

**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P13-92-18

**Г.Г.Чубарян, В.А.Горшков, В.Е.Жучко,
С.М.Лукьянов, Х.Г.Ортлепп, В.С.Саламатин,
Д.Вольффард***

**ДВУХПЛЕЧЕВОЙ ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР
НА ОСНОВЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ
МНОГОПРОВОЛОЧНЫХ ЛАВИННЫХ СЧЕТЧИКОВ**

***Центральный институт ядерных исследований,
Россендорф, ФРГ**

1992

Двухплечевой времяпролетный спектрометр
на основе позиционно-чувствительных
многопроволочных лавинных счетчиков

Описан двухплечевой времяпролетный спектрометр для регистрации и исследования осколочноподобных продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами. Спектрометр состоит из двух мобильных времяпролетных "плеч", включающих в себя "стартовые" трансмиссионные плоскопараллельные лавинные счетчики и "стоповые" широкоапертурные многопроволочные позиционно-чувствительные лавинные счетчики. Спектрометр смонтирован на канале выведенного пучка ускорителя У-400 ЛЯР ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Chubarian G.G. et al.

P13-92-18

A Double Arm Time-of-Flight Spectrometer
Based on Position-Sensitive Parallel-Grid
Avalanche Counters

A double arm time-of-flight spectrometer, built-up at the LNR JINR, intended to register and study the characteristics of fission-like products produced in heavy-ion reactions with complex nuclei are presented. The basis part of spectrometer are two identical mobile position-sensitive time-of-flight arms. Each arm consists of a parallel-plate avalanche "start" counter and of position-sensitive, large area parallel-grid avalanche "stop" counters. The spectrometer is mounted on a beam-line of the U-400 heavy-ion accelerator.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование массовых, энергетических и пространственных распределений продуктов реакций с тяжелыми ионами имеет первостепенную значимость для изучения механизма взаимодействия сложных ядер. Как показано в работах [1-4], данную задачу можно решать, используя корреляционную методику регистрации и идентификации продуктов реакций.

Ранее в ЛЯР ОИЯИ был создан двухплечевой времяпролетный спектрометр установки ДЭМАС [5], успешно применявшийся при изучении двухтельных реакций [4,6]. Однако его применение для изучения реакций с малыми ($\leq 10^{-27} \text{см}^2$) сечениями было затруднительно из-за его небольшой геометрической эффективности.

Для увеличения светосилы данной установки были разработаны позиционно-чувствительные многопроволочные лавинные счетчики (ПЧЛС) большой площади (280x100 мм). В результате были увеличены: телесный угол каждого плеча в 8 раз, пределы

Таблица 1

Основные характеристики спектрометра	до	после
	реконструкции	реконструкции
Пределы измерения углов разлета продуктов:		
в плоскости реакции θ - от 15° до 165°	$\pm 7,5^\circ$	$\pm 20^\circ$
вне плоскости φ	$\pm 2,3^\circ$	$\pm 7^\circ$
Телесный угол каждого "плеча"	25 мср	185 мср
Точность измерения углов $\delta\theta, \delta\varphi$	$0,2^\circ$	$0,2^\circ$
Временное разрешение δt	250 пс	230 пс

измерения углов разлета продуктов реакции в и вне плоскости реакции каждого плеча в 2,7 и 3 раза соответственно, что позволило увеличить общую эффективности регистрации коррелированных продуктов двухтельных реакций более чем в 50 раз. Сравнительные характеристики спектрометра до и после реконструкции приведены в таблице 1.

