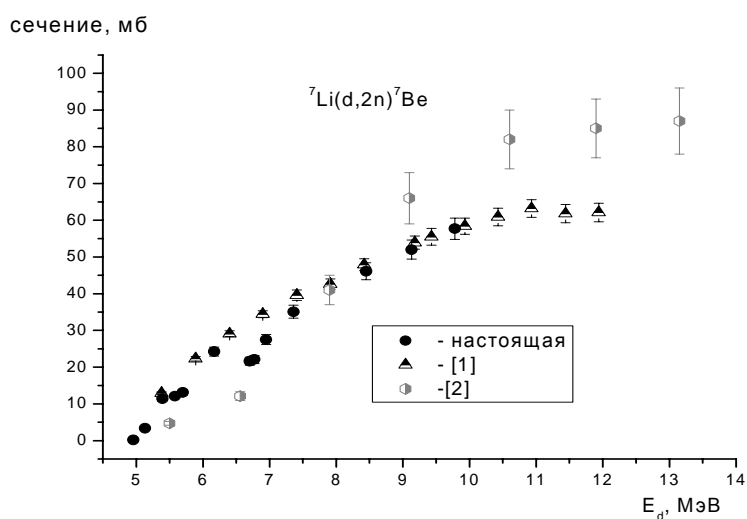


Рис. 2. Интегральное сечение реакции ${}^7\text{Li}(d,2n){}^7\text{Be}$

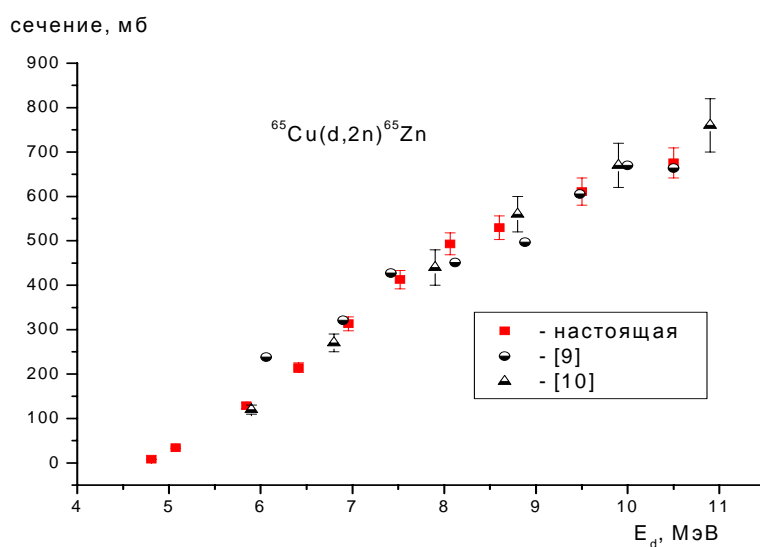


Рис. 3. Интегральное сечение реакции ${}^{65}\text{Cu}(d,2n){}^{65}\text{Zn}$

накопления трития и его использования при проведении измерений [3, 4] образовался большой массив таких спектров. Для получения сечений реакций ${}^6\text{Li}(d, n_0 + n_1){}^7\text{Be}$, ${}^7\text{Li}(d, 2n){}^7\text{Be}$, ${}^7\text{Li}(p, n_0 + n_1){}^7\text{Be}$ в них обрабатывались γ -линии распада ${}^7\text{Be}$ ($T_{1/2} = 53,29$ сут., ε) с энергией 477 кэВ, а сечений реакции ${}^{65}\text{Cu}(d, 2n){}^{65}\text{Zn}$ и ${}^{65}\text{Cu}(p, n){}^{65}\text{Zn}$ – γ -линии распада ${}^{65}\text{Zn}$ ($T_{1/2} = 244,26$ сут., ε) с энергией 1115 кэВ.

В докладе излагается процедура измерения и обработка их результатов, приводятся сечения реакций. Часть полученных результатов приведена на рисунках 1, 2, 3.

Список литературы

1. Высоцкий О. Н. и др. // Тезисы доклада на Совещании по ядерной. спектр. и структуре атом. ядра. Ленинград.1990. С. 338.
2. Гужовский Б. Я., Абрамович С. Н., Звенигородский А. Г. и др. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1980. Т. 44. № 9. С. 1983–1987.
3. Абрамович С. Н., Генералов Л. Н., Гужовский Б. Я. и др.// ВАНТ. Сер. ядерные константы. 1992. В. 9. С. 82.
4. Abramovich S. N., Generalov L. N., Zvenigirodski A. G. // Conf. Procc. NDST. Trieste. 19–24 May 1997. Vol. 59. p. 632.
5. Абрамович С. Н., Генералов Л. Н., Гужовский Б. Я. и др. // Изв. АН Сер. физ. 1994. Т. 55. № 1. С. 87.
6. Ryby L. et al. // Nucl. Science Eng. 1977. Vol. 63. P. 197–199.
7. Szabo J. et al. // Conf . Nucl. Data for Science and Tech. Antwer. 1982. P. 956–957.
8. Hirst F., Johnstone I., Poole M. G. // Philos Mag. 1954. Vol. 45. № 366. P. 762–771.
9. Okamura H., Tamagawa S. // Nucl. Phys. A. 1971. V. 169. p. 401.
10. Perement F. W., Wolke R. L. // Nucl. Phys. 1966. V. 86. p. 429.



ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ SI – SiO₂ МОП-ПРИБОРОВ

В. Р. Гитлин

Воронежский государственный университет,
394016, Россия, г. Воронеж,
Университетская площадь, 1,
телефоны: +7(473)220-88-21, +7(950)778-40-09,
e-mail: nuc@phis.vsu.ru

IONIZING IRRADIATION EFFECT ON MECHANICAL STRESSES IN SI – SiO₂ SYSTEMS OF MOS-DEVICES

V. R. Gitlin

Voronezh State University
394006, Russia, Voronezh, Universitetskaya pl.1,
Phone: +7 (473) 220-88-21, +7(950)778-40-09,
e-mail: nuc@phis.vsu.ru

Исследовалось влияние радиационно-термических обработок (РТО), включающих мягкое рентгеновское (24 кэВ) облучение и низкотемпературные термические отжиги (≤ 450 °С), на внутренние механические напряжения (ВМН) в подзатворном окисле структуры Si-SiO₂. Величина ВМН контролировалась по прогибу пластин методами лазерной профилографии и голографической интерферометрии, а дефектность границы раздела Si-SiO₂ и концентрации примесей в ней – с использованием ИК-спектроскопии. Кроме того, рассматривалось влияние РТО на электрофизические параметры формируемых МОП структур (пороговые напряжения $V_{\text{пор}}$). Опытными образцами служили тестовые кремниевые пластины со сформированными на них слоями термического окисла и тестовые МОП-транзисторы (МОПТ) на чипах рабочих пластин.

Показано резкое снижение ВМН под действием РТО. На всех исследуемых образцах после проведения РТО на финишном этапе изготовления МОП-структур наблюдалось значительное (в 5–8 раз) уменьшение разброса значений $V_{\text{пор}}$ по площади рабочих пластин, а также повышение (1,5–3 раза) пробивных напряжений SiO₂ и снижение в 1,5–3 раза утечек в каналах МОПТ.

Наблюдаемые эффекты могут быть объяснены доокислением кремния в области переходной

го слоя на границе раздела Si-SiO₂ при относительно небольших температурах, не влияющих на физическую структуру МОП. С этим же связан эффект «залечивания пор», уплотнение окисла, а также упорядочивание структуры границы раздела Si-SiO₂ и вытеснение примесей (атомов химических элементов от предыдущих процессов окисления, травления, отмычки и т. д., а также атомарный кислород, кремний и различные соединения SiO_x) в электроды затвора и подложки. При воздействии РТО происходит разрыв напряженных Si-O связей на границе раздела Si-SiO₂ и переход ионизированных атомов в новое пространственное положение, соответствующее уменьшению потенциальной энергии решетки. Это позволяет нормализовать структуру.

Полученные результаты могут представлять существенный интерес для технологических процессов изготовления современных МОП ИС, включая новые разработки.

Список литературы

1. Вавилов В. С., Киселев В. Ф., Мурашев В. Н. Дефекты в кремнии и на его поверхности. М.: Наука, 1990.
2. Levin M. N., Kadmsky S. G., Gitlin V. R., Ostrouhov S. S., Pershenkov V. S. // *Microelectronics Reliability*. 2001. V. 41. № 2. P. 185.



ОБРАБОТКА ЯДЕРНЫХ СПЕКТРОВ МЕТОДОМ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО СИСТЕМЕ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ СДВИГОВ ФУНКЦИИ ГАУССА

**М. А. Долгополов, Л. А. Минин,
В. А. Работкин, А. Н. Алейников**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет»
394018, Россия, г. Воронеж,
Университетская площадь, 1,
тел.: +7 (473) 220-88-21, факс: +7 (473) 220-87-55, E-mail: robotkin@phys.vsu.ru

Спектры гамма-излучения позволяют изучать энергетические уровни ядер, исследовать

элементный и изотопный состав вещества, задачи дозиметрии, радиометрии и т. д. Аппаратурная форма линии спектра характеризуется наличием пиков полного поглощения (результат фотоэффекта) и непрерывного распределения энергий комптоновских электронов плюс фоновое излучение [1]. Для решения прикладных задач необходимо находить оценки параметров пиков – положение, полуширины и площади. В данной работе предлагается следующая технология обработки спектра:

1. Аппроксимировать пики линейной комбинацией равномерных сдвигов функции Гаусса [2].
2. Характеристики пиков вычислять не по точкам, а аналитически, с помощью интеграла Пуассона и функции ошибок.
3. Поскольку функции Гаусса выбираются несколько раз для уже изучаемых пиков, то появляется возможность на данном представлении сигнала рассматривать разные модели несимметричности пиков.
4. Фильтрация сигнала без существенного изменения параметров пиков осуществляется с помощью сглаживающей интерполяции по сдвигам функции Гаусса.

Общий вывод таков: аппроксимация спектра гамма-излучения позволяет рассматривать различные модели сигнала по единообразному представлению спектра с помощью системы равномерных сдвигов функции Гаусса, привлекаемая при этом аналитические методы расчета характеристик изучаемых пиков.

Список литературы

1. *Practical Gamma-ray Spectrometry* 2nd Edition, Gordon R. Gilmore, Nuclear Training Services Ltd, Warrington, UK, 2008 John Wiley & Sons Дуглас Райли.
2. Киселев Е. А., Минин Л. А., Новиков И. Я., Ситник С. М. О константах Рисса для некоторых систем целочисленных сдвигов // *Математические заметки*, 2014. 96:2, 239–250.



PROCESSING OF INTERPOLATION NUCLEAR SPECTRA BY SYSTEM OF GAUSS FUNCTIONS INTEGER SHIFTS

**M. A. Dolgoplov, L. A. Minin, V. A. Rabotkin,
A. N. Aleinikov**

Voronezh State University
394018, Russia, Voronezh, Universitetskaya sq., 1,
phone: +7 (473) 220-88-21, fax: +7 (473) 220-87-
55, E-mail: rabotkin@phys.vsu.ru

Gamma irradiation spectra allows to study nuclear energetic levels, to research elementary and isotope composition of matter, dose metering goals, radiometry etc.

