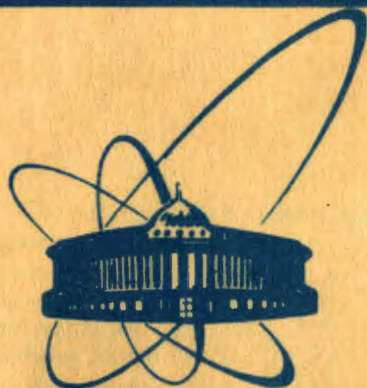


83-681

26/xii-83



**сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

6769/83

13-83-681

В.В.Гаркун*, А.И.Голохвастов, В.П.Кондратьев*,
Л.В.Краснов*, Ю.Лукстиньш, И.В.Степанов*,
С.А.Хорозов, И.Е.Шевченко*, И.Г.Яцышин*

**СПЕКТРОМЕТР $\Delta E-E$ ТИПА
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЫХОДОВ ЧАСТИЦ
В РЕАКЦИЯХ С РЕЛЯТИВИСТСКИМИ ИОНАМИ**

* Ленинградский государственный университет

1983

Исследование выходов вторичных частиц в ядерных реакциях с релятивистскими тяжелыми ионами предполагает анализ частиц по их зарядам, массе и энергиям. Этот анализ осуществляется различными способами: на основе времяпролетной методики с регистрацией энергии частиц ^{/1,2/}; методики $\Delta E-E$ ^{/3/}, а также методики магнитных анализаторов ^{/4,5/}.

Нами реализован вариант $\Delta E-E$ спектрометра с использованием сцинтилляторов CsJ(Tl), позволяющий проводить энергетический анализ пионов, протонов, дейтронов, тритонов.

1. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Энергетический диапазон спектрометра $\Delta E-E$ типа определяется толщиной детектора полного поглощения. Эффективность регистрации частиц, определяемая вероятностью их взаимодействия с веществом детектора, падает с ростом энергии за счет увеличения необходимой толщины детектора. Исходя из ограничений, которые необходимо учитывать при рассмотрении эффективности регистрации частиц, при конструировании установки была выбрана суммарная толщина детекторов 41 г/см^2 , достаточная для остановки протонов с энергией $\sim 185 \text{ МэВ}$. Установка содержит два независимо работающих идентичных телескопа. Каждый телескоп состоит из восьми сцинтилляционных детекторов, характеристики сцинтилляторов для каждого приведены в табл.1, схема телескопа - на рис.1. Логика отбора события - $P1 \times P2 \times P3 \times PA$; для уменьшения наложений в канале спектроскопии предусмотрена блокировка сигнала запуска спектрометра. При появлении сигнала запуска блок управления спектрометром организует обработку спектроскопической информации со счетчиков $D1, D2, D3, D4$ и передачу ее в ЭВМ ЕС-1040. Счетчики $P1, P2, P3$ обеспечивают отбор событий по сигналам с наносекундными временными характеристиками. Размеры счетчика $P3$ определяют телесный угол всего телескопа, который составляет 3 мср . Во всех счетчиках использовались ФЭУ-85.

Блок-схема электроники отбора события представлена на рис.2. Описание блоков системы управления работой спектрометра приведено в работе ^{/6/}. Информация о событиях передавалась в ЭВМ ЕС-1040 по линии связи длиной 1200 м^2 ^{/7/} и через микропрограммный контроллер ^{/8/} поступала в процессор. Организация совместной работы спектрометра и ЭВМ осуществлялась с использованием комплекса аппаратных и программных средств, разработанных в лабора-

Таблица 1

Детектор	Сцинтиллятор и размеры /мм/	Детектор	Сцинтиллятор и размеры /мм/
П1, П2	пластик 30x40x1,8	Д1	CsJ(Tl) 30x40x2,4 30x40x3,0
П3	пластик 10x15x1,8	Д2, Д3, Д4	CsJ(Tl) 30x40x30
ПА	пластик 60x100x10		

телескопа, 2/ отсчеты АЦП, кодирующих амплитуды сигналов с детекторов Д1-Д4. В конце каждого цикла ускорения в ЭВМ производится запись отсчетов мониторинжных счетчиков, информации с систем измерения мертвого времени телескопов.

