

УДК 537.9;548.734

СПЕКТРОМЕТР НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ INDIGO (INDIRECT GEOMETRY) НА КОМПАКТНОМ ИСТОЧНИКЕ НЕЙТРОНОВ ИМПУЛЬСНОГО ТИПА DARIA

© 2021 г. А. Е. Павлова^{a, b, *}, А. О. Петрова^b, П. И. Коник^{b, **}, К. А. Павлов^{a, b}, С. В. Григорьев^{a, b}

^aСанкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, 198504 Россия

^bПетербургский институт ядерной физики, Гатчина, 188301 Россия

*e-mail: pavlovanastasia668@gmail.com

**e-mail: 104pet104@gmail.com

Поступила в редакцию 10.03.2020 г.

После доработки 22.05.2020 г.

Принята к публикации 30.05.2020 г.

Проведена оценка характеристик спектрометра в обратной геометрии и возможностей его создания на компактном источнике нейтронов импульсного типа в условиях его низкой светосилы. Предложена конфигурация вторичного спектрометра с позиционно-чувствительным детектором и с изогнутым кристаллическим анализатором, что обеспечивает захват рассеянных нейтронов в наибольшем телесном угле. Аналитически рассчитаны основные параметры установки. Исходя из технических требований к параметрам установки, была построена численная модель и проведены расчеты методом Монте-Карло функции приборного разрешения в зависимости от переданной энергии. Аналитическая функция и функция, полученная в результате моделирования, показали хорошее совпадение при учете вклада от длительности импульса. Получена оценка нейтронного потока на образце. Показана принципиальная возможность реализации метода нейтронной спектроскопии в условиях компактного источника.

Ключевые слова: нейтронная спектроскопия, спектрометр в обратной геометрии, компактный источник нейтронов, метод Монте-Карло.

DOI: 10.31857/S102809602101012X

ВВЕДЕНИЕ

Нейтронная спектроскопия — метод исследования динамических процессов в веществе путем регистрации квазиупругого и неупругого рассеяния нейтронов на атомах решетки и на их коллективных колебаниях. Задачей спектрометрии является измерение переданной образцу (или отданной образцом) энергии и регистрация переданного импульса (зависящего от угла рассеяния).

Спектрометр неупругого рассеяния строится под определенные задачи. На переданных энергиях от 80 до 300 мэВ проводятся исследования структуры биологических макромолекул, твердых тел, коллоидных систем, жидкостей, функциональных материалов и др. Нейтронная спектроскопия решает множество задач в изучении таких объектов, как биологические материалы. Белки, пептиды, ферменты и ДНК всегда окружены водой, без которой их биологическая активность невозможна. Поэтому протонная динамика в биологических системах напрямую связана с биологической активностью [1]. Например, такие свойства лекарств, как токсичность, рас-

творимость и биологическая активность, напрямую связаны с динамикой молекулярных фрагментов и водородных связей в растворе или твердом теле [2].

Одной из тенденций в области нейтронного приборостроения на сегодняшний день является разработка так называемых компактных источников нейтронов [3–5]. Это установки, предназначенные для формирования одного или нескольких пучков медленных нейтронов, на которых могут размещаться экспериментальные станции, реализующие различные нейтронные методы. Такой комплекс может являться лабораторией в университете или крупном научном институте — то есть, заменить морально и физически устаревшие ядерные реакторы малой и средней мощности, занимавшие эту нишу в конце XX в. В основе компактных источников, как правило, лежат реакции получения свободных нейтронов путем бомбардировки легких ядер низкоэнергетичными заряженными частицами. Как следствие, плотность потока производимых в мишени нейтронов низка по сравнению с потоками современных нейтронных источ-

ников мега-класса. Возникает вопрос о принципиальной возможности (или неосуществимости) реализации того или иного нейтронного метода на компактных источниках нейтронов. Для нейтронной спектроскопии эта проблема стоит особенно остро, так как спектроскопия является одним из наиболее требовательных к светосиле методов нейтронного рассеяния.