Instrumental spectrum line form is characterized by total absorption peaks (as a photo-effect result) and continuous distribution of Compton electrons energies plus background irradiation [1].

For applied tasks solutions it is necessary to estimate peaks parameters – position, halfwidth and square.

The following method is proposed in this paper:

1. To approximate peaks by means of Gauss function regular shifts linear combination [2]

2. Peaks characteristics are evaluated by Poisson integral and error function

3. Gauss functions are chosen several times for investigated peaks, thus we have an opportunity to consider different models of signal asymmetry.

4. Gauss function flattering interpolation allows filtering without significant parameters changing.

General conclusion is :gamma-spectra approximation allows to consider different signal models by means of uniform spectrum decomposition of Gauss functions integer shifts system . We can also involve analytical methods of studied peaks evaluation.

References

1. Practical Gamma-ray Spectrometry 2nd Edition, Gordon R. Gilmore, Nuclear Training Services Ltd, Warrington, UK, 2008 John Wiley & Sons Дуглас Райли.

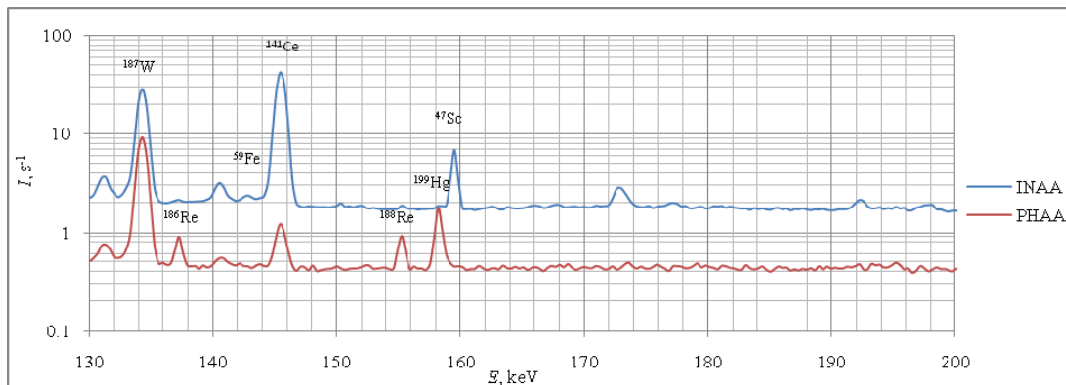
2. Е. А. Киселев, Л. А. Минин, И. Я. Новиков, С. М. Ситник, “О константах Рисса для некоторых систем целочисленных сдвигов”, Математические заметки, 96:2 (2014), 239 – 250.

РАЗВИТИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

В. Г. Зиновьев, А. И. Егоров, И. А. Митропольский, И. С. Окунев, Г. И. Шуляк

Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова
188300, Ленинградская обл., г. Гатчина,
ФГБУ «ПИЯФ», mitrplsk@pnpi.spb.ru

Для исследования состава и оценки степени аккумуляции Pt, Au, ЭПГ и РЗЭ в образцах, отобранных в районе Карской астроблемы, были разработаны методики инструментального и радиохимического нейтронно-активационного анализа. Первая методика позволила определить массовое



содержание 28 элементов с пределами обнаружения в диапазоне от $10^{-4}\%$ до $10^{-8}\%$ и погрешностью измерения 3–20 %.

Входная скорость счета в 5 раз меньше, а соотношение сигнал – фон в 82 раз лучше при регистрации гамма-излучения образца прошедшего ионообменное хроматографическое разделение по сравнению со спектром неразделенного образца. Спектры гамма-излучения для образца Милоградского золотосеребряного месторождения представлены на рисунке.

Сравнение результатов определения низких содержаний рения в углеродсодержащих горных породах со сложной матрицей – в углеродистых аргиллитах (так называемых диктионемовых сланцах) методами ИСП-МС и НАА показало допустимое относительное расхождение результатов.



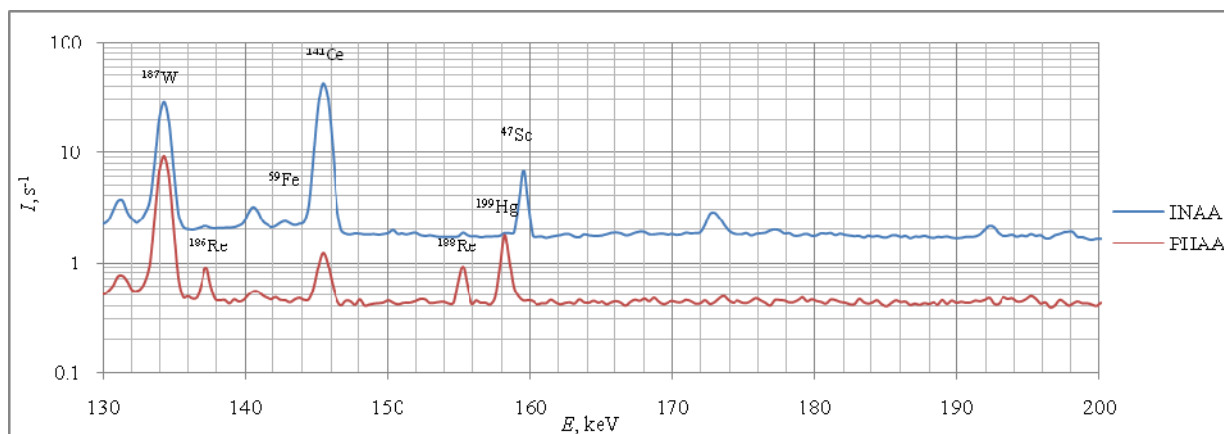
DEVELOPMENT OF NUCLEAR-PHYSICAL METHODS FOR DETERMINATION OF THE GEOLOGICAL SAMPLES ELEMENT COMPOSITION