Схематическое изображение двухплечевого времяпролетного спектрометра приведено на рис.1. Он состоит из двух широкоапертурных позиционно-чувствительных лавинных счетчиков и

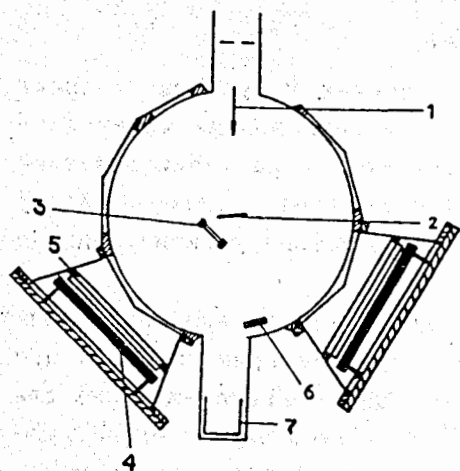


Рис.1. Схематическое изображение двухплечового времяпролетного спектрометра: 1 - пучок ионов, 2 - мишень, 3 - "стартовый" ППЛС, 4 - "стоповый" ПЧЛС, 5 - входное окно, 6 - монитор (ППД Si(Au)), 7 - цилиндр Фарадея.

"стартового" детектора. В качестве "стартового" детектора применялся трансмиссионный детектор на основе микроканальных пластин (МКП) или плоскопараллельный лавинный счетчик (ППЛС).

ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МНОГОВОЛОЧНЫЙ ЛАВИННЫЙ СЧЕТЧИК (КОНСТРУКЦИЯ)

На рис.2 приведено схематическое изображение ПЧЛС. Он является модификацией ПЧЛС, описанного в работе [7]. Счетчик имеет рабочую площадь 280x100мм и состоит из трех электродов: центрального общего катода и двух анодных плоскостей. Катод изготовлен из лавсановой фольги толщиной 2мкм, приклеенной к рамке из фольгированного стеклотекстолита. Фольга с двух сторон покрыта серебром толщиной $\approx 30\text{мкг/см}^2$. Аноды имеют различную конструкцию. Первый представляет собой рамку, на которую с шагом 1,25мм запаяны нити из Ве-Си толщиной 50мкм. Второй анод изготовлен из фольгированного стеклотекстолита методом химического травления и представляет собой плоскость из медных полос. Каждая полоса имеет ширину 1 мм, расстояние между центрами полос равно 1,25мм. На обоих анодах каждая нить и полоса в отдельности заземлены через сопротивление в 1,1МОм. Анодные нити и полосы взаимно перпендикулярны. Электроды ПЧЛС крепятся строго параллельно с межэлектродными зазорами $3\pm 0,05\text{мм}$. На краю каждой анодной плоскости перпендикулярно полосам (нитям) размещены линии задержки (ЛЗ), на которые индуцируются сигналы от тех полос (нитей), вблизи которых

пролетела детектируемая частица. Один конец ЛЗ заземлен через сопротивление, величина которого (R) равна реактивному сопротивлению ЛЗ (Z), со второго свободного конца ЛЗ снимается сигнал. Быстрый "временной" сигнал берется с центрального катода.

Место прохождения частицы (координата) определяется по разности времен прихода сигналов с катода и ЛЗ. Таким образом