Цель данной работы – показать, что нейтронный спектрометр может быть реализован в условиях компактного источника, и предложить экспериментальную схему для его реализации.

ТИПЫ НЕЙТРОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ

Рассмотрим общие принципы реализации метода нейтронной спектроскопии. На сегодняшний день разработано несколько основных методик определения величины переданной энергии. В большинстве нейтронных спектрометров (за исключением спектрометров спин-эхо) измерение величины переданной энергии реализуется путем физического задания, а затем сравнения начальной и конечной энергий нейтронов.

Процесс определения (задания) начальной энергии называют монохроматизацией, а конечной энергии – анализом. И монохроматизация, и анализ могут быть реализованы двумя способами.

Первый из них основан на дифракции на монокристалле. Согласно закону Брэгга–Вульфа (1), от плоскостей решетки кристалла отражаются только те нейтроны, длина волны которых удовлетворяет соотношению

$$n = 2d\sin\theta, \quad (1)$$

где n – порядок дифракционного максимума, λ – длина волны, d – межплоскостное расстояние, θ – угол отражения (брэгговский угол). Таким образом, межплоскостное расстояние и угол отражения задают длину волны отраженных нейтронов, а совершенство кристалла – ширину спектральной линии.

Второй возможный способ монохроматизации и анализа – определение энергии по методу времени пролета. Время пролета определяется разницей времени начала отсчета t_0 (прохождения нейтронов начала пролетной базы) и времени прибытия нейтрона на детектор t_1 . При этом разное время прибытия нейтронов на детектор обусловлено разными энергиями нейтронов. Кроме того, в спектрометре необходимо фиксировать энергию либо падающих, либо рассеянных нейтронов. Чтобы определить начальную и конечную энергию нейтронов по времени пролета, необходимо придать пучку импульсную структуру во времени. Это осуществляется либо механическими прерывателями, если источник постоянный,

либо естественным образом, если источник импульсный.

Так как для реализации метода спектроскопии необходимы и монохроматизация, и анализ, причем каждый из этих процессов можно проделать любым из двух способов, возможны четыре различных принципиальных схемы установки:

1. Кристалл-монохроматор расположен перед узлом образца, а кристалл-анализатор расположен между узлом образца и детектором (трехосные спектрометры, спектрометры обратного рассеяния). Сильная сторона трехосных спектрометров состоит в возможности “фокусироваться” на отдельных точках обратного пространства, что полезно при исследовании конкретных особенностей дисперсионных кривых.

2. Монохроматизация происходит с помощью каскада дисковых прерывателей до узла образца, с его же помощью пучку придается импульсная структура, а после рассеяния монохроматического импульса регистрируется время пролета нейтронов (времяпролетные спектрометры в прямой геометрии). Такие спектрометры обеспечивают возможность “коврового” сканирования возбуждений, что особенно ценно при исследованиях новых образцов, когда неизвестно, какие именно области обратного пространства представляют наибольший интерес. Каскад прерывателей также обеспечивает непревзойденную гибкость в выборе начальной энергии и разрешения.

3. Кристалл-монохроматор расположен до узла образца, а детектор регистрирует время пролета нейтронов после рассеяния монохроматического пучка нейтронов на образце (гибридные времяпролетные спектрометры) (рис. 1а). Такие спектрометры обладают схожими возможностями с предыдущим типом, но обладают меньшей гибкостью в выборе начальной энергии.

4. До образца пучку придается импульсная структура, импульсы не монохроматизируются, а между узлом образца и детектором расположен кристалл-анализатор, фиксирующий конечную энергию (рис. 1б). Детектор регистрирует время пролета, тем самым определяя энергию нейтронов до рассеяния на образце (времяпролетные спектрометры в обратной геометрии). За счет освещения образца белым пучком достигается значительный выигрыш в светосиле на образце (рис. 2).

При выборе типа спектрометра на компактном источнике нейтронов DARIA необходимо руководствоваться тремя основными соображениями:

- 1) эффективное использование импульсной структуры источника;
- 2) достижение максимально возможной светосилы на образце;
- 3) простота конструкции и эксплуатации.