V. G. Zinoviev, A. I. Egorov, I. A. Mitropolsky,
I. S. Okunev, G. I. Shulyak

B. P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute
PNPI, Gatchina, Leningrad reg., 188300, Russia
mitrplsk@pnpi.spb.ru

For study of the composition and evaluation of the degree of accumulation of Pt, Au, PGE and REE in the samples taken in the Kara impact structure, were developed methods of the instrumental and radiochemical neutron activation analysis. The first method made it possible to determine the mass content of 28 elements with detection limits in the range from $10^{-4}\%$ to $10^{-8}\%$ and measuring uncertainties of 3-20%.

For gamma-radiation of the sample after the ion-exchange chromatographic separation the input count rate is 5 times less and the ratio of signal to background is 82 times better compared to the spectrum of the sample undivided. Spectra of gamma-radiation for sample Milogradovskoe gold-silver deposits are presented in the figure.



Comparison of the results of determination of low content of rhenium in carbonaceous rocks with a complex matrix (the so-called dictyonema shales) by ICP-MS and NAA showed permissible relative discrepancy between the both methods.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛО-
НУКЛОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С
ТРЕМЯ И БОЛЕЕ ЧАСТИЦАМИ В
КОНЕЧНОМ СОСТОЯНИИ**

С. В. Зувев, А. А. Каспаров, Е. С. Конобеевский

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт ядерных
исследований Российской академии наук
117312 Москва, проспект 60-летия Октября д.7а
Телефон: (499)135 7760. Факс: (499)135 2268.
E-mail: kasparov200191@gmail.com

При исследовании прямых реакций с мало-
нуклонными системами возникает необходи-
мость в кинематическом моделировании этих
реакций. Такие эксперименты обычно сопрово-
ждаются различными фоновыми реакциями, ко-
торые также необходимо учитывать. При этом
число частиц в конечном состоянии как иссле-
дуемых, так и фоновых реакций может быть бо-
лее трех. Для этой цели была создана компью-
терная программа, позволяющая проводить ки-
нематическое моделирование ядерных реакций с
различным числом частиц в конечном состоянии
(3, 4, 5...). В программе по произвольно задан-
ным кинетическим энергиям и углам разлета
вторичных частиц отбираются только те реше-
ния, которые удовлетворяют выполнению зако-
нов сохранения энергии и импульса с заданной
заранее точностью. Результаты моделирования
позволяют определить оптимальные условия
эксперимента (углы регистрации вторичных час-
тиц и соответствующие им интервалы энергий,
необходимые угловые и энергетические разре-
шения детекторов и др.) и вклады фоновых про-
цессов. Приведены примеры расчетов некоторых
ядерных реакций.

Исследование выполнено при финансовой
поддержке РФФИ в рамках научного проекта
№ 16-32-00743 мол_а.

**MATHEMATICAL SIMULATION
OF FEW-NUCLEON EXPERIMENTS
WITH THREE AND MORE PARTICLES
IN THE FINAL STATE**

A. A. Kasparov, E. S. Konobeevsky, S. V. Zuyev

Institute for Nuclear Research of the Russian
Academy of Sciences
117312, Moscow, prospekt 60-letiya Oktyabrya, 7a
Tel.: (499)135 7760. Fax: (499)135 2268.
E-mail: kasparov200191@gmail.com

In the study of direct reactions with few-
nucleon systems there is a need in the kinematical
simulation of these reactions. Such experiments are
usually accompanied by various background
reactions which also need to be considered. The
number of particles in the final state of both studied
and background reactions could be more than three.
For this goal we have created a computer program
which allows carrying out kinematical simulation of
nuclear reactions with a different number of
particles in the final state (3, 4, 5...). In the
program, for arbitrary chosen kinetic energies and
scattering angles of secondary particles, the
solutions which satisfy the laws of energy and
momentum conservation, with a given in advance
accuracy, are selected. The simulation results allow
determining the experimental conditions (the
detection angles and the corresponding energy
intervals of secondary particles, needed angular and
energy resolutions of the detectors, etc.) and the
contributions of the background processes. The
simulation results of several nuclear reactions are
presented.

The reported study was partially supported by
RFBR, research project № 16-32-00743 мол_а.



БАЗА ДАННЫХ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПО ВРЕМЕНАМ ЖИЗНИ ЯДЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ

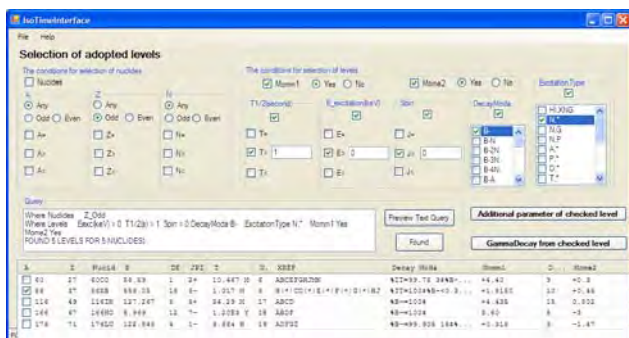
Л. П. Кабина, С. С. Лисин,
И. А. Митропольский

Петербургский институт ядерной физики
им. Б. П. Константинова
188300, Ленинградская обл., г. Гатчина,
ФГБУ «ПИЯФ»,
mitrplsk@pnpi.spb.ru

Реляционная база данных ISOTIME построена на основе файла ENSDF. База данных ориентирована на свойства ядерных состояний, для которых измерены времена жизни, и содержит:

- оцененные характеристики состояний (атомный номер и заряд ядра, энергия возбуждения уровня, спин и четность, период полураспада, электрический и магнитный моменты);
- ядерные реакции, в которых данное состояние возбуждается;
- моды и характеристики распада;
- энергии, интенсивности, мультипольности и коэффициенты конверсии гамма-лучей, сопровождающих данный распад.

