

УДК 539.172.3

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО СХЕМЕ (γ , γ') НА ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ
РАЗРЕЗНОГО МИКРОТРОНА НИИЯФ МГУ

А. С. Алимов, И. В. Грибов, Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов,
И. М. Пискарев, А. С. Челурнов, О. В. Чубаров, В. И. Шведунов,
Е. В. Широков, А. В. Шумаков
(НИИЯФ)

На первой очереди ускорителя непрерывного действия — разрезного микротрона НИИЯФ МГУ изучалась ядерная резонансная флуоресценция — реакция (γ , γ'). Были исследованы ядра ^{11}B , ^{19}F , ^{23}Na , ^{28}Si , ^{32}S , ^{39}K , ^{63}Cu , ^{208}Pb . Полученные результаты сравнивались с работами, выполненными на аналогичных ускорителях.

Важнейшим источником информации о свойствах атомных ядер является их изучение с помощью электромагнитных взаимодействий. Такие исследования выполняются обычно на ускорителях электронов.

Принципиально новые возможности открылись с запуском ускорителей электронов нового типа — так называемых ускорителей непрерывного действия. В таких ускорителях электронный пучок генерируется либо непрерывно, либо сгустками со столь высокой частотой, что эта временная микроструктура пучка уже не различается детекторами частиц и он воспринимается детекторами как непрерывный.

Скорость набора статистики в эксперименте пропорциональна среднему току электронного пучка I . В то же время возможности регистрации образующихся в ядерных реакциях частиц определяются загрузкой детектора N , связанной с величиной I соотношением $N=I/D$, где D — так называемый фактор заполнения рабочего цикла, равный 1 для ускорителей непрерывного действия. При фиксированной нагрузке детектора N значения средних токов I для ускорителей непрерывного действия на 2—3 порядка превышают максимальные значения средних токов в экспериментах на стандартных импульсных ускорителях (имеющих $D=10^{-2}$ — 10^{-3}), что позволяет на 1—2 порядка увеличить точность экспериментальных данных по сечениям фотоядерных реакций и изучать процессы с малыми эффективными сечениями, недоступные для наблюдений на импульсных ускорителях.

Кроме того, монохроматичность $\Delta E_e/E_e$ непрерывного электронного пучка обычно на 2 порядка выше, чем на большинстве современных линейных ускорителей, и составляет 10^{-3} — 10^{-4} .

Пучок электронов от ускорителя непрерывного действия имеет малую угловую расходимость и резкие пространственные границы, что также улучшает условия эксперимента.

В отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер НИИЯФ МГУ закончено сооружение первой очереди ускорителя подобного типа — разрезного микротрона НИИЯФ МГУ. Разрезной микротрон является «теплым» ускорителем, т. е. не имеет сверхпроводящих структур [1].

Первая очередь микротрона представляет собой инжектор микротрона, состоящий из электронной пушки с энергией частиц 100 кэВ, линии формирования продольного и поперечного эмиттанса пучка, нескольких секций линейного ускорителя и системы вывода пучка.

Параметры инжектора разрезного микротрона НИИЯФ МГУ следующие: E_e — до 6,5 МэВ, $\Delta E_e/E_e=3 \cdot 10^{-3}$, $I=100$ мкА, $D=1$.

Схема первой очереди разрезного микротрона и элементов экспериментальной установки изображена на рис. 1.

Инжектор разрезного микротрона НИИЯФ МГУ может быть эффективно использован для изучения ядерных состояний, расположенных ниже порога нуклонной эмиссии.