Программа он-лайн эксперимента в ходе экспозиции контролирует качество работы системы связи установки с ЭВМ, правильность функционирования спектрометра, производит первичную обработку информации, строя двумерные распределения для пар Д1-Д2, Д2-Д3, Д3-Д4 детекторов, записывает всю принятую информацию на магнитную ленту.

Механическая конструкция установки состоит из вертикальной трубы, являющейся осью вращения двух кронштейнов, на которых смонтированы телескопы. Диапазон углов вылета регистрируемых частиц - от 20 до 160°. Мишени толщиной 1 г/см² диаметром 15 мм крепятся в пенопластовом держателе, устанавливаемом в центре вращения плеч. Расстояние между мишенью и счетчиком П1 - 14,5 см, между мишенью и детектором Д4 - 40 см.

Все сцинтилляторы установлены на световодах с воздушным контактом; в качестве отражателя используется алюминизированный майлар толщиной 10 мкм. Для настройки спектрометрических трактов во всех счетчиках с CsJ(Tl) установлен светодиод АЛ-102В.

2. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА СПЕКТРОМЕТРА

Поскольку в необходимом интервале энергий (10-250 МэВ) монохроматических пучков в нашем распоряжении не было, для проведения градуировки использовались двумерные графики энерговыделений в паре детекторов, где на плоскости $\Delta E, E$ записывалось число событий с данным значением отсчетов АЦП в ΔE - и E -детекторах. В этой плоскости можно было проследить локусы, соответствующие отдельным частицам, и считать координаты этих локусов. Алгоритм градуировки строился в предположении: 1/ линейности световых выходов кристаллов CsJ(Tl) в зависимости от выделенной в кристалле энергии; 2/ независимости световых выходов от сорта частиц; 3/ линейности тракта ФЭУ - усилитель - АЦП. Имеются экспериментальные данные ^{10/}, указывающие на линейность световых выходов в CsJ(Tl) для протонов и дейтронов с энергией выше 3 МэВ, причем световой выход для протонов и дейтронов не зависит от сорта частицы. Связь энергии E с отсчетом АЦП в линейном приближении имеет вид $E = k \cdot (n - N_0)$, где k - наклон градуировочной зависимости, N_0 - отсчет, соответствующий пьедесталу АЦП. Определению подлежит параметр k , хотя N_0 не фиксировался в эксперименте, а также считался неизвестным. Таким образом, для четырех детекторов необходимо было определить восемь неизвестных параметров - по 4 значения k и N_0 . Алгоритм нахождения неизвестных параметров состоял в следующем: пусть выбраны некоторые значения параметров k и N_0 . Тогда можно для каждой пары из $(n-1)$ -го и n -го

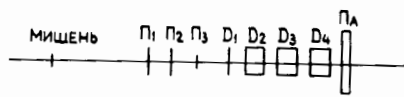
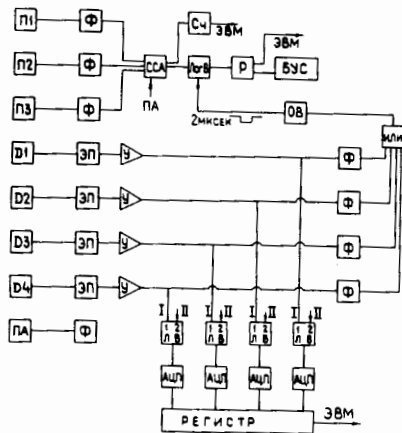


Рис.1. Расположение сцинтилляционных детекторов в телескопе: П1-П3, ПА - пластиковые сцинтилляторы триггера, Д1-Д4 - сцинтилляторы CsJ(Tl) для амплитудного анализа.