Для выборки данных, их статистического анализа и систематики разработан многооконный интерфейс пользователя, что не исключает возможность использования стандартного интерфейса MS ACCESS и языка SQL. Результаты выборки можно вывести на печать, а также сохранить для последующей графической обработки.



DATABASE AND USER INTERFACE ON THE LIFETIMES OF NUCLEAR STATES

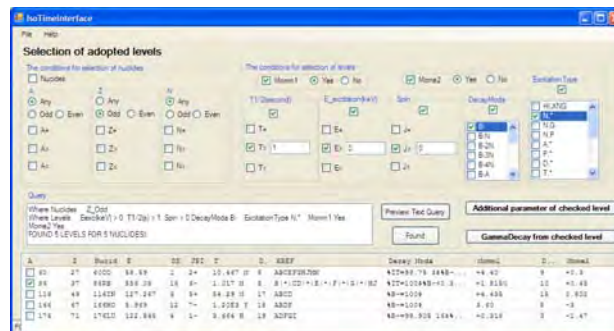
L. P. Kabina, S. S. Lisin, I. A. Mitropolsky

B. P. Konstantinov Petersburg
Nuclear Physics Institute
PNPI, Gatchina, Leningrad reg., 188300, Russia
mitrplsk@pnpi.spb.ru

The relational database ISOTIME is based on the ENSDF file. The database is focused on properties of nuclear states for which the lifetimes have been measured. It contains:

- evaluated characteristics of the states (atomic number and nuclear charge, the excitation energy, spin and parity of the level, the half-life, electric and magnetic moments);
- nuclear reaction in which the state is excited;
- mode and characteristics of its decay;
- energy, intensity, multipolarity and the conversion coefficients of gamma-rays accompanying the decay.

An user interface for data selection, statistical analysis and systematics was developed, that does not exclude the possibility of using the standard interface of MS ACCESS and the SQL language. The selection results can be printed and saved for subsequent graphic processing.



СИСТЕМАТИКИ ВРЕМЕН ЖИЗНИ ЯДЕРНЫХ СОСТОЯНИЙ

Л. П. Кабина, С. С. Лисин, И. А. Митропольский

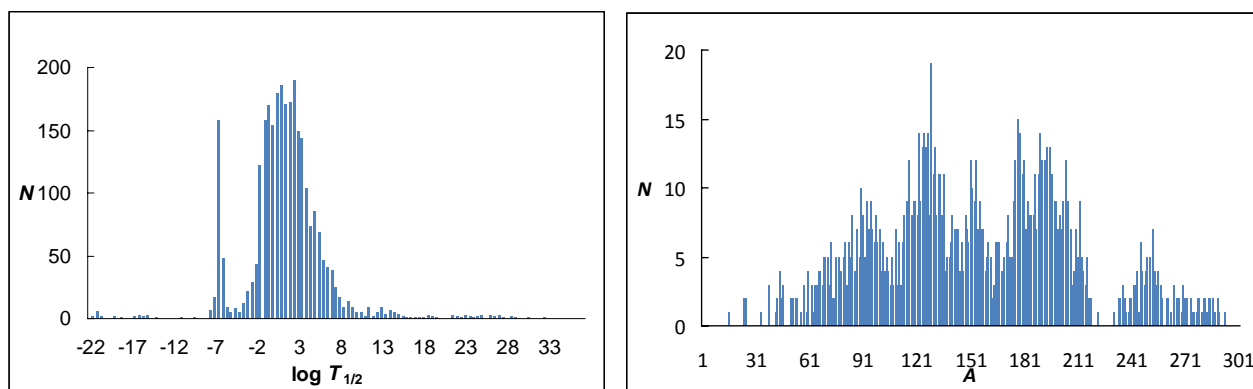
Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, ФГБУ «ПИАФ»

mitrplsk@pnpi.spb.ru

В докладе рассматриваются свойства ядерных состояний с известным временем жизни из файла оцененных ядерных данных ENSDF 2016 г. Всего представлены времена жизни 25669 уровней в 3170 нуклидах. Из них выделены времена жизни основных состояний (2817 нуклидов), времена жизни возбужденных состояний и времена жизни ядерных изомеров. Систематика времен жизни проводится по энергии возбуждения, спину и четности состояния, модам распада и каналам возбуждения.

На левом графике показано распределение нуклидов по времени жизни основного состояния. Систематика свойств основных состояний по модам и характеристикам распада подтверждает хорошо известные закономерности на более полном числовом материале и может быть положена в основу новой карты нуклидов.

Систематика времен жизни возбужденных состояний проводится на основе одночастичных оценок вероятностей электромагнитных переходов. Особое внимание уделено свойствам ядерных изомеров (правый график), выделяется роль способов их возбуждения.



