

ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

УДК 539.122.04

ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ С ЭНЕРГИЕЙ 4–10 МэВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ЯДЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

© 2021 г. **Г. В. Солодухов^а**, **В. Н. Пономарев^а** *, **В. Г. Недорезов^а**

^аИнститут ядерных исследований Российской академии наук, пр. 60-летия Октября 7а, Москва, 117312 Россия

*E-mail: vasnikpon@rambler.ru

Поступила в редакцию 23.10.2020 г.

После доработки 17.07.2021 г.

Принята к публикации 17.07.2021 г.

Приведена схема и описаны параметры модернизированного источника электронов и гамма-квантов с энергией 4–10 МэВ, созданного на базе ЛУЭ-8-5 РВ ИЯИ РАН. Источник может быть использован для калибровки детекторов и других практических применений.

Ключевые слова: линейный ускоритель электронов, электронный пучок, энергетический спектр, ядерная фотоника

DOI: 10.56304/S207956292006055X

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует большая потребность в высококачественных источниках электронов, обладающих достаточно высокой энергией, интенсивностью, высоким энергетическим разрешением. Ускорители серии ЛУЭ 8-5 были разработаны и произведены в НИИЭФА им. Д.В. Ефремова в нескольких модификациях (С, М, В, РВ). Они эксплуатировались и успешно работают до настоящего времени в нашей стране и бывших её республиках, а также в некоторых зарубежных странах [1, 2]. По соглашению с НИИЭФА им. Д.В. Ефремова ускоритель ЛУЭ 8-5РВ был поставлен в Лабораторию фотоядерных реакций в начале 80-х годов. После сооружения ускорителя с участием специалистов НИИЭФА и физического запуска ЛУЭ 8-5РВ успешно использовался как инжектор электронного синхротрона С-25 на энергию 250 МэВ [3]. При этом была значительно увеличена интенсивность ускоренного пучка синхротрона.

В настоящей работе описаны результаты работ по модернизации ЛУЭ-8-5РВ, позволившей суще-

ственно улучшить параметры электронного пучка, что способствовало получению ряда важных научных результатов по исследованию фотоядерных реакций вблизи порога [4–6].

2. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ 8-5РВ ИЯИ РАН

Основные номинальные характеристики ЛУЭ-8-5РВ приведены в табл. 1.

Ускорители серии ЛУЭ 8–5 являются волновыми резонансными ускорителями. Ускоряющие структуры питаются от магнетронного СВЧ-генератора, работающего при номинальной частоте (3200 ± 2) МГц. Источником электронов служит электронная пушка с катодом диаметром 14 мм, обеспечивающим импульсный ток пушки до 1 А при отрицательном импульсном напряжении до 80 кВ.

Таблица 1. Номинальные характеристики ЛУЭ-8-5РВ

Энергия ускоренных электронов	8 МэВ
Ширина энергетического распределения на полувысоте	10%
Частота следования импульсов тока пучка	50–500 Гц
Длительность импульсов тока пучка	3–3.5 мкс
Максимальный средний ток пучка при номинальной энергии	625 мкА
Максимальная мощность пучка	5 кВт
Потребляемая мощность	75–100 кВА

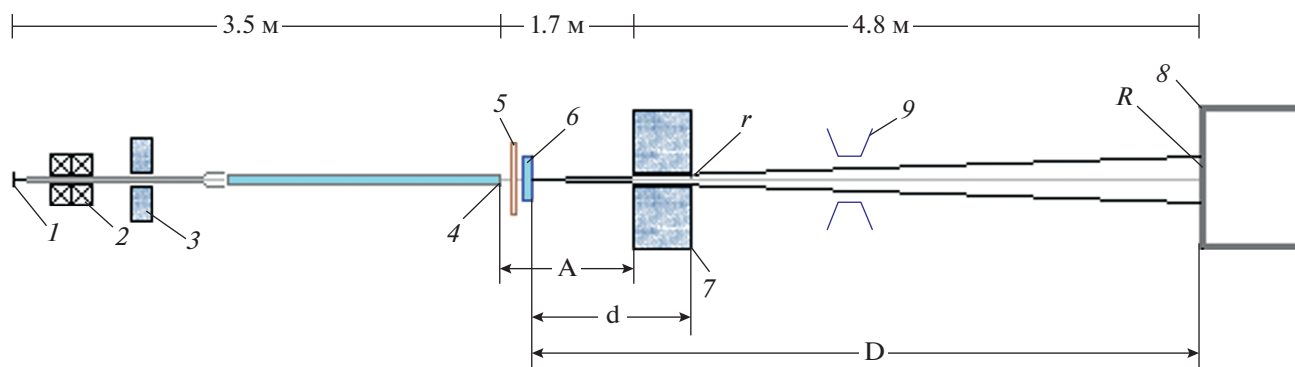


Рис. 1. Структурная схема канала 270° для постановки экспериментов на пучках с высоким энергетическим разрешением. Основные элементы: 1, 2, 3, 7 — коллиматоры, А — радиатор, 6 — фильтр, 8 — выходное окно, 9 — монитор интенсивности пучка.