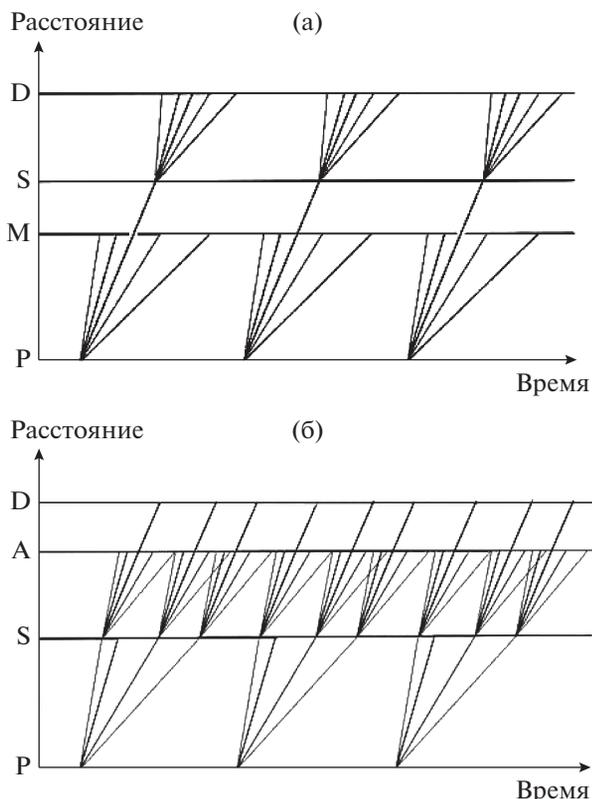


Рис. 1. Иллюстрация принципа работы прямой (а) и обратной (б) геометрии: а – пучок из источника (Р) монохроматизируется, рассеивается на образце (S) и детектируется (D); б – пучок из источника (Р) рассеивается на образце (S) и попадает на кристалл-анализатор (А), где анализируется определенная длина волны (А–D) и попадает на детектор (D).

Исходя из этого, для реализации следует предпочесть спектрометр в обратной геометрии всем другим типам спектрометров.

НЕЙТРОННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ОБРАТНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Примерами времяпролетных спектрометров в обратной геометрии являются спектрометры TOSCA (ISIS) [6–8], NERA (ОИЯИ, Дубна) [9, 10], CAMEA (ESS) [11]. Несмотря на то, что все эти спектрометры работают по одному принципу, существуют заметные различия в конструкции вторичного спектрометра.

Например, спектрометр TOSCA имеет времяпролетную базу 17 м, прерыватель расположен на расстоянии 8 м от замедлителя для предотвращения наложения спектров и подавления нежелательного фона [6–8]. Вторичный спектрометр устроен таким образом, что все отраженные анализатором нейтроны, имеющие энергию в диапазоне 3.5–4.1 мэВ, проходят расстояние от анализатора до детектора ($L_1 \sim 620$ мм) за одно и то же

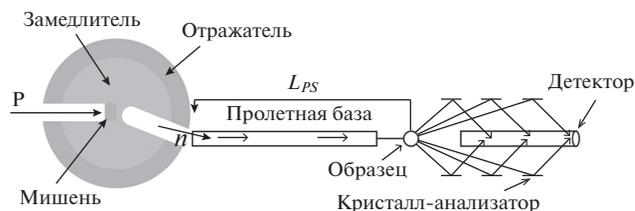


Рис. 2. Принципиальная схема спектрометра нейтронов в обратной геометрии. Протоны выбивают из мишени нейтроны, которые после холодного замедлителя, попадают в нейтронвод. Каскад прерывателей придает пучку импульсную структуру. Далее белый пучок коллимируется, а после рассеяния на образце пучок дифрагирует на системе из кристаллов-анализаторов и попадает на детектор.

