

Источник электронов и гамма-квантов для калибровки детекторов

В.Г.Недорезов, В.Н.Пономарев, Г.В.Солодухов,
Институт ядерных исследований РАН.
e-mail: solod@inr.ru

Введение.

Источник разработан на основе ускорителя электронов ЛУЭ-8-5РВ Института ядерных исследований РАН. Диапазон энергий 4...10 МэВ. Энергетическое разрешение (FWHM) лучше 1%. Скорость счета порядка десятков событий за цикл ускорения. Частота повторения до 300 с⁻¹, длительность пучка 3,5 мкс. Источник включает в себя магнитооптическую систему растяжения пучка, корректоры, коллиматоры и элементы очистки пучка.

Широкий спектр исследований, проведенных методом полного поглощения в области гигантского дипольного резонанса (10-30 МэВ), проведенный в прошлые годы в лаборатории фотоядерных реакций ФИАН – ИЯИ позволили в широком диапазоне атомных ядер получить данные об оптической анизотропии ядер, об их статической и динамической деформации и квадрупольных моментах. [1,2]. Планируемые аналогичные исследования в области пикви резонансов (5–10 МэВ), представляют большой интерес с точки зрения современных теорий, которые предсказывают возможность экзотических возбуждений ядер типа ножничных, или компрессионных колебаний в резонансах различной мультипольности [3]. Метод полного поглощения применим практически ко всем стабильным ядрам и позволяет однозначно учесть вклад всех возможных парциальных реакций.

Проведение этих экспериментов требует создания специального тракта формирования и проводки пучка гамма-квантов к детектору, обладающего весьма специфическими свойствами.

1. Загрузка детектора.

Известны трудности, возникающие при попытке постановки спектрометрических экспериментов на импульсных ускорителях электронов с низкой (порядка 10⁻⁴) скважностью, которые связаны с экстремально высокой загрузкой детекторов во время короткого цикла ускорения.

Для электронных ускорителей, работающих в S-диапазоне, длительность интервала вывода ускоренных частиц составляет примерно 3 мкс, максимальная частота их повторения – несколько сотен за секунду. Если считать, что минимальный средний ток ускоренных электронов, надежно управляемый и контролируемый в практической экспериментальной ситуации, может быть оценен в 1 мкА, то при частоте повторения 100 с⁻¹ в одном цикле ускоряются 6×10¹⁰ электронов. Следовательно, постановка эксперимента, связанного с анализом амплитудных и спектральных характеристик регистрируемого излучения, требует создания тракта формирования, проводки и контроля параметров пучка, обеспечивающего ослабление интенсивности исходного пучка по крайней мере на десять порядков при сохранении понимания о соотношении характеристик исходного и ослабленного спектров.

Не касаясь характеристик пучка электронов на выходе ускорителя, ограничимся здесь предположением о наличии пучка частиц с естественной расходимостью m_0c^2/E_0 , где E_0 – энергия электронов, m_0c^2 – энергия покоя электрона, с указанной выше интенсивностью, которая, разумеется, несопоставима с разрешающим временем обычно применяемых детекторов.

Возможные пути снижения этой загрузки:

1. Снижение интенсивности ускоренного пучка электронов. Связано с трудностью контроля и поддержания стабильности параметров пучка.

2. При работе с тормозным пучком – уменьшение толщины тормозной мишени. Может дать некий выигрыш, требующий оценки, или:

3. Использование в качестве материала тормозной мишени веществ с малым Z (интенсивность тормозного излучения растет как Z^2). Приведет, по-видимому, к ухудшению фоновых условий.

4. Применение более жесткой коллимации. Может привести к трудностям юстировки элементов вдоль достаточно протяженного тракта.

5. Применение достаточно протяженных фильтров из материалов с низким Z . Употребляется обычно для ожесточения тормозного спектра. Одновременно даст и искомый эффект, зависящий от наличия места вдоль тракта для размещения таких фильтров.

6. По-видимому, ясно, что желаемый эффект может быть в значительной части достигнут геометрическим вырезанием части исходного пучка за счет его угловой расходимости после пролета некоторого расстояния. Сравним достижимую эффективность этой методики для расстояния до детектора 10 м.

Возможны следующие варианты:

На выходе ускорителя устанавливается тормозная мишень оптимальной для получения тормозного спектра толщины.

Коэффициент конверсии энергии электронов в энергию тормозных квантов при $E_e = 10$ МэВ составляет примерно 10%. Доля гамма квантов с энергией выше 0,5 МэВ эта величина еще на порядок меньше, т.е. около 1%. Внутри полярного угла 10° попадает примерно половина родившихся тормозных квантов. На выходе коллиматора диаметром 5 мм, установленного в районе расположения детектора на расстоянии 10 м от тормозной мишени получим 3×10^2 квантов за один цикл ускорения. Уменьшая толщину тормозной мишени, можно, уменьшить эту интенсивность, получив взамен повышенный фон от электронов, прошедших через коллиматор.

Организуем пролет в вакууме пучка электронов с энергией 10 МэВ этих 10 м. Пятно на этом расстоянии будет иметь диаметр 1 м. Установив здесь коллиматор диаметром 5 мм получим после него пучок с интенсивностью $1,5 \times 10^6$ электронов за цикл ускорения. Поместив здесь тормозную мишень и повторяя рассуждения, приведенные выше, получим оценку $1,5 \times 10^4$ гамма за цикл. Ослабление недостаточно.

Используем комбинацию этих решений, поделив пополам доступную пролетную базу, устроив в первой ее половине вакуумированную трассу для электронов, и установим здесь коллиматор (точка 4 на рис. 1). На его выходе получим пучок электронов интенсивностью 6×10^6 электронов.

Переместив сюда тормозную мишень и установив в конце 10-метрового промежутка дополнительный коллиматор диаметром 5 мм, получим на входном окне детектора разумную счетность порядка десятка тормозных квантов в интересующем нас диапазоне энергий. Добавим, что наличие на электронном тракте магнитных фокусирующих элементов дает дополнительную возможность регулирования в некоторых пределах пространственного распределения электронов в пучке и, следовательно, количества электронов, прошедших через систему коллимации. Таким образом, реализация этой геометрии тракта дает, по-видимому, возможность получить требуемую интенсивность пучка гамма-квантов на удаленном детекторе.

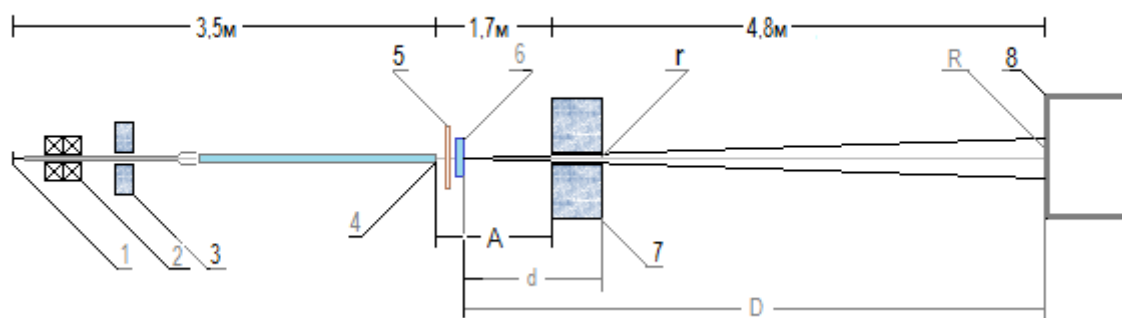


Рис. 1.

Здесь:

- 1 – выходное окно ускорителя и точка возможного размещения тормозной мишени
- 2. дублет квадрупольных линз,
- 3, 7 – коллиматоры,
- 4 – точка возможного размещения тормозной мишени
- 5 – монитор,
- 6 – исследуемый образец,
- 8 – детектор,
- 10 – очищающий магнит.
- A – промежутки, используемый для размещения элементов тракта,

Таким образом создается возможность иметь пучок гамма-квантов с интенсивностью, соответствующей нескольким десяткам полезных квантов за трехмикросекундный цикл ускорения.

Напомним, что на рассматриваемом ускорителе ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН применена специальная магнитная анализирующая система, позволяющая после поворота на 270 градусов получить пучок электронов с разбросом по энергиям лучше 1% в диапазоне 4 – 10 МэВ при среднем токе 1 мкА и частоте повторения циклов ускорения 100 с^{-1} [4].

Возможные применения.

Созданный для конкретного эксперимента спектрометрический тракт может иметь разносторонние применения. Так, например, известны трудности, с которыми встречается экспериментатор, решая задачу энергетической калибровки различного рода спектрометрических детекторов излучения в диапазоне выше 1,5...2 МэВ. Рассмотрим возможность решения этой задачи с использованием характеристик описанного тракта.

На конце вакуумированной части тракта (в точке 4 (см. рис.1) после коллиматора имеем пучок электронов с варьируемой энергией. Здесь может быть организована зона калибровки детекторов заряженных частиц.

Опционально располагаемая здесь тормозная мишень позволяет получить пучок тормозных гамма-квантов с известной максимальной энергией, который может служить источником излучения для калибровки гамма-спектрометров.

Литература

- 1. А.М.Балдин е.а. Rus.J.Nucl.Phys. 8, 327, 1968
- 2. G.M.Gurevich е.а. Nucl.Phys. A351 (1981) 257.

3. O.I. Achakovskiy, S.P. Kamerdzhev, V.I. Tselyaev. JETP Lett.,104(2016) 6, 374.
- 4 В.Н.Пономарев, Г.В.Солодухов, В.Г.Недорезов. ИЗВЕСТИЯ РАН СЕР. ФИЗ., 2019, том 83, № 9, с. 1270–1272.