

ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК НЕЙТРОНОВ ГНЕЙС

О. А. Щербаков *, *А. С. Воробьев*, *Е. М. Иванов*

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константина
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Гатчина, Россия

Приведено краткое описание импульсного нейтронного источника испарительного типа и нейтронного времяпролетного спектрометра ГНЕЙС на базе синхротрона ПИЯФ в Гатчине с энергией протонов 1 ГэВ. Основные параметры установки ГНЕЙС даны в сравнении с аналогичными устройствами мирового уровня. Экспериментальные возможности ГНЕЙС продемонстрированы с помощью примеров некоторых экспериментов в области ядерной физики и прикладных исследований, выполненных в течение сорокалетнего периода его эксплуатации.

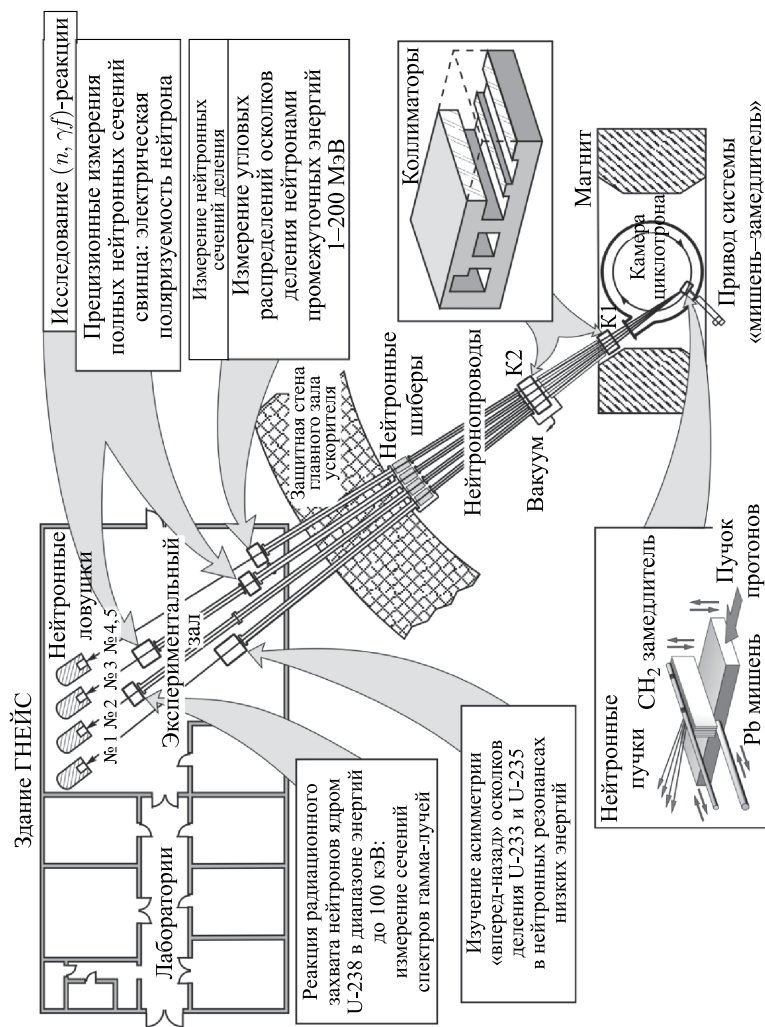
A brief description of the spallation pulsed neutron source and neutron TOF spectrometer GNEIS based on the 1-GeV proton synchrocyclotron of PNPI in Gatchina is presented. The main parameters of GNEIS are given in comparison with the analogous world-class facilities. The experimental capabilities of GNEIS are demonstrated by the examples of some nuclear physics and applied research experiments carried out during four decades of its operation.