время. При этом все нейтроны, отраженные от одной кристаллографической плоскости анализатора, фокусируются в одной и той же точке, которая соответствует определенной детекторной трубке. Анализ энергии нейтронов проходит при помощи двух модулей, каждый из которых состоит из пяти блоков кристаллов-анализаторов PG (002) трапецевидной формы, которые расположены под углами рассеяния 45° и 135° . Каждый модуль состоит из 140 детекторных трубок, заполненных ^3He . Благодаря особому взаимному расположению образца, анализатора и детектора, где образец и детектор лежат в одной плоскости, а анализатор ориентирован так, что его отражающая кристаллографическая плоскость оказывается параллельной им [6–8], каждая детекторная трубка связана с определенной энергией рассеянных нейтронов. Поэтому спектрометр TOSCA имеет высокое разрешение порядка 1–1.5%, низкий уровень сигнал/шум. Взаимодополняемость с инфракрасной и рамановской спектроскопией делает этот прибор одним из популярных и доступных спектрометров в области нейтронной спектроскопии для начинающих пользователей.

Спектрометр NERA создавался как спектрометр высокого разрешения, поэтому его пролетная база составляет 109 м, так как для достижения высокого разрешения важным фактором является длина пролетной базы [9, 10]. Установка оборудована двумя прерывателями, что обеспечивает низкий фон быстрых нейтронов. Вторичный спектрометр представляет собой бочкообразную конструкцию, разделенную на два блока. Каждый блок имеет восемь секций для нейтронного неупругого и квазиупругого рассеяния и одну секцию для дифракционных измерений. Комбинация бериллиевого фильтра, который охлаждается жидким азотом, и анализатора на основе пиролитического графита обеспечивает энергетическое разрешение в области упругого рассеяния ~ 0.7 мэВ с хорошей интенсивностью в диапазоне энергий до ~ 120 мэВ. Спектрометр NERA позволяет прово-

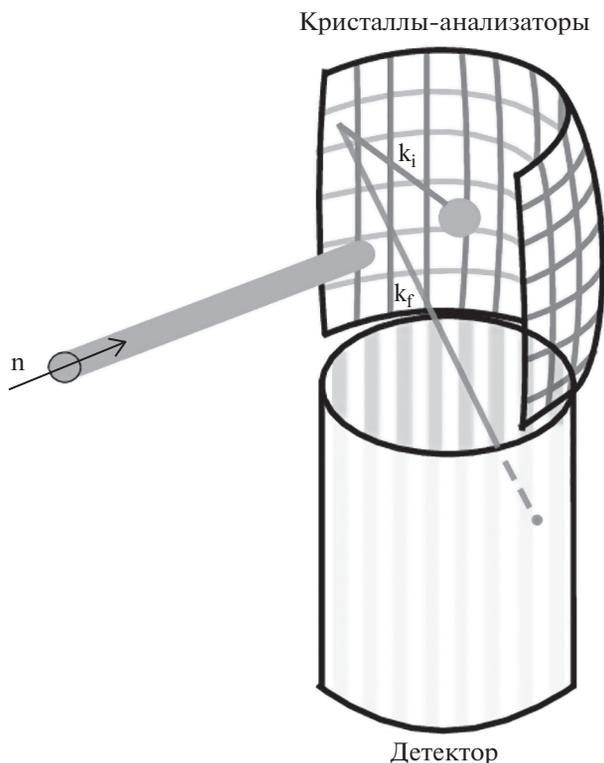


Рис. 3. Конфигурация вторичного спектрометра. Пучок нейтронов рассеивается на образце, анализируется системой из кристаллов-анализаторов и попадает на позиционно-чувствительный детектор.

дить эксперименты по неупругому рассеянию и дифракции при низких температурах (5–300 К) и высоком давлении (до 400 МПа). Детекторы представляют собой сборки из пяти пропорциональных счетчиков ^3He , расположенных в шахматном порядке. В настоящий момент спектрометр проходит глубокую модернизацию, что даст ему возможности успешно конкурировать со своими зарубежными аналогами.