Рис.2. Упрощенная блок-схема спектрометрического тракта и логики события спектрометра: П1, П2, П3, ПА - детекторы с пластиковыми сцинтилляторами; Д1, Д2, Д3, Д4 - спектрометрические детекторы со сцинтилляторами из CsJ(Tl); ЭП - эмиттерный повторитель; У - спектрометрический усилитель; ЛВ - линейные ворота, АЦП - амплитудно-цифровой преобразователь; Ф - формирователь; ОВ - одновибратор; ССА - схема совпадений и антисовпадений; ЛогВ - логические ворота; Р - разветвитель; Сч - счетчик; БУС - блок управления спектрометром; I-II - входы для спектрометрических сигналов I и II телескопов соответственно.



тории высоких энергий ОИЯИ ^{19/}. Информация о событии поступает в ЭВМ в виде слова из шести байт, в которых содержится: 1/ код

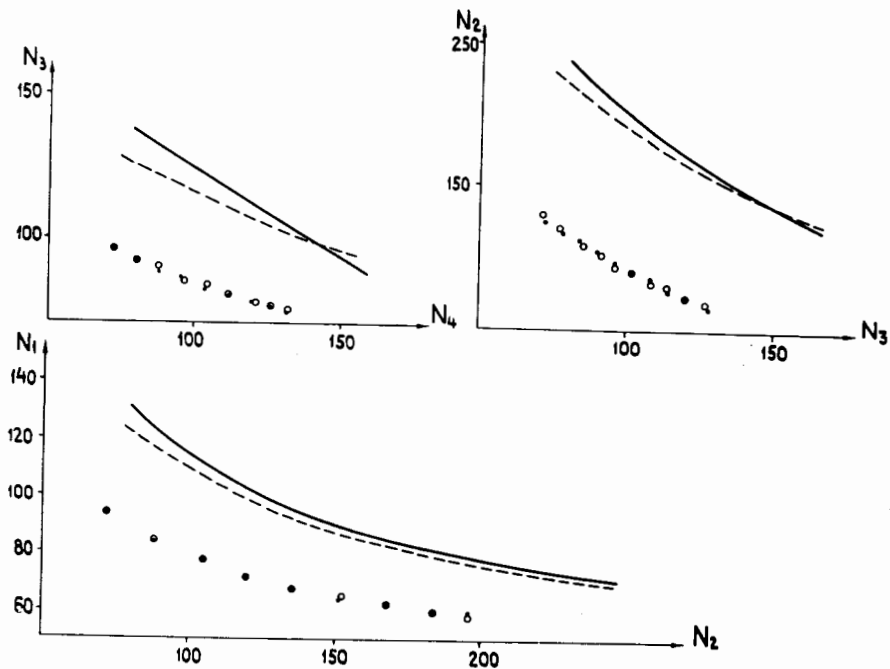


Рис.3. Экспериментальные и расчетные локусы для протонов и дейтронов во всех парах детекторов.

детекторов определить

$$\Delta E = k_{n-1} (n^{(n-1)} - N_0^{(n-1)}), \quad E = k_n (n^{(n)} - N_0^{(n)})$$

для координат локусов частиц некоторого сорта. Затем найти полную энергию частицы $E = \Delta E + E$. Зная толщины $(n-1)$ -го и n -го детекторов, по зависимости потерь от энергии для известной энергии частицы E можно рассчитать потери в $(n-1)$ -м и n -м детекторах - $\Delta E_T, E_T$, и сравнить их с ΔE и E . По расхождению между $\Delta E, E$ и $\Delta E_T, E_T$ внести коррективы в значения параметров k и N_0 и повторить цикл. Реально эта корректировка достигалась путем использования метода наименьших квадратов, причем минимизировалась величина

$$\chi^2 = \sum_{\ell, j, m} [(1 - \Delta E^{\ell jm} / \Delta E_T^{\ell jm})^2 + (1 - E^{\ell jm} / E_T^{\ell jm})^2] W_{\ell jm},$$