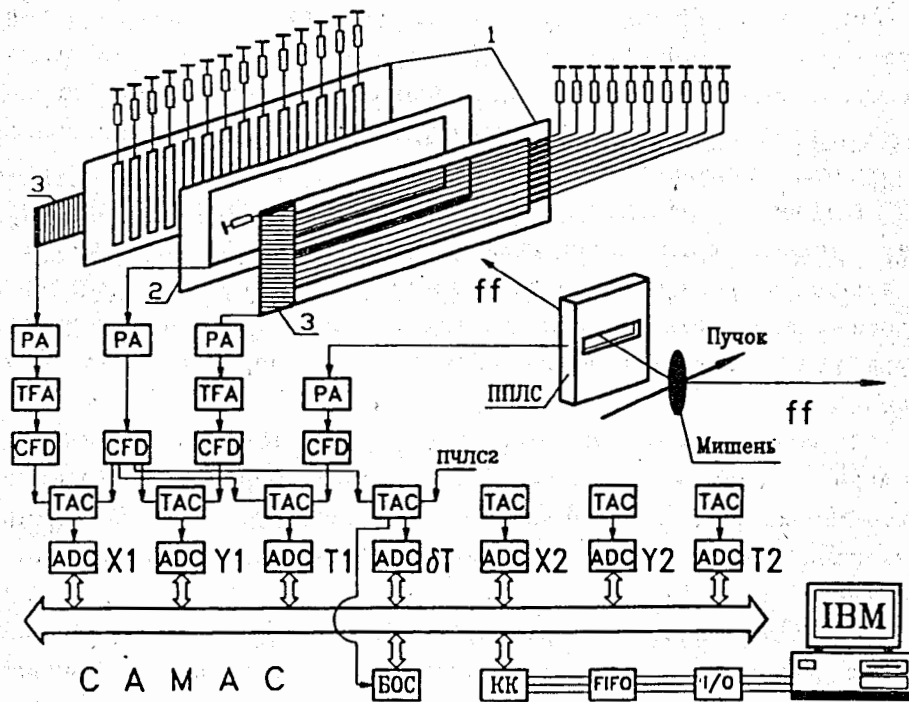


Рис.2. Схематическое изображение ПЧЛС и блок-схема электроники времяпролетного спектрометра: 1 - полосковый (X) и сеточный (Y) аноды, 2 - катод, 3 - линии задержки; PA - предусилитель, CFD - субнаносекундный формирователь, TFA - быстрый усилитель, TAC - времяамплитудный преобразователь, ADC - амплитудно-цифровой преобразователь, KK - крейт-контроллер, БОС - блок организации совпадений, FIFO - буферная память, I/O - входной-выходной регистр.

с полоскового и проволочного анодов получаются соответственно X- и Y-координаты попадания частиц в детектор.

При давлении рабочего газа $P \leq 3$ торр электронная лавина расширяется из-за диффузии электронов [8], и ширина лавины превышает расстояние между полосками (нитями). В этом случае индуцируются сигналы в нескольких соседних полосках (нитях), и место прохождения частицы получается из определения центра тяжести сигнала. Таким методом удается получить координатное разрешение лучше, чем расстояние между полосками (нитями) [9].

Одно из преимуществ данной конструкции заключается в том, что электростатические силы притяжения на катод взаимно уравновешены, и фольга катода не прогибается. Влияние такого прогибания, приводящего к сильному ухудшению временного разрешения счетчика, описано в работе [10].

В качестве рабочего газа для ПЧЛС могут быть использованы пары углеводородов (изобутан - C_4H_{10} , пентан - C_5H_{12} и др.). В данном детекторе применялся пентан, при этом была сконструирована проточная газовая система. Расход газа при температуре $18^\circ C$ и давлении в счетчиках $P \approx 3+4$ торр составлял ≈ 70 мл/сут.

В качестве входных окон применялись тонкие органические фольги (лавсан, Hostopan, полипропилен) толщиной $\approx 100+300$ мкг/см², приклеенные на металлическую рамку с поддерживающей сеткой из стали толщиной 125 мкм, намотанную ячейками 10×15 мм.

Стартовый ППЛС имел рабочую площадь 40×10 мм и располагался на расстоянии 40 мм от мишени. Конструктивная особенность ППЛС состояла в том, что входное и выходное окна (полипропилен ≈ 100 мкг/см², покрытый золотом ≈ 40 мкг/см²) одновременно являлись электродами. Это позволяло минимизировать потери энергии при прохождении частиц через ППЛС. Межэлектродный зазор равнялся $3 \pm 0,05$ мм. Для обеспечения плоскопараллельности электроды поддерживались сеткой с ячейками 1×1 мм. ППЛС подключался к газовой системе ПЧЛС.

Подробное описание конструкции и основных характеристик детектора на основе МКП приведено в работе [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ

Предварительно, до полной сборки спектрометра на канале выведенного пучка циклотрона У-400, детекторы были испытаны на смешанном источнике α -частиц $^{241,243}Am$ и источнике осколков спонтанного деления ^{248}Cm . В результате испытаний были измерены временное и позиционное разрешения счетчиков, а также временные характеристики ПЧЛС в зависимости от давления и температуры рабочего газа.