SAMEA — уникальный проект времяпролетного спектрометра в обратной геометрии, так как его вторичный спектрометр устроен таким образом, что достигается максимально эффективная регистрация рассеянных нейтронов [11]. Вторичный спектрометр SAMEA состоит из 15 клиньев шириной 9° , охватывающих горизонтальный угол рассеяния 3° – 135° . Каждый клин состоит из 10 анализаторов пиролитического графита, расположенных друг за другом, причем каждый анализатор работает с различной конечной энергией нейтронов и пристыкован к трем линейным позиционно-чувствительным детекторам. Таким образом, вторичный спектрометр SAMEA состоит из десяти концентрических дуг-анализаторов, работающих при десяти конечных энергиях нейтронов. Еще одна особенность спектрометра заключается в возможности исследовать образцы объемом ме-

нее 1 мм^3 , что недостижимо на других подобных установках [11].

Все вышеперечисленные спектрометры имеют высокую светосилу на образце, а благодаря конструкции вторичного спектрометра — высокое разрешение. Основная задача всех спектрометров обратной геометрии — захват как можно большего телесного угла вторичного спектрометра для эффективного использования пучка. В идеале, вторичный спектрометр должен покрывать всю сферу 4π , однако это традиционно сложно ввиду финансовых и конструктивных ограничений.

Высокое разрешение спектрометров обуславливает хитрая конструкция вторичного спектрометра на высокопоточных источниках нейтронов. Таким образом, задачей данной работы является оценка возможностей установки спектрометра в обратной геометрии на компактном источнике в условиях его низкой светосилы.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОМЕТРА INDIGO

Спектрометр INDIGO является частью проекта DARIA [12]. Этот проект направлен на создание сети компактных источников в федеральных университетах, что позволит сделать доступными исследования с помощью нейтронного рассеяния. Так как компактный источник DARIA импульсный, то времяпролетная методика реализуется естественным образом. Таким образом, при создании оптимального вторичного спектрометра возможна реализация относительно недорогой и функциональной установки.

Основной характеристикой спектрометра с обратной геометрией является телесный угол, в пределах которого осуществлена регистрация рассеянного излучения. Как уже говорилось ранее, из-за сложности реализации целая сфера 4π не может быть захвачена в полной мере. Поэтому вторичный спектрометр INDIGO составлен из двух полусфер, состоящих из множества кристаллов-анализаторов.

Позиционно-чувствительный детектор располагается под системой из кристаллов-анализаторов и имеет цилиндрическую форму (рис. 3).

Энергетическое разрешение спектрометра является также одной из главных характеристик прибора. Энергетическое разрешение времяпролетных спектрометров практически полностью определяется временным разрешением. С развитием нейтронной спектроскопии выражения для расчета энергетического разрешения усложнялись, появлялись все более сложные зависимости величин, вклады которых сильно влияли на конечный результат. Так в работе [13] был предложен метод расчета энергетического разрешения по следующей формуле:

$$\delta(h\omega) = 2E_1 \left[\frac{\delta L_1 - v_0 \delta t}{L_1 - Z_0} + \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{Z_0} + \frac{T}{Z_2} \right) \delta A + \right. \\ \left. + \left(\frac{1}{Z_0} + \frac{T}{Z_2} \right) (2\delta B + \delta C) \right] - \frac{E_0 \text{ctg} \theta}{Z_2} \delta R_2, \quad (3)$$

где выделены основные вклады в разрешение от длительности импульса δt , длины пролетной базы δL_1 , толщины образца δA , толщины анализатора δB , толщины детектора δC , конечные поперечные размеры образца и детектора δR .

Здесь $T = (1/2) \text{ctg}^2 \theta (E_0/E_1)$, $Z_0 = L_1 (E_0/E_1)^{1/2}$, $E_1 = h\omega + E_0 \text{csc}^2 \theta$, $\delta Z_2 = (1/2) \delta A + 2\delta B + \delta C$.

Данный метод был взят за основу расчетов энергетического разрешения спектрометра INDIGO.