где ℓ нумеровало пары детекторов /1-2, 2-3, 3-4 пары детекторов/, m - локусы /1-протоны, 2-дейтроны, 3-тритоны/, j - точки на локусах. Веса $W_{\ell jm}$ выбирались таким образом, чтобы суммарный вес каждого локуса равнялся единице, внутри локуса вес каждой точки был пропорционален ее расстоянию по энергии до следующей точки локуса. Минимизация проводилась с использованием программы FUMILI /11/. Соотношение энергия-пробег для частиц в CsJ вычислялось по методике работы /12/. Для удобства использования соотношение пробег-энергия аппроксимировалось зависимостью $R = a \cdot E^b$, которое в интересовавших нас диапазонах выполнялось с точностью не хуже 2-3%. Значения параметров a и b , использованных нами, составили: $a - 0,5548 \cdot 10^{-2}$, $0,3487 \cdot 10^{-2}$, $0,2730 \cdot 10^{-2}$; $b - 1,709$, $1,704$, $1,696$ для протонов, дейтронов и тритонов соответственно / E - в МэВ, R - в г/см²/. На практике, однако, во всех парах детекторов статистика, накапливаемая за время экспозиции, всегда позволяла с достаточной точностью извлечь протонный локус, а иногда и дейтронный. Поэтому в большинстве случаев градуировка проходила только по трем протонным локусам. Качество градуировки иллюстрирует рис.3. Градуировка проведена во всех трех парах по протонным локусам. Экспериментальные координаты протонного локуса нанесены черными кружками, а незакрашенными показаны координаты протонного локуса, полученные по соотношению пробег-энергия и пересчитанные в координаты отсчетов АЦП по найденным градуировочным зависимостям; при этом полная энергия для экспериментальной и расчетной точки одна и та же. Сплошной линией показан экспериментальный дейтронный локус; локус, рассчитанный по соотношению пробег-энергия и константам градуировки, найденным из протонных локусов, показан штриховой линией. Для протонов отклонения не превышают 2-3%. Для дейтронов максимальные расхождения между экспериментальным и расчетным локусом - не более 5-7% в области, где наличие вещества между парой детекторов /воздух, светоизоляция кристаллов/ наиболее сильно искажает расчетный локус, для которого наличие вещества не учитывалось.

Точность градуировки оценивалась также по воспроизведению максимальной энергии частиц на локусе, то есть энергии частиц с пробегом, равным суммарной толщине пары детекторов. Эта энергия, полученная по градуировке, совпадала с рассчитанной по соотношению энергия-пробег с ошибкой не более 5%. Мы считаем, что осуществленный алгоритм градуировки позволяет иметь точность определения энергии не хуже 5%.

3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ ТЕЛЕСКОПОМ СЧЕТЧИКОВ

Частицы, попавшие в телескоп, вступая в ядерные взаимодействия с веществом детекторов, выбывают из потока. Эффективность регистрации частиц с энергией E_0 выражается через сечение реакций σ как

$$\epsilon_R(E_0) = \exp\left[-\frac{N_A}{A} \int_0^{E_0} \sigma(E) \left|\frac{dx}{dE}\right| dE\right],$$

где N_A - число Авогадро, A - атомный вес материала детектора; dE/dx - удельные потери энергии /МэВ·(г/см²)⁻¹/.

Ввиду того, что $R = a \cdot E^b$,

$$\epsilon_R(E_0) = \exp\left[-a \cdot b \frac{N_A}{A} \int_0^{E_0} \sigma(E) E^{b-1} dE\right]. \quad /1/$$

Данные о сечениях реакции в диапазоне энергий 0-300 МэВ для протонов, дейтронов, тритонов на Cs или J практически отсутствуют. В работе /18/ приводятся экстраполированные по соседним Z и A σ для протонов и дейтронов на J. В работе /3/ предлагается эмпирическое выражение для вычисления σ для частицы с массой m и зарядом z на ядре с массой A , зарядом Z вида

$$\sigma(E) = \pi r_0^2 (1 - Q/E), \quad r_0 = 1,43(A^{1/3} + m^{1/3}) \text{ фм},$$

$$Q = zZe^2/r_0 \quad \text{при} \quad E < E_p, \quad /2/$$

$$\sigma(E) = \sigma(E_p) \quad \text{при} \quad E \geq E_p.$$

Параметр E_p для $Z=32$ составляет 30 МэВ для дейтронов и 50 МэВ для тритонов.