На рис. 3а,б соответственно представлены спектры времени пролета α -частиц от смешанного источника $^{241,243}Am$ и осколков спонтанного деления ^{248}Cm . Временное разрешение для α -частиц и легкой группы осколков составило величину $\Delta t \approx 230$ и 280 пс соответственно. При этом следует учесть, что при регистрации осколков деления на временное разрешение существенное влияние оказывает разброс по скоростям, вносимый фольгами стартового детектора и толщиной самого источника. На рис. 4а представлен спектр время пролета TOF-X координата. На нем отчетливо разделяются группы легких и тяжелых осколков деления ^{248}Cm , а также видны две горизонтальные полосы, соот-

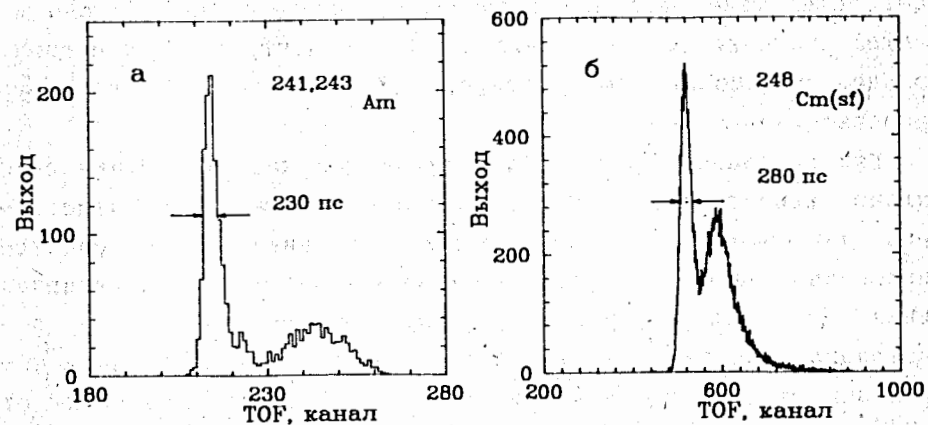


Рис. 3. Времяпролетные спектры: а) α -частиц от смешанного источника $^{241,243}Am$, б) осколков спонтанного деления ^{248}Cm . Рабочий газ пентан $P=2,8$ торр, напряжение на ПЧЛС $U = -540В$.

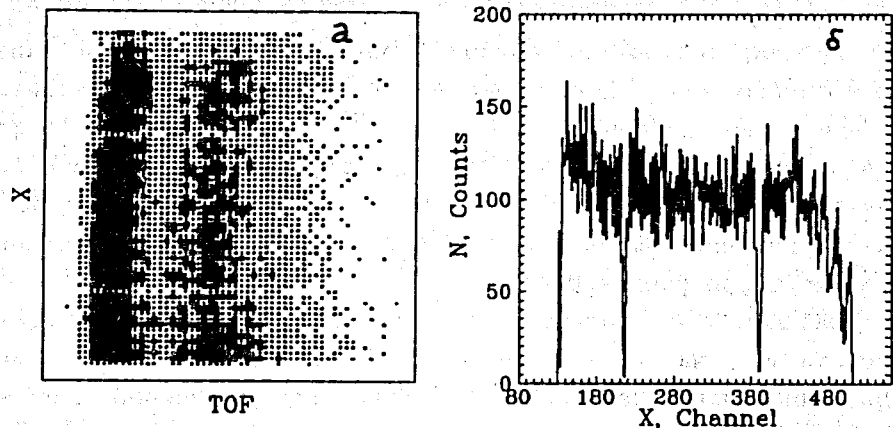


Рис. 4. Двухмерный спектр - время пролета (TOF) - X-координата (а), одномерный - X - координата (б) осколков деления ^{248}Cm .

ветствующие провалам в одномерном спектре X - координаты (рис. 4б), которые возникли из-за помещенных непосредственно перед ПЧЛС двух непрозрачных для частиц полосок шириной 2мм. Заметный изгиб в тяжелой группе осколков (рис. 4а) возникает вследствие увеличения пролетной базы по обе стороны от центра счетчика. Изображенный на рис. 5 спектр X-Y - координат получен с помощью соответствующего трафарета, закрепленного непосредственно перед ПЧЛС.