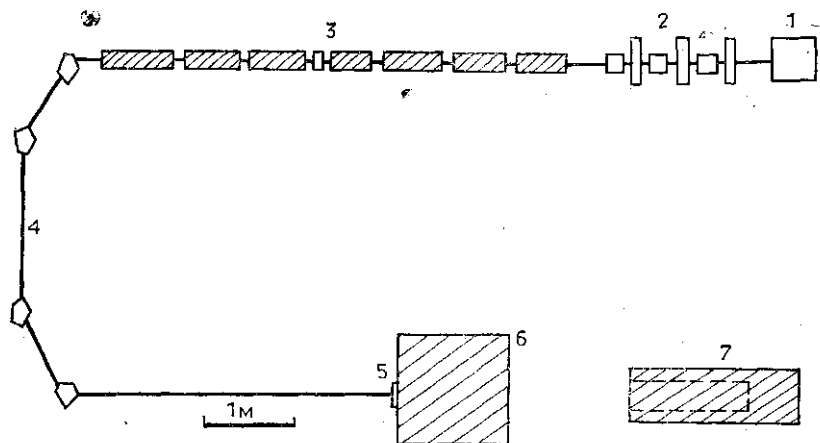


Рис. 1. Схема первой очереди разрезного микротрона НИИЯФ МГУ: 1 — электронная пушка, 2 — линия формирования эмиттанса пучка, 3 — ускоряющие секции, 4 — система поворота пучка на 180° , 5 — тормозной конвертор, 6 — защитный кожух детектора, 7 — ловушка для поглощения фотонов

Исследования состояний ядер ниже нуклонного порога могут значительно расширить наши представления о свойствах ядерных возбуждений. В этой области энергий ядерные состояния являются изолированными, что существенно облегчает интерпретацию экспериментальных данных. Так, при возбуждении изолированных уровней в ядрах, имеющих в основном состоянии спин и четность $J^\pi=0^+$, удается однозначно определить мультипольность исследуемого γ -перехода. В области энергий выше нуклонного порога происходит перекрытие резонансов разной мультипольности, и выделение вклада какого-либо мультиполя является серьезной проблемой. Конфигурационная структура состояний, лежащих ниже нуклонного порога, более разнообразна. Область энергий ниже нуклонного порога особенно удобна для экспериментов с пучками фотонов.

На первой очереди разрезного микротрона поставлены первые ядерно-физические эксперименты. На пучке тормозного излучения исследовалась ядерная резонансная флуоресценция (ЯРФ) — реакция (γ, γ') . Необходимо подчеркнуть, что ускорители непрерывного действия позволяют наблюдать процессы рассеяния фотонов с малыми интегральными сечениями, недоступные для исследования на импульсных ускорителях.

Экспериментальная установка изображена на рис. 2.

Пучок электронов с энергией 6,2 МэВ и средним током 2,5 мкА падал на тормозной танталовый конвертор толщиной 0,17 г/см². Оставшаяся часть электронов поглощалась углеродным поглотителем толщиной 11 г/см². После коллимирования тормозные фотоны попадали на исследуемую мишень, а затем поглощались фотонной ловушкой (см. рис. 1). Средние дозы облучения исследуемых мишеней составля-

ли 100—200 мКл. Рассеянные фотоны регистрировались Ge(Li)-детектором объемом 60 см³, установленным под углом $\theta=127^\circ$ к направлению падающего пучка. Сигналы с детектора через усилительный тракт поступали на анализатор.

В таблице представлены наблюдавшиеся в эксперименте энергетические уровни ядер, спектры которых были получены в экспериментах по ЯРФ на первой очереди разрезного микротрона НИИЯФ МГУ.

В настоящее время возбуждение ядер ниже нуклонного порога

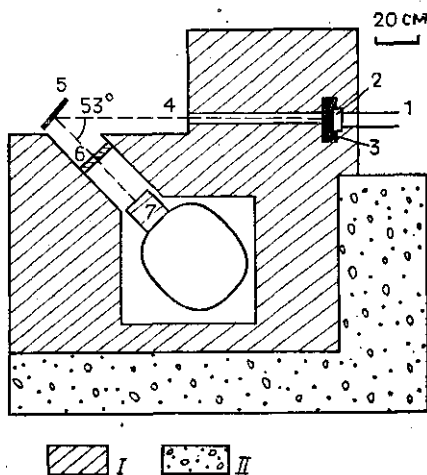


Рис. 2. Установка для проведения экспериментов по ядерной резонансной флуоресценции на разрезном микротроне НИИЯФ МГУ: 1 — труба для вывода пучка, 2 — конвертор (Ta), 3 — поглотитель (C), 4 — коллиматор, 5 — исследуемая мишень, 6 — свинцовый фильтр, 7 — Ge(Li)-детектор. Защита: I — свинец, II — бетон

изучается в (γ, γ') , (e, e') и (p, p') -рассеянии. Перечисленные методы исследования хорошо дополняют друг друга.