Оценки ошибки определения эффективности при неопределенности в величине σ . Если взять для σ приведенное выше выражение /2/ и проинтегрировать /1/, получим

$$\epsilon_R(E) = \exp\left[-\frac{N_A}{A} \sigma(E_p) R(E)\right] \exp\left[\frac{N_A}{A} \pi r_0^2 \frac{R(E_p)}{b-1} \frac{Q}{E_p}\right], \quad /3/$$

где $R(E)$ - пробег частиц с энергией E в веществе детектора. Величина второго множителя не зависит от энергии частицы; для нейтронов при $E_p = 30$ МэВ она составляет 1,02, в то время как при энергии дейтронов 240 МэВ /максимальная энергия, укладываемаяся в 40 г/см²/ первый множитель равен 0,66.

Таким образом, точность определения эффективности в основном зависит от знания σ при $E > E_p$. Относительная ошибка определения эффективности ($E > E_p$)

$$\frac{\Delta \epsilon_R}{\epsilon_R} = \frac{N_A}{A} \sigma(E_p) R(E) \cdot (\Delta \sigma(E_p) / \sigma(E_p)). \quad /4/$$

Для $R(E) = 40$ г/см² и $\sigma(E_p) = 2,6 \cdot 10^{13}$ $\Delta \epsilon_R / \epsilon_R = 0,5 \cdot \Delta \sigma / \sigma$, то есть при $\Delta \sigma / \sigma = 20\%$ ошибка не превышает 10% для максимальных энергий дейтронов и существенно падает для меньших энергий.

Если взять для $\sigma(E)$ выражение /2/ и для сравнения для $\sigma(E)$ взять значения, приведенные в /18/, то соответствующие значения

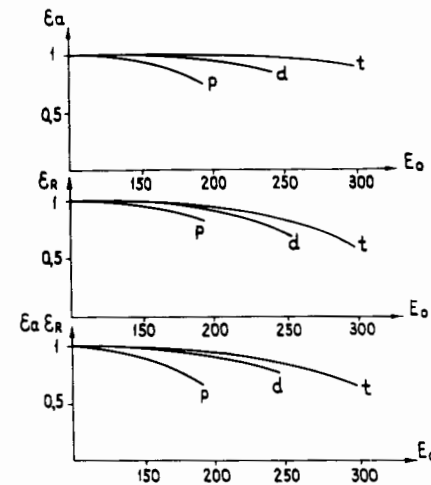


Рис.4. Эффективность регистрации частиц телескопом: ϵ_R - эффективность с учетом ядерных реакций, ϵ_a - с учетом только многократного рассеяния в веществе детектора. Полная эффективность - $\epsilon_R \cdot \epsilon_a$.

эффективности регистрации дейтронов с энергией 160 МэВ составят 0,86 и 0,80, а для 240 МэВ - 0,67 и 0,64.

На рис.4 приведены значения эффективности регистрации ϵ_R для протонов, дейтронов и тритонов, рассчитанные с использованием /1/ и /2/ для нашего телескопа.

Эффект многократного рассеяния частиц в веществе детектора также может вызвать уменьшение эффективности регистрации за счет выхода частиц за пределы детектора. Распределение частиц по смещению r_{\perp} в перпендикулярном направлении к направлению ее первоначального движения описывается нормальным распределением /14/:

$$N(v, r_{\perp}, R) = (2\pi \langle r_{\perp}^2 \rangle)^{-1} \exp[-r_{\perp}^2 / 2 \langle r_{\perp}^2 \rangle], \quad /5/$$

где R - полный пробег частицы в веществе; v - путь, пройденный частицей; $\langle r_{\perp}^2 \rangle$ - среднее значение r_{\perp}^2 на глубине v . В нерелятивистском приближении при $v = R$ /14/

$$\langle r_{\perp}^2 \rangle \approx 0,5 \kappa^2 R^2,$$

$$\kappa^2 = (m_e/m)(Z+1) a_k / a_u, \quad /6/$$

$$a_k = \ln[198(AZ)^{-1/6}]; \quad a_u = \frac{dE}{dx} \beta^2 / 2aZ; \quad a = \frac{N_A Z}{A} 2\pi \left(\frac{e^2}{m_e c^2}\right)^2 m_e c^2,$$

$R, dE/dx, \beta$ - пробег, удельные потери и скорость, которая вычисляется для начальной энергии частицы; A, Z - характеристики вещества детектора, m, z - частицы, m_e - масса электрона.