Распределение нуклидов по времени жизни основного состояния (слева) и распределение ядерных изомеров с $T_{1/2} > 10^{-6}$ с по атомному номеру (справа)



SYSTEMATICS OF THE LIFETIMES OF NUCLEAR STATES

L. P. Kabina, S. S. Lisin, I. A. Mitropolsky

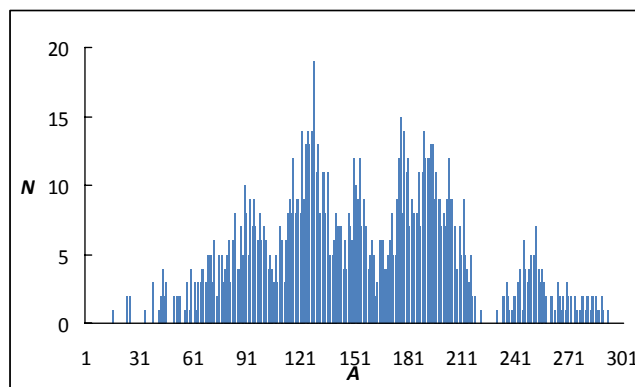
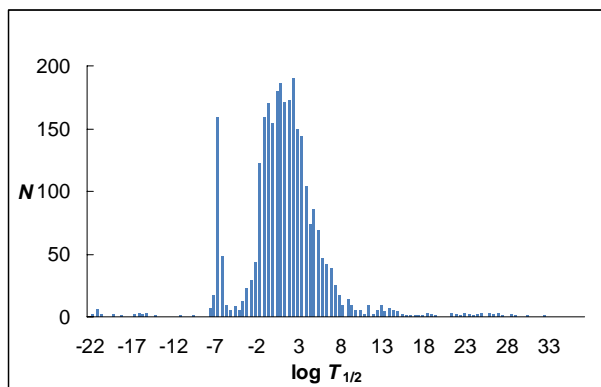
B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute PNPI, Gatchina, Leningrad reg., 188300, Russia
mitrplsk@pnpi.spb.ru

Properties of nuclear states with measured lifetimes from the evaluated nuclear data file ENSDF 2016 are presented. There are 25669 values of the lifetimes in 3170 nuclides. The lifetimes of the nuclear ground states (2817 nuclides), the lifetimes of the excited states and the lifetimes of nuclear isomers are

selected. Systematics of the lifetimes is carried out according to excitation energy, spin and parity, the decay modes and channels of excitation.

Distribution of nuclides at its ground state lifetime is shown on the left graph. Systematics of the ground state properties at the mode and the characteristics of the decays confirms the well-known regularities on a more complete numerical material and can be used as the basis for a new map of the nuclides.

Systematics of the lifetimes of the nuclear excited states is based on the single-particle estimates of the electromagnetic transition probabilities. Special attention is paid to the properties of nuclear isomers (right graph), the role of the methods of their excitation is highlighted.



The distribution of nuclides on its ground state lifetimes (left) and distribution of nuclear isomers with $T_{1/2} > 10^{-6}$ on its atomic number (right)



**ОБРАБОТКА ГРАФИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВВОДА
ЧИСЛОВЫХ ДАННЫХ В
БИБЛИОТЕКУ EXFOR**

**Г. Н. Пикулина, С. М. Таова, С. А. Дунаева,
С. М. Селянкина**

Российский федеральный ядерный центр – Все-
российский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
607188, г. Саров Нижегородской обл., проспект
Мира, 37.

Факс: (83130) 4-55-69; e-mail:
pikulina@expd.vniief.ru

**GRAPHIC DATA PROCESSING
FOR NUMERIC DATA INPUT
INTO THE EXFOR LIBRARY**

**G. N. Pikulina, S. M. Taova, S. A. Dunaeva,
S. M. Selyankina**

Russian Federal Nuclear Center – All-Russian
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhni Novgorod region,
Mira Ave., 37.

Fax: (83130) 4-55-69; e-mail:
pikulina@expd.vniief.ru

Обеспечение ввода достоверных экспери-
ментальных числовых значений по ядерным ре-
акциям на основании графической информации
из старых журналов рассматривается как от-
дельная специфическая задача. Получить число-
вые данные непосредственно у авторов экспери-

ментов уже невозможно, потому единственный способ заключается в оцифровке приведенных в статьях графиков.

Для ввода числовых данных, получаемых при сканировании исходных документов или из файлов формата PDF, сотрудники Центра ядерно-физических данных ВНИИЭФ разработали программу по обработке графической информации InpGraph. Она входит в состав программного комплекса EXFOR-Editor и выполняет следующие функции:

- импорт графического изображения в программную среду для последующей обработки;
- корректировку изображений при необходимости;
- задание служебной информации в соответствии с форматом EXFOR;
- задание осей графика: ввод названий и размерности, определение направлений осей и задание их масштаба в ручном или автоматическом режиме;
- непосредственную оцифровку кривых;
- математическую обработку данных: получение числовых данных в физических координатах;
- экспорт скомпилированных данных в формате библиотеки EXFOR.

Программа InpGraph работает в операционной среде Microsoft Windows 2003/07 и выше и обладает простым логичным интерфейсом, доступным для освоения. Программа пользуется популярностью у сотрудников международных центров данных по ядерным реакциям.



ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ТОКОВЫХ И СЧЕТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ

**Г. Н. Пикулина, М. А. Овчинников,
А. С. Кошелев, В. А. Юхневич,
Ю. М. Дроздов, И. М. Пискорский**

Российский федеральный ядерный центр –
Всероссийский научно-исследовательский
институт экспериментальной физики
607188, г. Саров Нижегородской обл.,
проспект Мира, 37.
Факс: (83130) 4-55-69;
e-mail: pikulina@expd.vniief.ru

ARRANGEMENT OF COMPREHENSIVE PHYSICAL MEASUREMENTS OF RADIATION PARAMETERS FOR RESEARCH NUCLEAR FACILITY WITH THE HELP OF CURRENT AND COUNT MEASUREMENT MODULES

**G. N. Pikulina, M. A. Ovchinnikov,
A. S. Koshelev, V. A. Yukhnevich,
Yu. M. Drozdov, I. M. Piskorskij**

Russian Federal Nuclear Center – All-Russia
Research Institute of Experimental Physics
607188, Sarov, Nizhni Novgorod region,
Mira Ave., 37.
Fax: (83130) 4-55-69; e-mail:
pikulina@expd.vniief.ru

ВНИИЭФ располагает постоянно совершенствуемым арсеналом специализированных средств измерения, ориентированных на диагностику радиационных полей реакторных установок как в импульсном, так и в статическом режимах работы, и разнообразными средствами и методиками метрологического обеспечения.