В программном пакете McStas была смоделирована принципиальная схема времяпролетного спектрометра с обратной геометрией со следующими параметрами:

а) длина пролетной базы от генератора импульсов до образца составляет 24.2 м, прерываеть с частотой вращения 100 Гц генерирует импульсы длительностью 60 мкс;

б) расстояние от образца до кристалл-анализатора 0.4 м и от образца до детектора 0.4 м;

в) кристалл-анализатор (PG 002) отбирает нейтроны с конечной энергией 3.6 мэВ под углом 45° .

При моделировании эксперимента была зафиксирована конечная энергия нейтронов, а переданная энергия менялась в диапазоне от 10 до 320 мэВ.

Геометрия эксперимента в McStas была следующей. Перед генератором импульсов расположен TOF-монитор, который фиксирует длительность импульса в начальной точке пролетной базы. Перед образцом располагается такой же монитор с аналогичной функцией — длительностью импульса на конце пролетной базы. По показаниям этих двух мониторов вычисляется вклад от длительности импульса.

На рис. 4 представлена зависимость относительного энергетического разрешения от переданной энергии. Аналитическая зависимость относительного разрешения от переданной энергии нейтронов была построена на основе выражения (3) с использованием параметров, указанных для принципиальной схемы времяпролетного спектрометра. Зависимость, полученная с помощью численного моделирования методом Монте-Карло (в программном пакете McStas), хорошо совпадает с кривой, рассчитанной аналитически, на больших переданных энергиях (рис. 4). На малых же переданных энергиях аналитическая кривая значительно превышает значения кривой, полученной численно, так как при моделировании эксперимента мы учли лишь вклад от длительности импульса и не учитывали других вкладов.

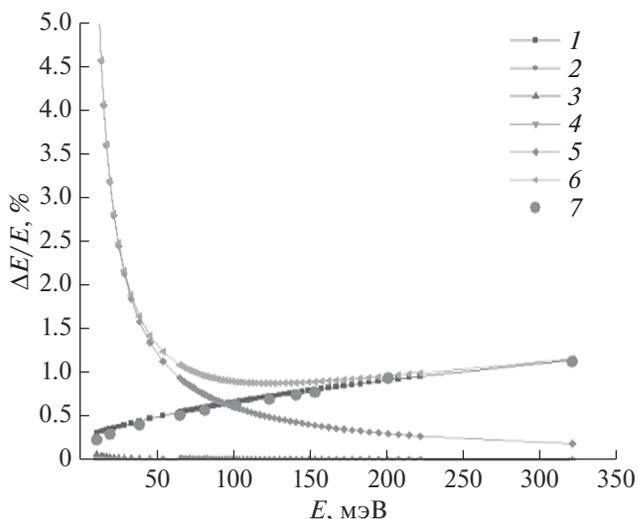


Рис. 4. Зависимость относительного энергетического разрешения от переданной энергии. 1 — вклад от времени пролета, 2 — вклад от толщины образца, 3 — вклад от толщины анализатора, 4 — вклад от толщины детектора, 5 — вклад от конечных поперечных размеров детектора и образца, 6 — вклад, рассчитанный аналитически, 7 — вклад, смоделированный методом Монте-Карло.

Также на графике показаны аналитически рассчитанные вклады, которые влияют на общий вид кривой энергетического разрешения. Вклад от L_1 равен нулю, так как пролетная база расположена под углом 90° к плоскости модератора на компактном источнике нейтронов DARIA.

Неопределенность длительности импульса является наибольшим слагаемым в разрешении на большей части диапазона. Этот вклад возрастает с увеличением переданной энергии нейтронов. На малых переданных энергиях основной вклад вносит неопределенность от R_2 , который определяется конечными размерами образца и детектора. Наименьший вклад вносят неопределенности от толщины детектора и образца. На данном этапе неопределенность, связанная с толщиной анализатора, не вносит существенного вклада, но при реализации в программе McStas-мультианализаторной системы из множества кристаллов (с учетом роста общей площади анализатора) данный вклад будет играть большую роль.