PACS: 25.40.Sc; 29.25.Dz; 29.30.Hs; 25.40.Ny; 25.85.Ec

ОПИСАНИЕ НЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА

Синхротрон ПИЯФ с энергией протонов 1 ГэВ был запущен в 1969 г. Несколько лет спустя (1975) начали действовать созданные на базе ускорителя нейтронный источник испарительного типа (spallation) и времяпролетный спектрометр ГНЕЙС [1]. Начиная с этого времени ГНЕЙС эффективно использовался для изучения взаимодействия нейтронов с атомными ядрами с применением метода времени пролета в широком диапазоне энергии нейтронов (от тепловых до нескольких сотен мегаэлектронвольт) как для фундаментальной ядерной физики, так и для прикладных исследований. Охлаждаемая водой свинцовая мишень (40 см × 20 см × 5 см) нейтронного источника ГНЕЙС расположена внутри вакуумной камеры ускорителя (рисунок) ниже медианной плоскости. Короткий (~ 10 нс) импульс быстрых нейтронов возникает, когда циркулирующий в камере протонный банч отклоняется

*E-mail: shcherbakov_oa@pnpi.nrcki.ru



Общий вид установки ГНЕИС

и с частотой повторения ≤ 50 Гц сбрасывается на мишень. При средней величине внутреннего тока протонов 3 мкА и величине нейтронного выхода ~ 20 нейтронов/протон при энергии 1 ГэВ средняя величина интенсивности быстрых нейтронов равна $\sim 3 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$. Нейтронный источник оснащен полиэтиленовым замедлителем (30 см \times 10 см \times 5 см), расположенным выше мишени и медианной плоскости. Дистанционно управляемые мишень и замедлитель могут перемещаться в горизонтальном и вертикальном направлениях для выбора оптимального положения при настройке ускорителя и нейтронного источника. Пять нейтронных пучков транспортируются внутри вакуумированных труб сквозь защитную стену главного зала ускорителя (из тяжелого бетона толщиной 6 м) в экспериментальный зал установки ГНЕЙС. Пучки оборудованы коллиматорами из стали и бронзы, стальными шиберами и ловушками из стали и бетона. Измерительные станции экспериментального оборудования размещаются в здании ГНЕЙС (15 м \times 30 м) на пролетных базах длиной 35–50 м. Нейтронные пучки № 1–4, оси которых проходят через замедлитель, имеют нейтронный спектр вида $1/E^\alpha$ ($\alpha = 0,9$) и предназначены для измерений на резонансных нейтронах со значениями энергии 1 эВ – 100 кэВ. Нейтронный пучок № 5, ось которого проходит через поверхность свинцовой мишени, имеет типичную форму спектра, состоящего из испарительной и каскадной компонент в области энергии нейтронов 0,1–1000 МэВ.

СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ УСТАНОВКАМИ

В настоящее время на европейском нейтронном ландшафте можно выделить четыре импульсных нейтронных источника, расположенные в России, а именно: ГНЕЙС (Гатчина), ИРЕН и ИБР-2 (Дубна), ИН-06 (Троицк). Только первые два из них используются сейчас для нейтронной резонансной спектроскопии.

Параметры ГНЕЙС и других нейтронных источников

Нейтронный источник (лаборатория)	Интенсивность, 10^{15} с^{-1}	Ширина импульса, нс	Коэффициент качества, $10^{30} \text{ нейтрон/с}^3$
ГНЕЙС (ПИЯФ, Гатчина)	0,3	10	3,0
ИРЕН (ОИЯИ, Дубна, проект)	1,0	400	0,0062
n_TOF (ЦЕРН, Швейцария)	0,4	6	11
LANSCÉ (LANL, США)	10	1–125	100*
ORELA (ORNL, США)	0,13	2–30	1,3*
GELINA (IRMM, Бельгия)	0,025	1	25

Примечание. Коэффициент качества нейтронного источника определяется как интенсивность/(длительность импульса)². Значения коэффициента качества со значком * соответствуют длительности импульса 10 нс.

скопии по времени пролета, и только ГНЕЙС может успешно конкурировать с лучшими нейтронными источниками и времяпролетными установками, работающими за рубежом. В приведенной таблице дано сравнение ГНЕЙС с установками мирового уровня.

Следует подчеркнуть, что ГНЕЙС и другие нейтронные источники типа «spallation» имеют верхний предел нейтронного спектра вплоть до 1 ГэВ, что значительно превышает аналогичную величину установок на базе линейных ускорителей электронов (ниже 100 МэВ). Эта особенность ставит источники нейтронов испарительного типа вне конкуренции для исследований в области промежуточных энергий (несколько сотен МэВ).

ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА УСТАНОВКЕ ГНЕЙС

Высокие интенсивность и энергетическое разрешение ГНЕЙС позволяют проводить измерения полных и парциальных нейтронных сечений (захват, деление и т. п.) с высокой точностью и надежностью. На вставках рисунка приведены названия основных экспериментов, выполненных на ГНЕЙС. Первый из них был посвящен изучению $(n, \gamma f)$ -реакции на ядрах ^{235}U и ^{239}Pu в области энергии 1–200 эВ, которая представляет собой индуцированное нейтроном деление после предварительного испускания одного или нескольких γ -квантов [2, 3]. В другом эксперименте исследовался так называемый слабый резонанс «2-го типа» при энергии 720 эВ в подбарьерном делении ^{238}U [3]. В следующем эксперименте [4] точность измерений нейтронного сечения деления была увеличена с 1–2 % [2, 3] до 0,2–0,5 % с целью оценить эффект асимметрии разлета осколков деления «вперед-назад» и получить параметры очень слабых p -резонансов ^{233}U и ^{235}U , не наблюдаемых с помощью обычных методов при делении медленными нейтронами. Из результатов высокоточных измерений полных нейтронных сечений изотопов свинца ниже 10 кэВ была получена надежная оценка величины электрической поляризуемости нейтрона [5]. Уникальные экспериментальные данные для ряда ядер-актининов и неделиющихся ядер были получены из измерений нейтронных сечений деления [6, 7] и анизотропии осколков деления [8] в области энергии нейтронов 1–200 МэВ, где ГНЕЙС успешно конкурирует с установками LANSCE и n_TOF. В течение последних нескольких лет нейтронный пучок № 5 установки ГНЕЙС с атмосфероподобным спектром нейтронов успешно используется для радиационных испытаний электронной компонентной базы [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря своим уникальным параметрам нейтронный источник и времяпролетный спектрометр ГНЕЙС до сих пор занимают важное место в мировом списке нейтронных установок, эффективно используемых для науки и

техники. Это было бы невозможно без усилий многих сотрудников Петербургского института ядерной физики, творческую активность и доброжелательное отношение которых мы высоко ценим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Abrosimov N. K. et al.* Neutron Time-of-Flight Spectrometer GNEIS at the Gatchina 1 GeV Proton Synchrocyclotron // *Nucl. Instr. Meth. A.* 1985. V. 242. P. 121–133.
2. *Щербakov O. A.* Экспериментальные исследования $(n, \gamma f)$ -реакции // *ЭЧАЯ.* 1990. Т. 21, вып. 2. С. 419–466.
3. *Shcherbakov O. A., Laptev A. B.* Prefission and Capture Gamma-Rays in Neutron Resonances of ^{235}U , ^{238}U and ^{239}Pu // *Proc. of Intern. Symp. "Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics"*, Santa Fe, N. M., 1999 / Ed. S. Wender. Melville, N. Y: Am. Inst. of Phys. 2000. V. 529. P. 710–712.
4. *Гагарский А. М. и др.* Исследование свойств p -резонансов в делении ^{235}U нейтронами с энергией 1–136 эВ // *Письма в ЖЭТФ.* 1991. Т. 54. С. 9–12.
5. *Laptev A. B. et al.* Neutron Total Cross Sections of ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb and ^{208}Pb and the Neutron Electric Polarizability // *J. Nucl. Sci. Technol.* 2002. Suppl. 2. V. 1. P. 327–330.
6. *Shcherbakov O. A. et al.* Neutron-Induced Fission of ^{233}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{239}Pu , ^{237}Np , ^{209}Bi and ^{209}Bi Relative to ^{235}U in the Energy Range 1–200 MeV // *Ibid.* P. 230–233.
7. *Laptev A. B. et al.* Neutron-Induced Fission Cross-Sections of ^{240}Pu and ^{243}Am in the Energy Range 1–200 MeV // *Nucl. Phys. A.* 2004. V. 734. P. E45–E48.
8. *Vorobyev A. S. et al.* Anisotropy of the Fission Fragments from Neutron-Induced Fission in Intermediate Energy Range 1–200 MeV // *JETP Lett.* 2015. V. 102, No. 4. P. 231–234.
9. *Абросимов Н. К. и др.* Создание и экспериментальное исследование пучка нейтронов на синхроциклотроне ПИЯФ для тестирования компонентов электроники на радиационную стойкость // *ПТЭ.* 2010. № 4. С. 5–12.