В настоящее время назрела потребность в создании измерительных комплексов для регистрации параметров ионизирующего излучения, учитывая накопленный опыт работы на реакторных установках и построения контрольно-измерительных систем. В докладе рассматрива-

ются подходы к проектированию таких комплексов как совокупности программных и технических средств, которые реализуют возможности наработанных методик, на примере последних разработок: специализированного многофункционального измерительного комплекса (СМИК) и реактиметра.

Данные разработки представляют собой системы сбора и обработки данных, которые могут функционировать самостоятельно и встраиваться в автоматизированные измерительные системы. При их построении использовался блочно-модульный принцип с единым центром обработки зарегистрированных сигналов. Они легко адаптируются к конкретным исследовательским ядерным установкам и, при необходимости, модернизируются.

Аппаратная часть комплексов представляет собой набор аттестованных счетных и токовых каналов измерения, число которых обусловлено конкретной областью применения и решаемыми задачами. Диапазон измерения силы тока от детекторов – от $1,0 \cdot 10^{-11}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$ А; диапазон измерения скорости счета от детекторов – от 0 до $1 \cdot 10^5$ имп./с. Функциональное назначение комплексов определяется управляющим программным обеспечением.

Результаты проверки работоспособности СМИК и реактиметра на исследовательском реакторе в полной мере подтвердили целесообразность внедрения в практику данных измерительных комплексов на других установках.



ОЦЕНЕННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$

С. М. Селянкина¹, С. М. Таова¹,
Л. Н. Генералов¹, В. А. Жеребцов¹,
К. А. Липенкова², Л. В. Тулина²

¹ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ,
Институт Ядерной и Радиационной Физики
607188, Нижегородская область,
г. Саров, проспект Мира, 37
факс: (831-30) 4-45-69;
e-mail: selyankina@expd.vniief.ru

²Саровский Физико-Технический Институт

EVALUATED INTEGRAL CROSS SECTIONS OF THE ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ REACTION

S. M. Selyankina¹, S. M. Taova¹,
L. N. Generalov¹, V. A. Zherebtsov¹,
K. A. Lipenkova², L. V. Tulina²

1RFNC-VNIIEF,
Institute of Nuclear and Radiation Physics
607188, Nizhny Novgorod region,
Sarov, Mira Ave, 37
fax: (831-30) 4-45-69;
e-mail: selyankina@expd.vniief.ru
2Sarov Physical-Technical Institute

Продолжена деятельность по развитию библиотеки оцененных и экспериментальных ядерных данных SaBa, созданной в РФЯЦ-ВНИИЭФ [1]. Получены новые оцененные данные по энергетической зависимости интегральных сечений реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$. В настоящей версии SaBa в качестве приближающей используется функция, в общем случае состоящая из суммы гладкой части и резонансной. Гладкая часть описывается кубическими сплайнами. Для описания резонансной области используются лоренцианы.

Аппроксимирующая функция строится поэтапно: сначала часть данных, выделенных в конкретном энергетическом диапазоне, приближается резонансами, если таковые присутствуют, затем из всех данных вычитается найденное приближение. Под резонансным выражением с числом пиков n и фоном степени p в SaBa принимается функция вида

$$R_{n,p} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{H_i (\Gamma_i / 2)^2}{(x - E_i)^2 + (\Gamma_i / 2)^2} + \sum_{j=0}^p a_j (x - x_0)^j,$$

где E_i – положение пика, H_i – высота пика, Γ_i – ширина пика на половине его высоты, x_0 – левая граница интервала, на котором определены приближаемые данные. Фон представляется в виде полинома по степеням $x - x_0$; a_j – коэффициенты фона. В некоторых случаях фоном можно пренебречь.

Для получения новых оценённых данных по реакции ${}^7\text{Li}(p,\alpha){}^4\text{He}$ был проведён анализ экспериментальных данных, уже существующих в библиотеке SaBa, и осуществлён поиск новых

данных в отечественных и зарубежных литературных источниках.

Список литературы

1. Zvenigorodskij A. G., Zhrebtsov V. A., Lazarev L. M., Dunaeva S. A., Generalov L. N., Taova S. M., Kamskaya E. V., Marshalkina R. I. The library of evaluated and experimental data on charged particles for fusion application // IAEA-NDS-191. Dec. 1999.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ В ИФТП В ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ПОДКРИТИЧНОЙ СБОРКЕ ${}^{238}\text{U}$ НУКЛОТРОНА ОИЯИ