Как показано в работе [7], временные характеристики ПЧЛС сильно зависят от давления рабочего газа. На рис. 6 представлены зависимости положения временного пика в TOF спектре (сплошная линия) и временное разрешение ПЧЛС (пунктирная линия) от давления рабочего газа соответственно, при регистрации α -частиц. Как видно из графика, при постоянном напряжении $U=-540\text{В}$ положение временного пика сильно зависит от давления газа. Его сдвиг составил величину $\tau \approx 1,3 \text{ нс./торр}$ в области $P=3+5 \text{ торр}$. Наилучшее разрешение получено при давлении $P=2,8 \text{ торр}$, что хорошо согласуется с результатами работы [7].

Были также измерены зависимости положения временного пика и амплитудный разброс сигналов ПЧЛС от температуры рабочего

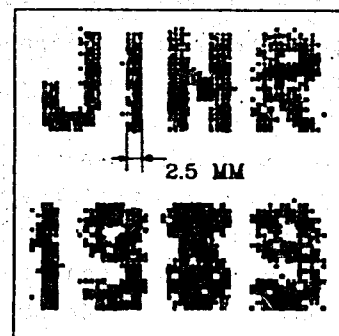


Рис. 5. Двухмерный спектр X-Y - координат, полученный с помощью трафарета, помещенного перед ПЧЛС.

газа при постоянном напряжении и давлении. В диапазоне $t=20+50^\circ\text{C}$ существенного сдвига временного пика не наблюдалось. Амплитудный разброс сигналов при повышении температуры увеличивался на величину 0,7 процентов/градус.

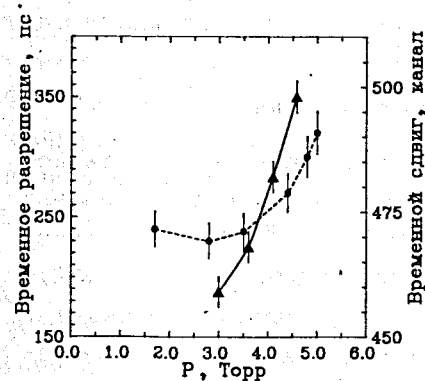


Рис. 6. Зависимость положения временного пика в TOF спектре (\blacktriangle - сплошная линия) и временного разрешения системы ПЧЛС-ПЧЛС (\bullet - пунктир) от давления рабочего газа, $U=-540\text{В}$ (52 пс./канал).

НАКОПЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Блок-схема электроники спектрометра приведена на рис. 2. Она содержала: субнаносекундные предусилители (РА), специально разработанные для ПЧЛС в ЦИЯИ, Россендорф. К катоду подключался предусилитель типа ZfK 5027-40 с собственным временем нарастания $\tau_\phi = 0,7 \text{ нс}$ и среднеквадратичным напряжением, приведенным к входному, $\langle U^2 \rangle^{1/2} < 15 \text{ мкВ}$. К линиям задержки подключались предусилители типа ZfK 5027-30. Их динамические

входные сопротивления согласовывались с импедансом ЛЗ ($Z=389\text{ Ом}$), и время нарастания сигнала ограничивало полосу пропускания частот в диапазоне, где дисперсия сигналов с ЛЗ компенсирована. В аналоговые тракты входили также: быстрые дискриминаторы (ORTEC - CFD 584, CFD 473A), быстрые усилители (ORTEC - TFA 474), времяамплитудные преобразователи (ORTEC - TAC 457, Polon - TAC 1701). Сигналы с времяамплитудных преобразователей поступали на амплитудно-цифровые преобразователи (ADC) ПА-24К [12], далее через крейт-контроллер (КК) КК-001 [13], буферную память (FIFO) КП-16К и плату входной-выходной регистр (I/O) ВВ-18П, изготовленные в ЛЯР ОИЯИ, поступали на ПЭВМ IBM-PC/AT. Разрешение на считывание физического слова осуществлялось с помощью блока организации совпадений (БОС) КЛ-23К [12].