Атомные ядра, исследованные на разрезном микротроне НИИЯФ МГУ, и их энергетические уровни, наблюдаемые в эксперименте

Ядро	Переход или энергетический уровень (МэВ)	Ядро	Переход или энергетический уровень (МэВ)
¹¹ B	4,44→0	³² S	5,55→0
	5,01→0		5,82→0
¹⁹ F	1,55→0,2	³⁹ K	3,88→0
	3,91→1,55		4,44→0
	3,96→1,02		5,25→0
	4,44→0		5,31→0
	4,56→0		5,6→0
²³ Na	2,98→0,44	⁶³ Cu	3,41
	2,98→0		4,12
	4,43→0		4,34
	5,38→0,44	²⁰⁸ Pb	4,84→0
5,75→0	5,29→0		
²⁸ Si	3,38		5,49→0
	3,72		
	3,84		
	4,04		
	5,02		

В (γ, γ') -эксперименте при возбуждении атомного ядра реальными фотонами получают информацию о формфакторах состояний для значения квадрата 4-импульса, переданного ядру, $q_m^2=0$. В (e, e') -эксперименте при возбуждении ядра виртуальными фотонами извлекаются величины формфакторов для $q_m^2<0$. Преимуществом (γ, γ') -эксперимента перед (e, e') является более высокое энергетическое разрешение, так как для регистрации фотонов можно использовать Ge(Li)-де-

текторы, имеющие разрешение 2—7 кэВ, в то время как для электронных детекторов оно составляет 30—50 кэВ. Кроме того, в (γ, γ')-эксперименте можно наблюдать заселение возбужденных состояний конечного ядра и получать информацию о неупругих парциальных каналах распада исследуемого состояния [2]. В частности, наблюдается переход в ядре ^{23}Na с уровня 2,98 МэВ на возбужденный уровень 0,44 МэВ; в