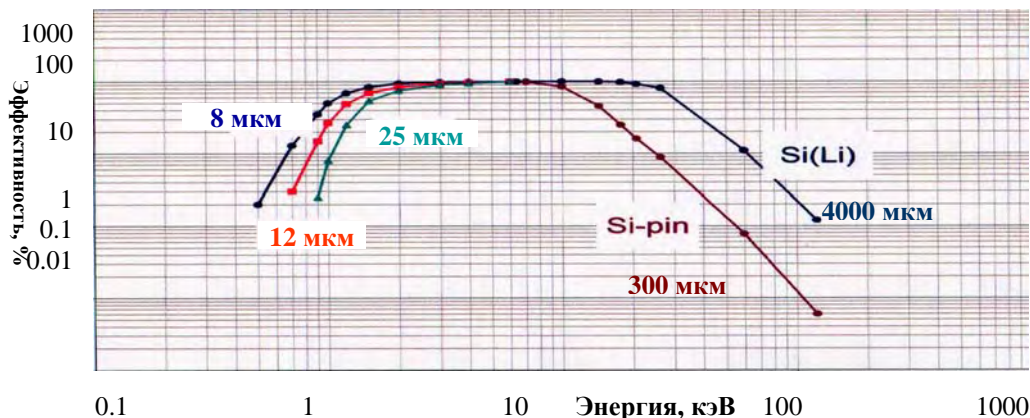
²А. А. Смирнов, ¹С. И. Тютюнников, ²И. А. Каплунов, ¹В. И. Стегайлов

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia,

²Join Stock Company «The Institute of Physical-Technical Problems», Dubna, Russia
Объединенный институт ядерных исслед., ул. Жолио-Кюри, 6, г. Дубна, Моск. обл., 14
тел. (49621)62175, e-mail: asmirnov@iftp.ru ,stegajlov2013@yandex.ru

В исследованиях проводимых с подкритичной сборкой ${}^{238}\text{U}$ [1] применялись различные типы полупроводниковых детекторов на основе германия, кремния, алмаза. При этом использовались возможности методической базы ИФТП [2] по изготовлению специализированных детекторов и измерительных методик.

Охлаждаемые жидким азотом блоки детектирования для спектрометрии: – гамма-излучения (германиевые), рентгеновского излучения (германиевые планарные или кремниевые в зависимости от задачи) могут быть различного исполнения (см. рис.).



В течение ряда лет в нашей стране и за рубежом был выполнен большой объем исследований, направленных на создание совершенных кристаллов CdTe и CdZnTe и детекторов фотонного излучения на их основе, используемых нами. Принципиальным преимуществом детекторов такого типа

является способность регистрации спектров гамма и рентгеновского излучений с более высоким энергетическим разрешением, чем у сцинтилляционных детекторов без использования жидкого азота для их охлаждения.

Измерения нейтронного излучения ведутся также с помощью алмазных детекторов, позволяющих работать в сильных полях излучений.

Литература

1. Smirnov A. A., Stegailov V. I., Tyutyunnikov S. I. et al. // «Nucleus2015», St-Petersburg, P. 257.
2. E-mail: iftp@dubna.ru



USE OF IPTP DETECTORS IN EXPERIMENTS AT THE ^{238}U SUBCRITICAL ASSEMBLY OF THE JINR NUCLOTRON

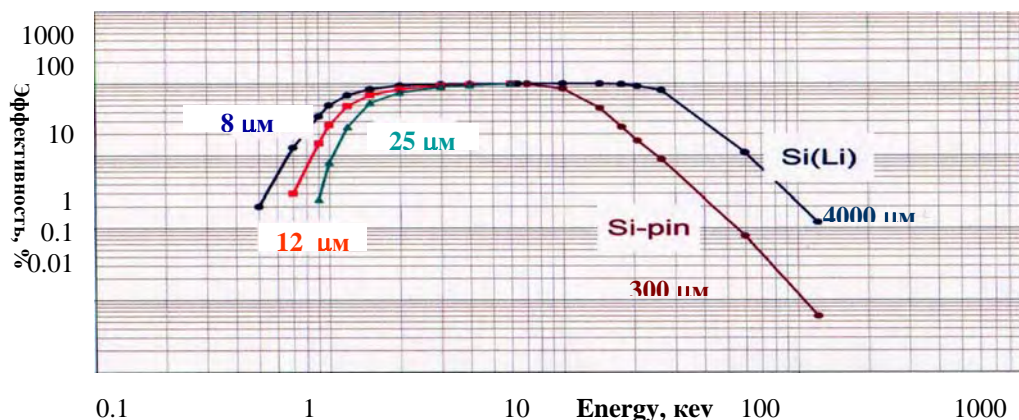
A. A. Smirnov², S. I. Tyutyunnikov¹, I. A. Kaplunov², and V. I. Stegailov¹

¹ Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

² Institute of Physical and Technological Problems (Joint Stock Company) Dubna, Russia
Joint Institute for Nuclear Research, ul. Joliot-Curie 6, Dubna, Moscow region, 141980 Russia
e-mail: asmirnov@iftp.ru, stegajlov2013@yandex.ru

Investigations with the ^{238}U subcritical assembly [1] were carried out using various types of semiconductor detectors based on germanium, silicon, and diamond. Also, methodological capabilities of IPTP [2] for fabrication of dedicated detectors and development of measuring techniques were used.

Liquid-nitrogen-cooled detectors for gamma spectroscopy (Ge-based) and X-ray spectroscopy (planar Ge-based or Si-based depending on objectives) can be of different designs (see the figure).



For a few years a lot of investigations have been performed in Russia and abroad with a view to developing perfect CdTe and CdZnTe crystals and photon detectors based on them, which are used in our research. A fundamental advantage of detectors of this type is the ability to detect gamma and X-ray spectra with a higher energy resolution than scintillation detectors without liquid nitrogen cooling.

Neutron radiation is also measured using diamond detectors capable of operating in strong radiation fields.

References

1. Smirnov A. A., Stegailov V. I., Tyutyunnikov S. I., et al. // Nucleus 2015, St-Petersburg, P. 257.
2. E-mail: iftp@dubna.ru