Накопление экспериментальных данных осуществлялось с помощью универсальной программы "SPM", которая позволяла событично записывать данные на твердый диск и в 16 буферах памяти осуществлять их сортировку и контролировать по заданным условиям.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Окончательная физическая обработка данных проводилась после завершения набора. Из совокупности экспериментальных параметров ($t_{1,2}$, Δt , $X_{1,2}$, $Y_{1,2}$) проводилось вычисление масс коррелированных продуктов, полной кинетической энергии (ТКЕ), а также строились угловые распределения продуктов реакции в зависимости от их энергии и массы. Обработка данных осуществлялась с помощью пакета программ "DEMAS", написанных на языке Паскаль на ЭВМ IBM-PC/AT, и проводилась в три этапа.

На первом этапе с помощью универсальной программы "RESORT" производилась первичная сортировка данных (очистка от событий с нулевыми параметрами, от случайных совпадений), при этом создавался новый файл данных. На втором этапе с помощью программы "SOURCE" проводилась основная обработка данных по следующему алгоритму: после подстановки калибровочных коэффициентов для каждого измеряемого параметра получали непосредственно вычисляемые для отдельного события величины - $t_{1,2}$, $\theta_{1,2}$, $\varphi_{1,2}$, где t_2 - время пролета частицы 2 между

"стартовым" ПЧЛС и "стоповым" ПЧЛС2; t_1 - время между "стартовым" сигналом от 2-й частицы (ПЧЛС) и "стоп"-сигналом от ПЧЛС1; $\theta_{1,2}$, $\varphi_{1,2}$ - углы вылета частиц в и вне плоскости реакции относительно оси пучка соответственно.

Массы и скорости продуктов ($M_{1,2}$, $v_{1,2}$) непосредственно после реакции вычислялись в предположении двухтелности процесса:

$$M_{\text{пр}} + M_{\text{тг}} = M_1 + M_2 \quad - \text{сохранение числа нуклонов (M=A)}$$

$$M_1 v_1 \sin \theta_1 = M_2 v_2 \sin \theta_2 \quad - \text{сохранение импульса перпендикулярно оси пучка.} \quad (1)$$

Для вычисления скоростей частиц непосредственно после реакции учитывались их энергетические потери в веществе мишени, подложке мишени, фольгах стартового детектора, во входном окне ПЧЛС (потери энергии в различных средах рассчитывались с помощью полуэмпирической формулы из работы [14]). Для этого итерационным способом решалась система уравнений (1) относительно неизвестных $M_{1,2}$, $v_{1,2}$. Далее с условием $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2 = 180^\circ$ (сумма углов разлета в системе центра масс) производился отбор событий, идущих с полной передачей импульса (двухтельные процессы). Величина полной кинетической энергии - ТКЕ-определялась из соотношения:

$$\text{ТКЕ} = M_1 v_1^2 / 2 + M_2 v_2^2 / 2. \quad (2)$$

В результате данной обработки формировался выходной файл, содержащий окончательные величины $v_{1,2}$, $\theta_{1,2}$ для каждого события. На третьем этапе при помощи программы PHYS6 проводилась постобработка данных: построение необходимых одномерных и двумерных спектров ($M_{1,2}$, ТКЕ, M-ТКЕ, M- θ ...), сортировка физических данных в конкретно поставленных пределах, расчет их средних величин и дисперсий. Имелась также возможность создания выходных файлов для построения на графопостроителе выбранных спектров.

На рис. 7 изображена зависимость выхода продуктов в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ti}$ (264 МэВ) от углов θ_1 и θ_2 в лабораторной системе координат. На рисунке выделяются события, соответствующие упругим процессам и симметричной фрагментации. Сплошным линиям соответствуют расчетные зависимости $\theta_1 = f(\theta_2)$ при