Одно из преимуществ импульсного источника DARIA: экспериментатор может подстраивать некоторые характеристики источника под свой эксперимент, например, управлять энергией нейтронов. Соответственно, если необходимы холодные нейтроны, то в качестве замедлителя будет выступать мезитилен с температурой 150 К. Яркость источника при этом составляет $B = 6.93 \times 10^{10}$ н/с/см²/стер. В этом случае для диапазона длин волн 0.5–4.7 Å и частоты генерации импуль-

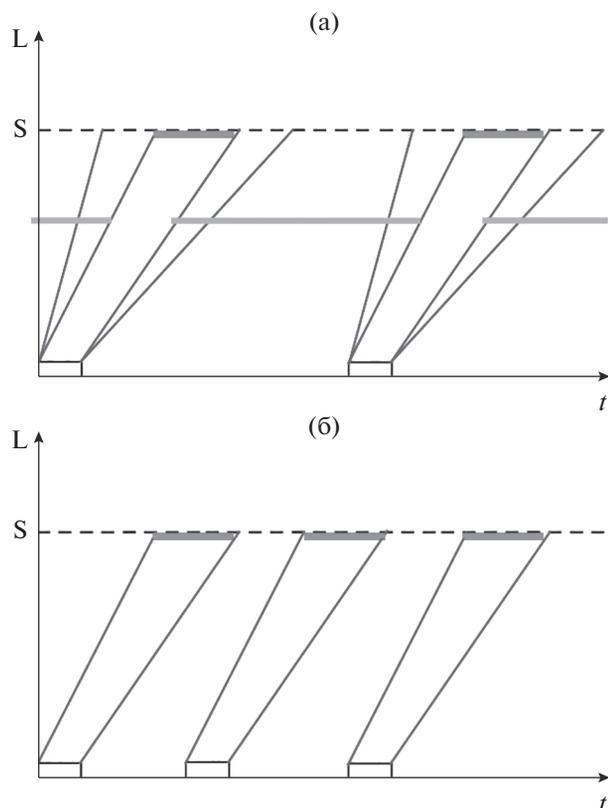


Рис. 5. а – изменение диапазона длин волн с помощью каскада-прерывателей, б – изменение диапазона длин волн и увеличение частоты генерации импульса на КИИ DARIA.

сов 38 Гц плотность потока составляет $\Phi = 1.8 \times 10^6$ н/с/см². Это на один порядок меньше, чем на времяпролетном спектрометре TOSCA (ISIS) [14]. Но подобные спектрометры при необходимости сузить падающий спектр длин волн используют каскад прерывателей (рис. 5а), при этом теряется интенсивность в два раза, пучок нейтронов используется неэффективно за счет вырезания ненужных длин волн. На КИИ DARIA исследователь имеет возможность не только изменять диапазон длин волн на желаемый, но и увеличивать частоту генерации импульсов (рис. 5б). Так, при использовании теплового замедлителя при температуре 300 К и диапазона длин волн от 0.5 до 1 Å и увеличении частоты импульсов до 320 Гц и яркости источника $B = 9.63 \times 10^{10}$ н/с/см²/стер, плотность потока составляет $\Phi = 1.5 \times 10^7$ н/с/см², что соответствует плотности потока на TOSCA. Однако, длительность импульсов на INDIGO составляет 60 мкс, а на TOSCA – 50 мкс, и энергетическое разрешение соответственно хуже, чем на европейском спектрометре.