Основная модернизации ЛУЭ-8-5РВ коснулась, в основном, увеличения диапазона энергий пучка ускоренных электронов и улучшения его энергетического спектра. В результате энергия регулируется в пределах от 4 до 10 МэВ при ширине спектра лучше 1%. Модернизированный источник включает в себя магнитооптическую систему растяжения пучка, корректоры, коллиматоры и элементы очистки пучка.

3. ПОСТАНОВКА ИССЛЕДОВАНИЙ НА КАНАЛЕ С ВЫСОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

В настоящее время в связи с развитием нового научного подхода под названием “ядерная фотоника” [8] особый интерес вызывают исследования фотоядерных реакций вблизи порога в области пикми-резонанса. (при энергиях электронов и фотонов ниже 10 МэВ). Весьма плодотворным в таких исследованиях представляется метод полного поглощения, предложенный Л.Е. Лазаревой [9] и апробированный в области гигантского дипольного резонанса. Метод основан на измерении коэффициента ослабления хорошо сфокусированного пучка гамма-квантов поглотителем известной толщины из исследуемого материала. Для получения качественного тормозного пучка разработана схема (см. рис. 1), реализованная на электронном пучке после его поворота на 270° .

Исследуемый образец (оптимально толщиной 2–3 радиационной длины) помещается на оси коллимированного гамма-пучка. Геометрия существующих экспериментальных залов дает возможность обеспечить угол регистрации, необходимый для выполнения условий “хорошей геометрии”.

Показанная на рис. 1 геометрия отражает современное состояние расположения ускорителя электронов ЛУЭ 8-5РВ. К настоящему времени разработан и смонтирован базовый вари-

ант электропровода этого канала. Канал состоит из отдельных участков, связанных между собой быстроразъемными соединениями, позволяющими устанавливать коллиматоры, мишени тормозного излучения и узлы для вакуумной откачки в соответствии со структурной схемой данного канала. Обеспечены меры для юстировки элементов канала.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведена схема и описаны параметры модернизированного источника электронов и гамма-квантов с энергией 4–10 МэВ, созданного на базе ЛУЭ-8-5РВ ИЯИ РАН. Отмечены основные результаты фундаментальных исследований, выполненных на его базе. В настоящее время источник может быть использован для калибровки детекторов и других практических применений. Более подробная информация содержится в научно-техническом отчете на сайте лаборатории фотоядерных реакций ИЯИ РАН: www.inr.ac.ru/pnlab.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам лаборатории фотоядерных реакций и атомного ядра ИЯИ РАН, принимавшим активное участие в модернизации ЛУЭ-8-5, персонально к.ф.-м.н А.А. Туринге за проведение моделирования экспериментов по программе GEANT-4, А.М. Лапику и А.В. Русакову за разработку аппаратного обеспечения для работы с пучком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. *Логутин В.Т. и др.* // В сб. Радиационная техника. 1975. Москва: Атомиздат. С. 3–9.
2. *de Rocguigny H., Vorogushin M., Demsky M.* // Сб. док. X Международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленно-

- сти и медицине (С-Петербург, 1–4 октября 2001). 2001. Москва: ЦНИИАТОМИНФОРМ. С. 28–30.
3. Громов А.М., Солодухов Г.В. // Труды XII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Москва, 3–5 октября 1990 г.). Т. II. С. 275–280. 1992. Дубна.
 4. Nedorezov V., Konobeevski E., Polonsky A. et al. // Phys. Scripta. 2019. V. 94 (1). P. 015303. <https://doi.org/10.1088/1402-4896/aaed6b>
 5. Zuyev S.V., Konobeevski E.S., Mordovskoy M.V. et al. // Phys. Part. Nucl. 2019. V. 50 (5). P. 623–625. <https://doi.org/10.1134/S1063779619050289>
 6. Dzhilavyan L.Z., Lapik A.M., Nedorezov V.G. et al. // Phys. Part. Nucl. 2019. V. 50 (5). P. 745–754. <https://doi.org/10.1134/S106377961905006X>
 7. Недорезов В.Г., Савельев-Трофимов А.Б. // Ядерная физика и инжиниринг. 2016. Т. 7. С. 479–486.
 8. Gurevich G.M., Lazareva L.E., Mazur V.M. et al. // Nucl. Phys. A. 1981. V. 351. P. 257–268.

Electron and Gamma Quantum Source with Energy of 4–10 MeV for Calibration of Nuclear Detectors

G. V. Solodukhov¹, **V. N. Ponomarev¹**, *, and **V. G. Nedorezov¹**

¹*Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117312 Russia*

*e-mail: vasnikpon@rambler.ru

Received October 23, 2020; revised July 17, 2021; accepted July 17, 2021

Abstract—A structural configuration and parameters of a modernized source of electrons and gamma quanta with energy of 4–10 MeV are presented. The source is designed on the basis of electron linac LUE-8-5 RV (INR RAS) and can be used for detector calibration and other practical applications.

Keywords: linear electron accelerator, electron beam, energy spectrum, nuclear photonics