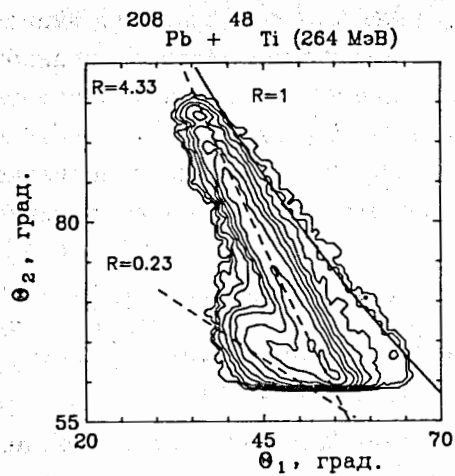


Рис. 7. Выход двухтельных продуктов реакции $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ti}$ (264 МэВ) в зависимости от углов разлета θ_1, θ_2 в лабораторной системе. Линиям соответствуют расчетные зависимости θ_1 от θ_2 при соотношении масс регистрируемых продуктов с $R=1$ ($M_1=M_2=M_{\text{CN}}/2$) - сплошная и упругому рассеянию - $R=0,23$ и $4,33$ ($M_{\text{pr}}/M_{\text{tg}}$ и $M_{\text{tg}}/M_{\text{pr}}$) - пунктирные.

различных соотношениях масс регистрируемых продуктов ($R=1$ соответствует образованию продуктов с массой $M_1=M_2=M_{\text{CN}}/2$, упругому рассеянию - $R=M_{\text{pr}}/M_{\text{tg}}$ ($M_{\text{tg}}/M_{\text{pr}}$)= $0,23$ ($4,33$)).

На рис. 8а, б представлены зависимости выходов продуктов от $M, \text{ТКЕ}$ (а) и $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2, \text{ТКЕ}$ (б), полученные в той же реакции. В первом из них отчетливо выделяются три группы событий - продукты упругого и квазиупругого взаимодействий, продукты сим-

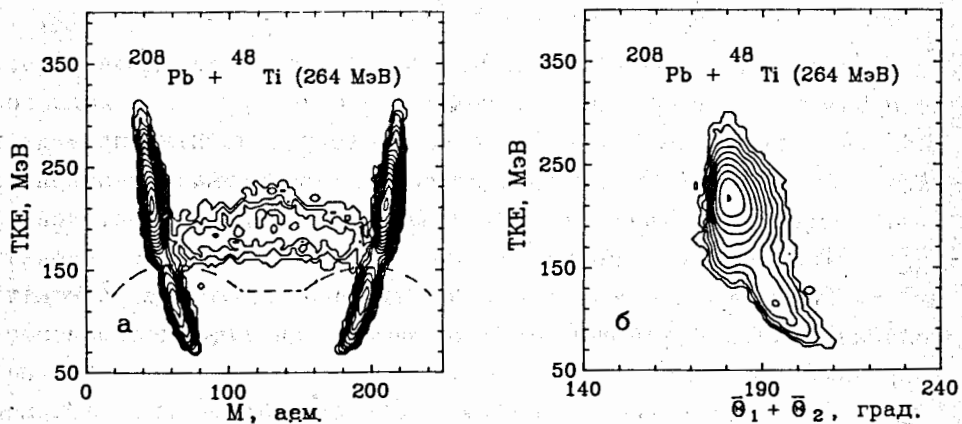


Рис. 8. Выход продуктов реакции $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ti}$ (264 МэВ) в зависимости от массы (M) и полной кинетической энергии (ТКЕ) (а); суммы углов разлета в системе ц.м. ($\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2$) и ТКЕ (б).