Таким образом, благодаря возможности управлять параметрами источника, спектрометр не-

упругого рассеяния INDIGO имеет высокие показатели плотности потока на образце.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы возможности создания спектрометра неупругого рассеяния нейтронов на компактном источнике нейтронов. Для детального рассмотрения выбрана обратная геометрия инструмента. Выбраны основные параметры спектрометра, проведено его численное моделирование методом Монте-Карло. Получены оценки светосилы на образце, позволяющие сделать вывод о принципиальной реализуемости прибора в рамках проекта DARIA.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-01074.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Stanley H.E., Buldyrev S.V., Kumar P., Mallamace F., Mazza M.G., Stokely K., Xu L., Franzese G. // *J. Non Cryst. Solids*. 2011. V. 357. № 2. P. 629. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2010.07.029>
2. Tsapatsaris N., Kolesov B.A., Fischer J., Boldyreva E.V., Daemen L., Eckert J., Bordallo H.N. // *Molecular Pharmaceutics*. 2014. V. 11. № 3. P. 1032. <https://doi.org/10.1021/mp400707m>
3. Baxter D.V., Rinckel T. // *IL Nuovo Cimento*. 2016. V. 38. № 6. P. 1. <https://doi.org/10.1393/ncc/i2015-15183-1>
4. Wei J., Chen H.B., Huang W.H., Tang C.X., Xing Q.Z., Loong C.-K., Fu S.N., Tao J.Z., Guan X.L., Shimizu H.M. // *In Particle Accelerator Conference TU6PFP035 (Vancouver, 2009)*. 2009.
5. Yamagata Y., Hirota K., Ju J., Wang S., Morita S., Kato J., Otake Y., Taketani A., Seki Y., Yamada M., Ota H., Bautista U., Jia Q. // *J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015. V. 305. № 3. P. 787. <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4059-8>
6. Parker S.F., Fernandez-Alonso F., Ramirez-Cuesta A.J., Tomkinson J., Rudic J., Pinna R.S., Gorini G., Castañon J.F. // *J. Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2014. V. 554. № 1. P. 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/554/1/012003>
7. Colognesi D., Celli M., Cilloco F., Newport R.J., Parker S.F., Rossi-Albertini V., Sacchetti F., Tomkinson J., Zoppi M. // *Appl. Phys. A*. 2002. V. 74. № 1. P. 64. <https://doi.org/10.1007/s003390101078>
8. Pinna R.S., Rudic S., Zanetti M., Zacek D., Parker S.F., Gorini G., Fernandez-Alonso F. // *STFC*. 2017. № RAL-TR-2017-013.
9. Natkaniec I., Bragin S.I., Brankowski J., Mayer J. // *Proceedings of ICANS-XIII, Abingdon, RAL Report 94-025*. 1993. V. 1. P. 89.
10. Natkaniec I., Chudoba D., Kazimirov V. Y., Krawczyk J., Sashin I.L., Zalewski S. // *J. Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2014. V. 554. № 1. P. 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/554/1/012002>

Inelastic Neutron Scattering Spectrometer INDIGO (Indirect Geometry) at the DARIA Compact Neutron Source

A. E. Pavlova^{1,2,*}, A. O. Petrova², P. I. Konik^{2,**}, K. A. Pavlov^{1,2}, S. V. Grigoriev^{1,2}

¹*St. Petersburg State University, St. Petersburg, Petergof, Saint-Petersburg, 198504 Russia*

²*Petersburg Institute of Nuclear Physics, Gatchina, 188300 Russia*

**e-mail: pavlovanastasia668@gmail.com*

***e-mail: 104pet104@gmail.com*

The characteristics of the spectrometer in indirect geometry and the possibilities of its creation on a compact pulsed neutron source under conditions of its low luminosity are estimated. The configuration of a secondary spectrometer with a position-sensitive detector and a curved crystal analyzer is proposed, which ensures the capture of scattered neutrons in the largest solid angle. The main parameters of the installation have been calculated analytically. Due to the technical requirements for the installation parameters, the numerical simulation was built and Monte Carlo calculations were performed for the instrument resolution function depending on the transferred energy. The analytical function and the function obtained from the simulation showed a good fit when considering the contribution from the pulse width. An estimate of the neutron flux on the sample was obtained. The principle possibility of neutron spectroscopy method implementation under conditions of a compact source is shown.

Keywords: neutron spectroscopy, indirect geometry spectrometer, compact neutron source, Monte Carlo method.