Для протона с пробегом 41 г/см² в CsJ, что соответствует энергии 185 МэВ, $\sqrt{\langle r_{\perp}^2 \rangle} \approx 0,8$ см.

Выбывание частиц из телескопа за счет многократного рассеяния рассчитывалось следующим образом: 1/ по вычисленному пробегу в кристалле CsJ находилась точка, через которую проводилась плоскость, перпендикулярная траектории частицы, и на эту плоскость проектировалось "изображение" триггерного счетчика ПЗ - место и форма проекции определялись возможными траекториями частиц, проходящих через ПЗ; 2/ распределение частиц по поперечному смещению /6/ интегрировалось для каждой точки изображения ПЗ по плоскости сечения и усреднялось по площади изображения. Интегрирование проводилось численным способом. ϵ_a , определяемая многократным рассеянием, зависит от координат точки взаимодействия на мишени, так как положение проекции ПЗ в сечении детектора меняется для различных точек мишени. Значение ϵ_a рассчитывалось для трех точек мишени, имевшей форму круга с радиусом $R_M = 0,75$ см: для центра мишени ϵ_{a1} , для точки с координатами $x = R_M, y = 0$ (ϵ_{a2}) и точки с координатами $x = 0, y = R_M$ (ϵ_{a3}). Оси x, y лежат в плоскости детектора, которая перпендикулярна оси телескопа. Усреднение по поверхности мишени в линейном приближении зависимости ϵ_a от x и y дает для среднего значения $\overline{\epsilon_a}$ выражение

$$\overline{\epsilon_a} = \epsilon_{a1} + (4/3\pi) \cdot (\epsilon_{a2} + \epsilon_{a3} - 2\epsilon_{a1}).$$

На рис.4 показаны рассчитанные для нашего телескопа эффективности ϵ_R, ϵ_a и результирующая эффективность регистрации $\epsilon = \epsilon_R \cdot \epsilon_a$ для протонов, дейтронов, тритонов.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА СПЕКТРОМЕТРА

Описываемый спектрометр был испытан на пучке ускоренных ядер ^{12}C синхрофазотрона ЛВЭ ОИЯИ. Ионы ^{12}C имели энергию 4,6 ГэВ/нукл. Интенсивность выведенного пучка составляла $2 \cdot 10^6$ ядер в цикл. Спектрометр был установлен в фокусе тракта медленного вывода, временная растяжка вывода пучка составляла 400 мс. Мишень из Рb имела толщину 1,0 г/см² и располагалась перпендикулярно пучку, оба телескопа устанавливались под углами 146° и 160° по отношению к направлению пучка справа и слева от пучка.

На рис.5 приведены спектры масс, полученные для телескопа под углом 146° при трех комбинациях детекторов: 1-2, 1,2,3, 1,2,3,4, причем для двух последних комбинаций при построении спектра масс в качестве E-детектора выбирался последний детектор, а энерговыделения в предыдущих суммировалось и использовалось как ΔE -сигнал.

Спектр масс строился методом, предложенным Гольдингом, который основывается на эмпирическом соотношении энергия-пробег $^{16}/R = aE^b$, где параметр a имеет для различных частиц разное значение, а b приблизительно равно 1,7 для всех частиц. Если толщина ΔE -детектора составляет t и энерговыделения в детекторах -