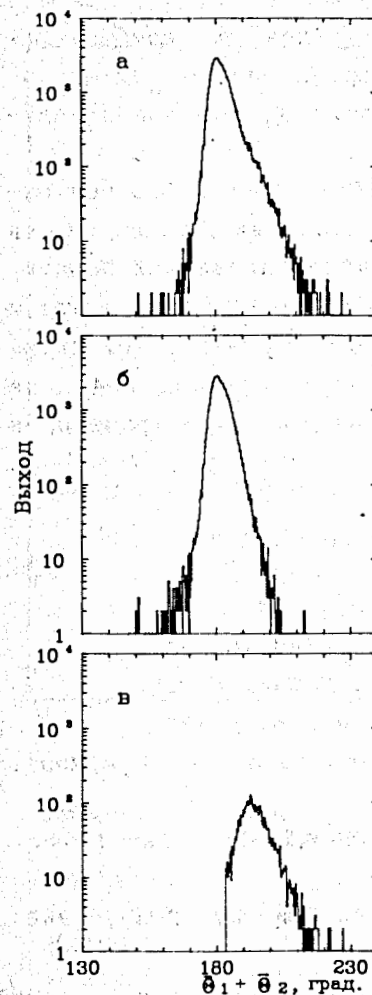


Рис. 9. Выход продуктов реакции $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ti}$ (264 МэВ) в зависимости от суммы углов разлета в системе ц.м. $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2$ (а) - полный, (б) - для событий, соответствующих продуктам упругих, квазиупругих взаимодействий и симметричной фрагментации, (в) - для событий, расположенных под пунктирной кривой на рис. 8а.

метричной фрагментации, лежащие между ними, и ниже группа событий, расположенная под пунктирной кривой. Во втором рисунке выделяются две группы событий в окрестности $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2 = 180^\circ$ и $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2 > 180^\circ$.

На рис. 9 а, б, в изображены спектры выхода продуктов в зависимости от $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2$: а - полный, б - для группы событий, соответствующих продуктам упругих, квазиупругих взаимодействий и симметричной фрагментации, в - продуктам реакций, соответствующим выделенной области в спектре на рис. 8а. Как видно из последнего рисунка, они компактно группируются в области $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2 \approx 193^\circ$ и соответствуют процессам, идущим с неполной передачей импульса. Таким образом удается разделять события, соответствующие различным механизмам взаимодействия, в частности, выделять двухтельных события, что позволяет применять данный спектрометр для изучения деления ядер на пучках тяжелых ионов.

В настоящее время на данном спектрометре проводятся исследования характеристик продуктов реакций с тяжелыми ионами,

при различных энергиях налетающих ионов и комбинациях ион-мишень. Проведенные на пучках тяжелых ионов длительные эксперименты показали высокую надежность и простоту в эксплуатации созданной установки.

Авторы выражают благодарность Ю.Ц.Оганесяну и Ю.Э.Пенион-жевичу за поддержку и всестороннее содействие, оказанное в процессе создания спектрометра, а также В.Зайделю, Х.Зодану, Л.П.Челнокову, Г.Ф.Гридневу, А.Я.Русанову за ценные советы и плодотворные дискуссии. Мы признательны Г.Ф.Исаеву, коллективам ОП ЛЯР ОИЯИ и службам эксплуатации ускорителя У-400 за большой объем работ, проведенных при создании спектрометра и его испытаниях на пучке тяжелых ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зодан Х. и др., ОИЯИ, Р7-10671, Дубна, 1977.
2. Bock R. et.al., Nucl. Phys., 1982, V.A388, p.334.
3. Shen W.Q. et.al., Phys. Rev., 1987, V.C36, p.115.
4. Gippner P. et.al., Z.Phys.A, 1988, V.325, p.335.
5. Schilling K.D. et.al., Nucl.Insr.and Meth. in Phys.Res., 1987, V.A257, p.197.
6. Зодан Х. и др., Краткие сообщения ОИЯИ, №4-84, Дубна, 1984, с.15.
Зодан Х. и др., ЯФ, Т.49, с.8.
7. Seidel W. et.al., Nucl.Insr.and Meth. in Phys.Res., 1988, V.A273, p.203.
8. Breskin A. et.al., Nucl.Insr.and Meth., 1983, V.212, p.203.
9. Seidel W. et.al., In: Annual Report, 1985: ZfK-584, Rossendorf, 1986, p.94.
10. Зайдель В. и др., ПТЭ, 1983, 44, с.52.
11. Lukianov S.M., et.al., GANIL, P.86.21, 1986.
12. Кузнецов А.Н., Конференция молодых ученых и специалистов ЛЯР, ОИЯИ, P13,15-86-413, 1986, Дубна, с.41.
13. Журавлев Н.И. и др., Сообщения ОИЯИ, 10-7332, Дубна, 1973.
14. Benton E.V. and Henke R.P., Nucl. Instr. and Meth., 1969, V.76, p.87.

Рукопись поступила в издательский отдел

16 января 1992 года.