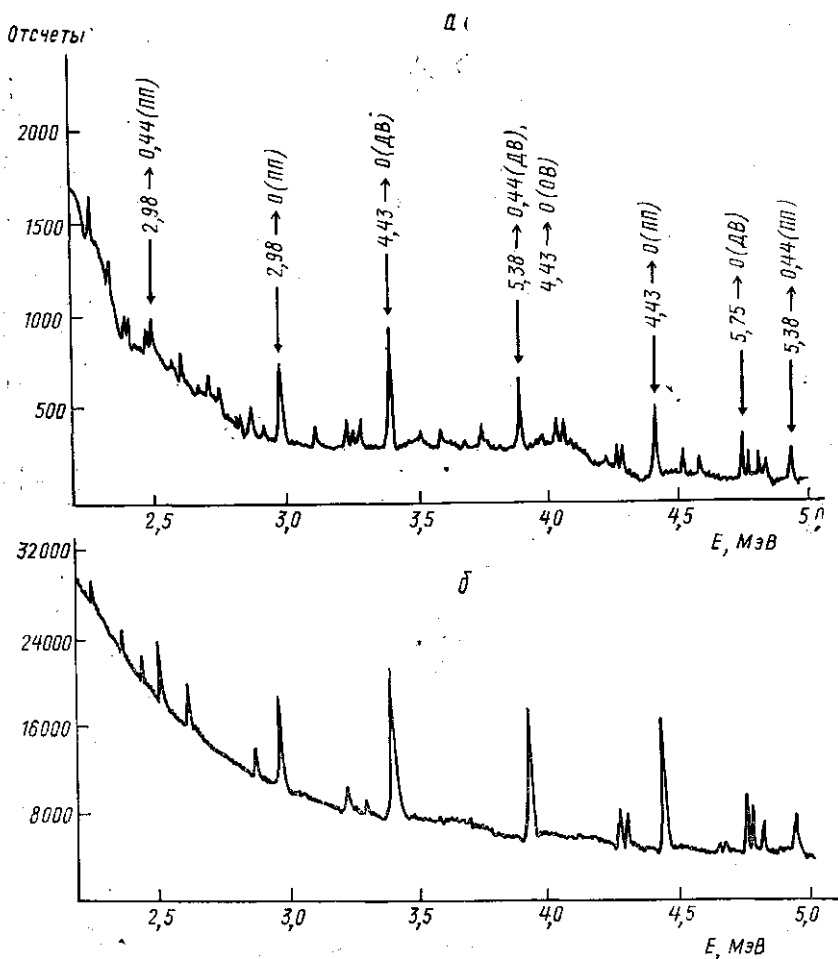


Рис. 3. Спектры ядра ^{23}Na , полученные на разрезном микротроне НИИЯФ МГУ (а) и ускорителе MUSL-2 (США) [3] (б); толщина мишени 2 (а) и 3,74 г/см² (б), $\theta = 127^\circ$ (а) и 126° (б), доза 90 (а) и 2367 мкКл (б), $E_e = 6,2$ (а) и 10,4 МэВ (б)

ядре ^{19}F переходы с уровней 1,55; 3,91 и 3,96 МэВ на уровни 0,2; 1,55 и 1,02 МэВ соответственно.

Полученные результаты сравнивались с результатами работ, выполненных на аналогичных ускорителях. В частности, было проведено сравнение спектров ядра ^{23}Na , полученных на инжекторе разрезного микротрона и на ускорителе MUSL-2 (США) [3]. Данные спектры представлены на рис. 3. Хорошо видно соответствие наиболее интенсивных уровней друг другу. Наличие других, несовпадающих, уровней может объясняться различными фоновыми условиями и разницей в

верхней границе спектра электронов (см. рис. 3). В спектрах отчетливо наблюдаются пики полного поглощения (ПП), одиночного вылета (ОВ) и двойного вылета (ДВ) для указанных уровней. Видно, что уровень фоновой подложки для спектра, полученного на разрезном микротроне, достаточен для наблюдения состояний с ширинами $\Gamma_0 > 0,1$ эВ (состояние 2,98 МэВ).

В целом проведенная серия измерений показала работоспособность созданной установки и возможность наблюдения ядерной резонансной флуоресценции при сравнительно малых дозах облучения мишени.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Алимов А. С. и др. Разрезной микротрон непрерывного действия НИИЯФ МГУ: Препринт НИИЯФ МГУ, № 2 88—012/33. М., 1988. [2] Ишханов Б. С., Калитонов И. М., Можеев В. И. Деп. ВИНТИ N 5902-B89. М., 1989. [3] Voldanel R. et al.//Phys. Rev. 1984. C29. P. 409.

Поступила в редакцию
16.11.92

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1993. Т. 34, № 5

РАДИОФИЗИКА

УДК 530.014

КВАНТОВОЕ НЕВОЗМУЩАЮЩЕЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЧИСЛА ФОТОНОВ И ЭНЕРГИИ НУЛЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ В СХЕМЕ КВАДРАТИЧНОГО РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНА

С. П. Вятчанин, А. Б. Мацко

(кафедра молекулярной физики и физических измерений)

Показано, что возможно квантовое невозмущающее измерение энергии фотонов и нулевых колебаний моды диэлектрического резонатора на основе эффекта квадратичного рассеяния электронов, пролетающих вдоль резонатора со скоростью, близкой к фазовой скорости волны в резонаторе.

Как известно, для реализации квантового невозмущающего измерения энергии (КНИЭ) необходимо иметь прибор, гамильтониан связи которого с исследуемым объектом был бы пропорционален *квадрату* обобщенной координаты объекта [1], что может быть достигнуто, например, с помощью пондеромоторного измерителя [1] или путем использования вещества с квадратичной зависимостью диэлектрической проницаемости от электрического поля [2, 3]. Существует предложение [4] использовать для КНИЭ солитоны в экситонных полупроводниках (CdS или GaAs). В любом случае экспериментатор сталкивается с необходимостью иметь большую нелинейность и малую диссипацию. Такого сочетания этих двух величин для реализации КНИЭ найти пока не удалось.

Другая возможность для экспериментальной реализации КНИЭ — использовать квадратичное по полю рассеяние электрона (КРЭ) на фотоне [5—7]: пролетающий вдоль диэлектрического волновода без дополнительной оболочки электрон колеблется в поперечном направлении и из-за неоднородности поля снаружи получает поперечный импульс (сила Миллера [8]), который пропорционален *энергии* фотона