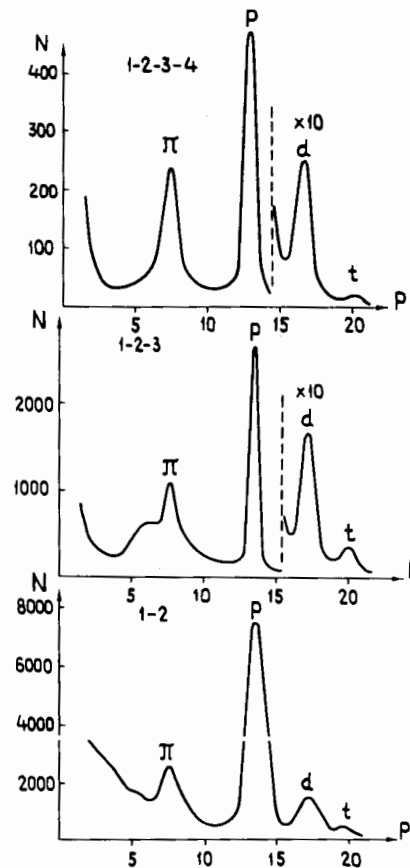


Рис.5. Спектры масс для трех комбинаций детекторов.

соответственно ΔE и E , то из соотношения

$$a(E + \Delta E)^b = t + aE^b$$

получим

$$P^2 = 1/a = ((E + \Delta E)^b - E^b)/t.$$

Параметр идентификации P имеет для каждого сорта частиц свое значение; если использовать ранее приведенные значения a, b , то P равняется для пионов, протонов, дейтронов, тритонов 7,1; 13,4; 16,9; 19,1 соответственно. Экспериментальные значения этого параметра, извлеченные из спектров масс, приведенных на рис.5, представлены в табл.2. Ошибка определения P составляет $\pm 0,5$. Видно, что экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными. Это согласие дополнительно свидетельствует об удовлетворительном качестве энергетической градуировки, так как ошибки в ней привели бы к отклонениям и в экспериментальных значениях P .

В приведенных спектрах масс хорошо разделяются протоны, дейтроны и тритоны. Пионы также видны отчетливо, но они находятся на значительном фоне, обязанном своим происхождением пионам, захватившимся или распавшимся в детекторе частицам, попавшим в детектор, но выбывшим из него в результате упругого или неупругого взаимодействия.

Диапазоны регистрируемых телескопом энергий частиц приведены в табл.2. Энергетическое разрешение спектрометра определить трудно, но представление о нем дает табл.3, в которой для различных пар детекторов приведены /для некоторых энергий протонов, определенных экспериментально/ расчетное значение энерговыделения в ΔE -детекторе и экспериментальное значение с ошибкой, равной полуширине распределения на половине высоты. Ошибка расчетного значения энергии вычислялась как полуширина распределения потерь протонов в детекторе по таблицам $^{16}/$.

Таблица 2

Частица	Комбинация детекторов						Р рас- чет с учетом потерь в П1, П2, П3 /МэВ/	
	1-2		1-2-3		1-2-3-4			
	диапазон регистр. /МэВ/	Р эксп. /МэВ/	диапазон регистр. /МэВ/	Р эксп. /МэВ/	диапазон регистр. /МэВ/	Р эксп. /МэВ/		
Дيون	10-44	7,5	44-65	7,5	65-80	7,5	7,1	15-82
Протон	22-100	13,5	100-147	13,5	147-185	13,0	13,4	42-189
Дейтрон	29-133	17,2	133-196	17,2	196-247	17,0	16,9	55-250
Тригон	34-158	19,5	158-232	20,0	232-293	20,0	19,1	67-300

Таблица 3

Энергия на входе /МэВ/	Комбинация детекторов					
	1 - 2		2 - 3			
	Энергия, выделен- ная в 1-м детект. /эсп. / /МэВ/ расчет	Энергия в 1-м детект. расчет	Энергия на входе /МэВ/	Энергия, выделен- ная во 2-м детект. /эсп. / /МэВ/ расчет	Энергия во 2-м детект. /МэВ/	Энергия во 2-м детект. расчет
50	7,6+0,6	7,5+0,4	108	65+6	67,8+2,7	
62	6,4+0,6	6,3+0,4	120	57+7	58,5+2,7	
80	5,3+0,4	5,2+0,4	132	49+4	52,4+2,9	
96	4,5+0,5	4,6+0,4	140	48+4	49,3+3,1	

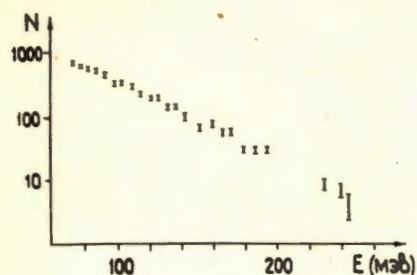


Рис.6. Спектр дейтронов из реакции $^{12}\text{C} + \text{Pb} \rightarrow \text{d} + \text{x}$, измеренный под углом 146° .

Пример энергетического спектра, полученного с использованием спектрометра, приведен на рис.6, на котором показан с точностью до постоянного множителя выход дейтронов в реакции $^{12}\text{C} + \text{Pb} \rightarrow \text{d} + \text{x}$. Энергия дейтронов поправлена с учетом потерь в П1, П2, П3.

Авторы благодарны Н.Н.Графову, В.П.Садиллову за помощь в подготовке и проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставинский В.С. ЭЧАЯ, 1979, 10, с.949.
2. Антоненко В.Г. и др. Препринт ИАЭ, № 3220, М., 1979.
3. Sandoval A. et al. Phys. Rev., 1980, 21C, p.1321.
4. Nagamiya S. et al. Phys.Rev., 1981, 24C, p.971.
5. Баянов Ю.Д. и др. Препринт ИТЭФ, № 15, М., 1980.
6. Краснов Л.В., Яцышин И.Г. ПТЭ, 1981, 4, с.78.
7. Крячко А.П. ОИЯИ, 13-81-663, Дубна, 1981.
8. Садовников В.Н. ОИЯИ, 10-81-396, Дубна, 1981.
9. Ефимов Л.Г., Садовников В.Н. ОИЯИ, 10-80-224, Дубна, 1980.
10. Дорчман Д. и др. ОИЯИ, P1-10910, Дубна, 1977.
11. Силин И.Н., Соколов С.Н. ОИЯИ, Д-810, Дубна, 1961.
12. Barkas W.H., Berger M.J. NAS-NRC, Brookhaven, 1964, No. 1133, p. 103.
13. Mesday D.F. NIM, 1965, 34, p.353; Mesday D.F., Schneider R.J. NIM, 1966, 42, p.29.
14. Калашников Н.П., Ремизович В.С., Резанов М.Н. Столкновения быстрых заряженных частиц в твердых телах. Атомиздат, М., 1980, гл.4.
15. Goulding F.S. et al. NIM, 1964, 31, p.1.
16. Головин Б.М. и др. ОИЯИ, P1-3190, Дубна, 1967.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 сентября 1983 года.

Гаркун В.В. и др.
Спектрометр $\Delta E-E$ типа для изучения выходов частиц
в реакциях с релятивистскими ионами

13-83-681

Описывается установка для спектрометрических измерений и идентификации заряженных частиц. Состав и диапазон энергий регистрируемых частиц: протоны - 45-190 МэВ, дейтроны - 60-250 МэВ, тритоны - 70-300 МэВ. Установка состоит из двух телескопов; каждый телескоп содержит четыре быстрых сцинтилляционных детектора и четыре спектрометрических детектора на основе CsJ(Tl). Светосила каждого телескопа 3 мср. Приводятся характеристики установки, спектры масс, энергетический спектр, иллюстрирующие работу спектрометра на синхрофазотроне в пучке ^{12}C с энергией 4,6 ГэВ/нуклон/с.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Garkun V.V. et al.
Spectrometer of $\Delta E-E$ Type for Investigation of Particle Yields
In Reactions with Relativistic Ions.

13-83-681

An experimental set up for charged particle spectrometric measurements with their identification is described. Composition and energy ranges of detected particles are as follows: protons - 45-190 MeV, deuterons - 60-250 MeV, tritons - 70-300 MeV. The set up consists of two telescopes, each one includes four fast scintillation detectors and four spectrometric detectors based on CsJ(Tl). The acceptance of each telescope is equal to 3 msr. The characteristics of the setup, its mass and energy, which illustrate the spectrometer operation on the 4.6 GeV/per nucleon of ^{12}C nuclear beam, extracted from the synchrophasotron are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой