

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P13-87-760**

**А.Г.Ахперджян,<sup>1</sup> Б.А.Бурова,<sup>2</sup> Д.Вальцог,<sup>3</sup>  
В.Зайдель,<sup>3</sup> Х.Зодан, Р.Г.Калпакчиева,<sup>2</sup>  
И.В.Колесов, Р.Котте,<sup>3</sup> Ю.Ц.Оганесян,  
Х.-Г.Ортлепп,<sup>3</sup> Ю.Э.Пенионжкевич, С.В.Раднев,<sup>2</sup>  
И.Д.Сандрев,<sup>2</sup> Ф.Стари,<sup>3</sup> А.С.Фомичев, Г.Г.Чубарян<sup>1</sup>**

**ФОБОС - 4 $\pi$ -СПЕКТРОМЕТР  
МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ  
ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ  
Описание системы детекторов**

---

<sup>1</sup>Ереванский физический институт

<sup>2</sup>Единый центр по физике БАН, София

<sup>3</sup>Центральный институт ядерных исследований  
АН ГДР, Россендорф

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во многих лабораториях мира осваивается область энергий ускоренных тяжелых ионов  $\approx 100$  МэВ/нуклон. В частности, в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ сооружается новый циклотронный комплекс У-400 - У-400М, позволяющий ускорять тяжелые ионы всех элементов периодической системы в энергетическом диапазоне  $20 \div 120$  МэВ/нуклон, Круг проблем, которые исследуются в этой области энергий, уже на данном этапе довольно широк. Большой интерес представляет механизм взаимодействия сложных ядер с энергиями вблизи и выше фермиевской энергии, где открываются новые каналы реакции. С точки зрения постановки экспериментов характерно, что в процессе взаимодействия могут образовываться несколько тяжелых фрагментов и до  $10 \div 15$  легких заряженных частиц, причем их соотношение сильно зависит от прицельного параметра столкновения.

Очевидно, что наиболее богатую информацию о механизме взаимодействия можно будет извлекать из корреляционных экспериментов, позволяющих регистрировать хотя бы все заряженные продукты реакции. Таким образом, спектрометрическая система для изучения множественных продуктов реакций должна обладать следующими свойствами:

- высокой эффективностью регистрации продуктов во всех возможных направлениях их эмиссии / $4\pi$ -чувствительность детектора/;
- многочастичной чувствительностью /достаточное число независимых регистрирующих элементов/;
- возможностью определения энергии и углов разлета продуктов реакции, а также их идентификации по массе и заряду.

Очевидно, столь же важна высокая эффективность регистрации двух или нескольких фрагментов деления ядер, образующихся с относительно низкими сечениями / $< 10^{-30}$  см<sup>2</sup>/. Например, при исследовании механизма низкоэнергетического деления и квазиделения тяжелых ядер вблизи кулоновского барьера взаимодействия высокая эффективность регистрации позволит существенно повысить чувствительность эксперимента, что даст возможность изучения характеристик новых или пока еще мало исследованных процессов /кулоновское деление, подбарьерное слияние-деление и др./.

Большой интерес представляет возможность высокоэффективной регистрации продуктов ядерных реакций, образующихся при взаи-

модействии т.н. вторичных пучков с ядрами мишени. Так, например, в экспериментах, проведенных в ЛЯР и в других центрах по физике тяжелых ионов, было показано, что взаимодействие сложных ядер сопровождается испусканием нейтроноизбыточных изотопов легчайших элементов с относительно высоким сечением /водорода, гелия, лития, бериллия/. Их выход существенно увеличивается с ростом бомбардирующей энергии. Используя начальные пучки тяжелых ионов с высокой интенсивностью с энергией до 100 МэВ/нуклон, можно получать вторичные пучки нейтроноизбыточных ядер легких элементов и проводить исследования с этими пучками. Оценки показывают, что при бомбардировке ториевой мишени ионами  $^{11}\text{B}$  или  $^{12}\text{C}$  интенсивностью несколько десятков микроампер с энергией несколько десятков МэВ/нуклон можно получить пучок ядер  $^6\text{He}$  с интенсивностью  $10^7 \text{ с}^{-1}$  и ядер  $^8\text{He}$  с интенсивностью  $10^5 \text{ с}^{-1}$  и энергией  $\approx 200 \text{ МэВ}$ .

Для исследований ядерных реакций в области энергий до 1000 МэВ/нуклон осуществлен проект  $4\pi$ -детектора, рассчитанного, однако, лишь на регистрацию быстрых заряженных частиц и  $\pi^+$ -мезонов /1/. В Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ был предложен /2/ и в настоящее время осуществляется проект  $4\pi$ -спектрометра, рассчитанного на регистрацию как тяжелых фрагментов, так и снарядоподобных продуктов и быстрых легких заряженных частиц. Аналогичный проект также разработан в Циклотронной лаборатории Мичиганского университета /3/.

## 2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ $4\pi$ -СПЕКТРОМЕТРА МНОЖЕСТВЕННЫХ СОБЫТИЙ

Высокоэффективный спектрометр множественных событий, создаваемый в ЛЯР ОИЯИ, состоит из 30 независимых детекторных модулей. Модули располагаются на поверхности сферы с радиусом 50 см, в центре которой устанавливается мишень. Детекторные модули имеют форму усеченных конусов и вставляются в сферический вакуумно-плотный каркас с внешним диаметром 1,5 м, поверхность которого разделена на 20 равноугонных шестиугольников и 12 пятиугольников. Система обеспечения вакуума, отверстия входа и выхода пучка, опоры каркаса, мишеньный узел и диагностические элементы занимают два противоположных пятиугольника /см. рис. 1/.

Общая геометрическая эффективность спектрометра относительно регистрации одиночных событий, с учетом мертвых зон, обусловленных конструктивными деталями и прозрачностью самих детекторов, достигает 65% от полного телесного угла. Тем самым даже для регистрации событий с множественностью  $M = 10$  полу-

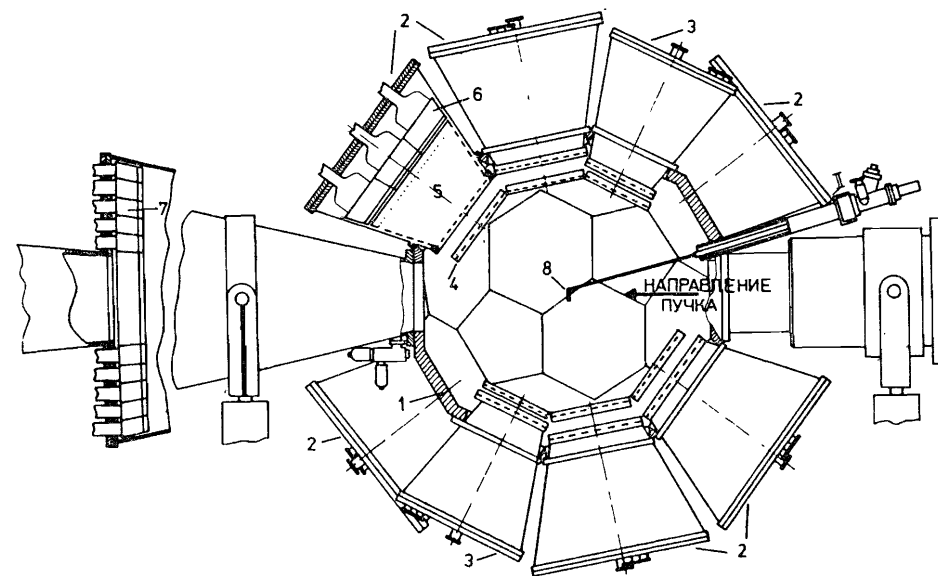


Рис. 1. Схематическое изображение  $4\pi$ -спектрометра ФОБОС. 1 - каркас /реакционная камера/, 2 - измерительные модули на шестиугольной и 3 - на пятиугольной плоскости, 4 - ПЧЛС, 5 - БИК, 6 - система  $(\Delta E-E)$ -телескопов, 7 - переднее кольцо  $(\Delta E-E)$ -телескопов, 8 - мишень.

чается вполне приемлемая величина эффективности, равная  $\approx 1\%$ . Каждый из 30 детекторных модулей состоит из позиционно-чувствительного плоскопараллельного лавинного счетчика /ПЧЛС/, брэгговской ионизационной камеры /БИК/ и системы из  $5 \div 7$  сцинтилляционных  $(\Delta E-E)$ -телескопов. Брэгговские ионизационные камеры помещаются за ПЧЛС, а система  $(\Delta E-E)$ -телескопов - за БИК. При этом каждый элемент охватывает один и тот же телесный угол - 0,32 ср и 0,2 ср для модулей на шестиугольных и пятиугольных поверхностях каркаса соответственно. Общая тормозная способность БИК превосходит тормозную способность ПЧЛС на фактор  $10^3 \div 10^4$ , такое же соотношение имеют тормозные способности  $(\Delta E-E)$ -телескопов и БИК. Таким образом, каждый детекторный модуль представляет собой "логарифмический" детектор с динамическим диапазоном энергий регистрируемых частиц  $1 \div 10^6 \div 7$  /рис. 2/, аналогично представленному в работе /3/.

В диапазоне углов  $\pm 15^\circ$  относительно оси пучка предполагается поместить дополнительную систему из  $(\Delta E-E)$ -телескопов для регистрации быстрых заряженных частиц, испускаемых под малыми углами в лабораторной системе координат.

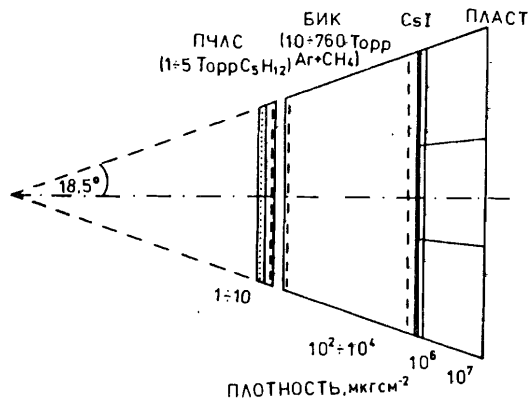


Рис. 2. Схема детекторного модуля.

Число "независимых" детекторных модулей /и, таким образом, электронных трактов/ должно соответствовать ожидаемой множественности продуктов реакции тяжелых ионов с ядрами в области энергии до 120 МэВ/нуклон. Это показано на рис. 3, где представлена вероятность одиночной

регистрации частиц в зависимости от их множественности, рассчитанная в предположении некоррелированной и изотропной эмиссии и равновероятной регистрации частиц одним из  $K$  детекторов. Видно, что 30 независимых ПЧЛС и БИК достаточно для регистрации тяжелых фрагментов и снарядоподобных продуктов с множественностью  $M \approx 5$ , а 150 ( $\Delta E-E$ )-телескопов позволяют с большой вероятностью произвести независимую регистрацию быстрых заряженных частиц с множественностью  $M \approx 10$ .

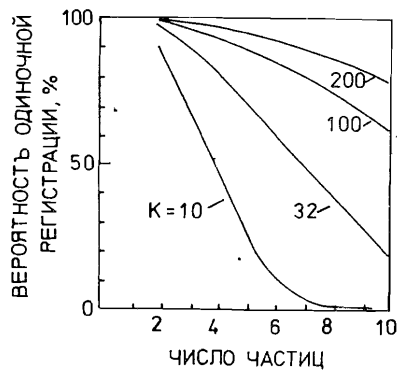


Рис. 3. Вероятность независимой регистрации продуктов реакции в зависимости от числа продуктов.  $K$  - число детекторных модулей.

Предложенный модульный принцип построения  $4\pi$ -спектрометра имеет, очевидно, ряд практических преимуществ по сравнению с "цельным"  $4\pi$ -детектором, а именно:

- заменяемость модулей в случае применения других видов детекторов, возможность их усовершенствования при сохранении основной геометрической формы каркаса;
- работоспособность спектрометра даже при отказе отдельных модулей;
- возможность серийного изготовления элементов.

### 3. ДЕТЕКТОРЫ

#### 3.1. Позиционно-чувствительный плоскопараллельный счетчик /ПЧЛС/

Для получения быстрых временных отметок при регистрации продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами широкое применение нашли плоскопараллельные лавинные счетчики /ПЧЛС/. Их преимущества - высокое временное разрешение, практически 100% эффективность регистрации, простота конструкции и нечувствительность к радиационным повреждениям - делают их удобными для проведения времяпролетных измерений /5-6/. Модифицированные варианты ПЧЛС обладают также позиционной чувствительностью /5,7-12/. Было показано /13-16/, что многопроволочные пропорциональные счетчики при давлении рабочего газа  $p \leq 3$  торр также обладают хорошими временными свойствами.

Нами для  $4\pi$ -спектрометра ФОБОС был выбран детектор, работающий по принципу, предложенному авторами работы /17/. На рис. 4 представлена схема ПЧЛС. При помощи этого детектора ре-

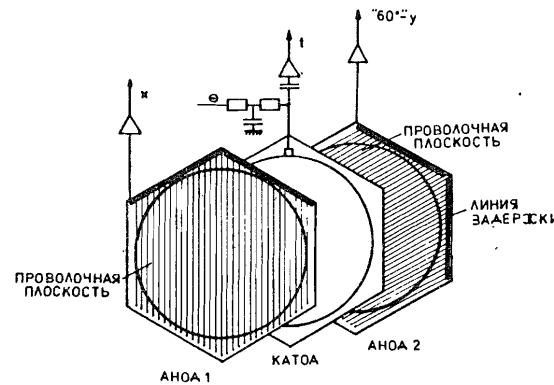


Рис. 4. Схема электродов позиционно-чувствительного лавинного счетчика /ПЧЛС/. Проволочные аноды имеют расстояние  $2 \div 3$  мм от центрального катода, состоящего из тонкой ( $\leq 100$  мкг/см<sup>2</sup>) пленки полипропилена, покрытой с обеих сторон слоем золота ( $\approx 30$  мкг/см<sup>2</sup>).

гистрируется место попадания частиц в детектор, а также снимаются временной и  $\Delta E$ -сигналы. Детектор состоит из двух проволочных плоскостей /аноды/ и центрального общего катода, представляющего тонкую ( $\leq 100$  мкг/см<sup>2</sup>) полипропиленовую пленку, покрытую с обеих сторон слоем золота ( $2 \times 30 \div 40$  мкг/см<sup>2</sup>). Проволочные электроды, находящиеся на расстоянии  $2 \div 3$  мм от катода, изготовлены из (Cu - Be) проволоки диаметром  $\leq 50$  мкм и намотаны с шагом  $1,0 \div 1,5$  мм. Каждая проволока заземлена через сопротивление  $100 \div 500$  кОм. На краю каждой проволочной плоскости размещены линии задержки, на которые индуцируются сигналы от тех проволок, вблизи которых пролете-

ла детектируемая частица. По временному сдвигу сигналов с обоих концов линии задержки определяется место /координата/ прохождения частицы с точностью до расстояния между проволоками. При давлении рабочего газа  $p \leq 3$  торр лавина расширяется из-за диффузии электронов <sup>18/</sup>, и ширина лавины превышает расстояние между проволоками. В этом случае индуцируются сигналы в нескольких соседних проволоках, и место прохождения частицы получается из определения центра тяжести сигнала. Таким методом удается получить координатное разрешение  $< 0,5$  мм <sup>15/</sup>. Быстрый временной сигнал снимается с центрального катода. В этом случае электростатические силы притяжения, действующие на фольгу со стороны проволочных электродов, взаимно уравновешиваются, и фольга-катод не прогибается. Влияние такого прогибания, приводящего к сильному ухудшению временного разрешения счетчика, описано в работе <sup>9/</sup>.

С помощью временного сигнала от ПЧЛС определяется либо время пролета частицы от мишени к детектору /на базе  $l = 50$  см/, когда "старт"-сигнал берется от пучка, либо временной интервал относительно другого выбранного "старт"-детектора. Низкое давление рабочего газа позволяет применять в качестве входного и выходного окон детектора тонкие полипропиленовые пленки /толщиной  $\leq 100$  мкг/см<sup>2</sup> <sup>20/</sup>, обеспечивающие минимальные потери и разброс энергии проходящих через них частиц. В качестве рабочего газа для ПЧЛС могут быть применены пары углеводородов /изобутан /C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>/, пентан /C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>/ и др./.

Была испытана модель ПЧЛС с площадью электродов 13x13 см, с помощью которой изучались временное и координатное разрешение в зависимости от давления рабочего газа, расстояния электродных плоскостей, диаметра и шага намотки проволочных электродов. Наилучшее временное разрешение, полученное для системы детекторов, состоящей из модельного ПЧЛС и обычного малогабаритного лавинного счетчика /ЛС/, составляло 215 пкс /см. рис. 5/. С учетом временного разрешения ЛС и разброса по времени пролета легких осколков от источника <sup>252</sup>Cf на пути от ПЧЛС к ЛС собственное временное разрешение ПЧЛС составляет величину 150 пкс. Зависимость временного разрешения системы детекторов от давления рабочего газа показана на рис. 6.

### 3.2. Брэгговская ионизационная камера

Впервые Груном была создана и испытана ионизационная камера, в которой собирающее электрическое поле направлено параллельно траектории регистрируемой частицы <sup>21, 22/</sup>. В таких камерах из максимума распределения удельных потерь по длине трека /кривая Брэгга/ можно извлекать информацию о заряде Z ре-

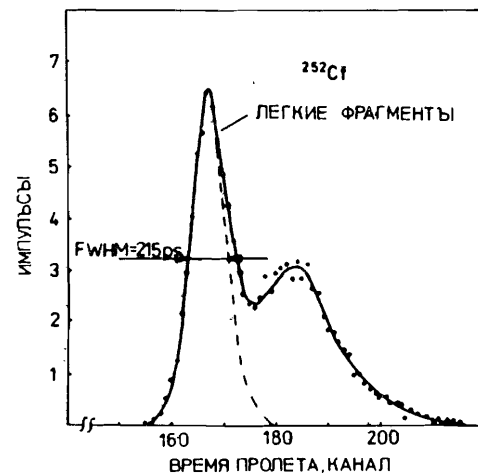


Рис. 5. Спектр времени пролета от осколков деления источника <sup>252</sup>Cf, снятый с помощью системы из ПЧЛС и лавинного счетчика с диаметром 2 см. Давление паров пентана в ПЧЛС 2,5 торр, напряжение на катоде 415 В, расстояние анодных плоскостей от центрального катода 3 мм, диаметр проволоки анодных плоскостей 50 мкм, шаг намотки 1 мм, расстояние между ПЧЛС и лавинным счетчиком 20 мм.

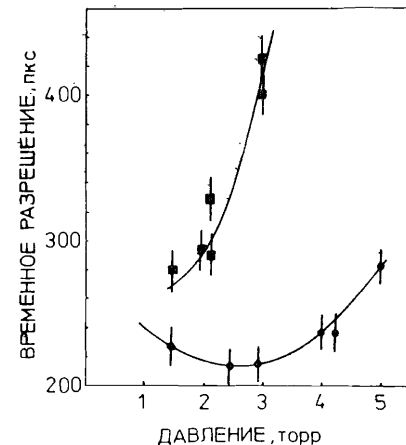


Рис. 6. Зависимость временного разрешения (FWHM - спектра по времени пролета для легкой группы осколков) системы из ПЧЛС и лавинного счетчика от давления паров пентана в ПЧЛС. ■ - шаг намотки анодных плоскостей 1,5 мм, ● - шаг намотки 1 мм. Расстояние анодов от центрального катода в обоих случаях 3 мм.

гистрируемой частицы, учитывая при этом, что в общем случае кривая Брэгга - функция не только от Z, но и от массы частицы.

В настоящее время созданы различные типы БИК <sup>3, 23-30/</sup> БИК, которые мы намерены использовать в установке Ф0Б0С, имеют форму усеченного конуса с высотой /глубиной регистрации/  $30 \div 50$  см. Катод камеры является одновременно и ее входным окном. Для обеспечения высокой эффективности собирания электронов по всему объему камеры на боковых стенках находятся проводящие полосы, подключенные к делителю напряжения для формирования электрического поля. Сетка Фриша наматывается (Cu-Be) проволокой диаметром 50 мкм с шагом 0,5 мм и помещается на расстоянии 15 мм от анода. В этом случае фактор неэффективности составляет величину  $\approx 0,6\%$ .

Рабочий газ камеры должен обеспечить большую скорость дрейфа электронов при относительно низких значениях  $E/p$  и большой коэффициент диффузии с целью исключения рекомбинации<sup>/31/</sup> образованных при прохождении частиц зарядов. Очевидно, единственным газом, удовлетворяющим этим требованиям, является смесь  $Ar(90\%)+CH_4(10\%)$ , для которой даже при давлении рабочего газа 400 торр напряжение на аноде может не превышать 5 кВ. В установке ФОБОС предусматривается система постоянного обновления рабочего газа путем его протока.

Расчетный диапазон по заряду и энергии частиц, которые полностью останавливаются в камере длиной 50 см, показан на рис. 7. Расчет проводился с помощью программы STOPOW-82<sup>/32/</sup>.

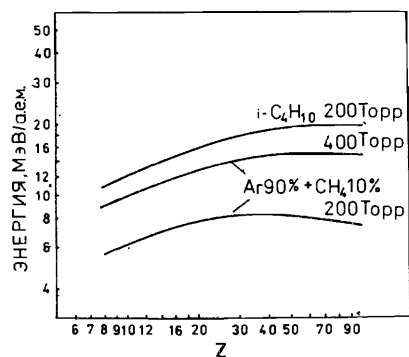


Рис. 7. Зависимость энергии от заряда продуктов, пробег которых равняется 50 см в данном газе.

Малогабаритная модель БИК была испытана на пучке ускоренных ионов тандема Ван-де-Граафа в ЦИЯИ /Россендорф/<sup>/33/</sup>. На рис. 8 показан результат измерения зависимости величины брэгговского пика от полной энергии частиц. В таблице при-

ведены, полученные значения энергетического и зарядового разрешения соответственно.

Таблица

Энергетическое разрешение и разрешающая способность по заряду для модельной брэгговской ионизационной камеры<sup>/33/</sup>

Частица	Энергетическое разрешение $\Delta E$ , кэВ	Энергия, МэВ	$Z/\Delta Z$	Время формирования, нс
${}^4_2He$	34	5,3	31 45	100 220
${}^{12}_6C$	350	21,7	37	100
${}^{16}_8O$	400	23,9	42	100
${}^{28}_{14}Si$	400	37,2	27 35 47	50 100 220
${}^{32}_{16}S$	460	26,6	26 35 47	50 100 220

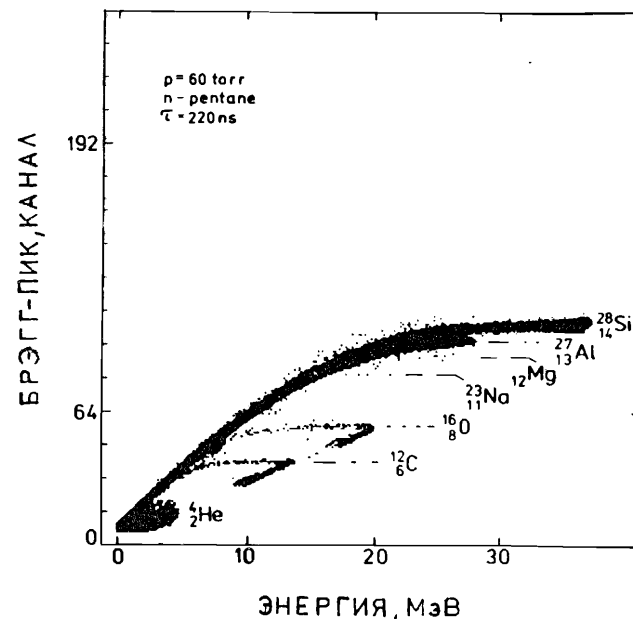


Рис. 8. Зависимость величины брэгговского пика от полной энергии регистрируемых в БИК частиц.

### 3.3. Сцинтилляционные ( $\Delta E-E$ )-телескопы

Для регистрации легких заряженных частиц ( $p, d, t, {}^3He, {}^4He$ ) с энергиями от нескольких МэВ/нуклон до 100 МэВ/нуклон в установке ФОБОС предполагается использовать сцинтилляционные ( $\Delta E-E$ )-телескопы, которые в сочетании с ионизационной камерой позволяют существенно расширить динамический диапазон всей детектирующей системы<sup>/3/</sup>.

Способ получения ( $\Delta E, E$ )-информации, известный как "phoswich"-метод, дает возможность надежно идентифицировать весь спектр указанных частиц<sup>/1,3,34-37/</sup>. Компактность "phoswich"-детектора и его свойство работать при нагрузках до  $10^5$  Гц делают его уникальным детектором для задач подобного типа. Конструктивно телескоп состоит из трех частей, оптически соединенных между собой: двух сцинтилляторов ( $\Delta E, E$ ) с разными временами высвечивания /обычно выбирают комбинацию с разницей в  $1 \div 3$  порядка/ и одного фотоумножителя. Когда частица пролетает через два сцинтиллятора, на выходе фотоумножителя формируется суммарный сигнал, имеющий быструю и медленную составляющие. Интегрируя сигнал в разных временных воротах  $\Delta t_1, \Delta t_2$ ,

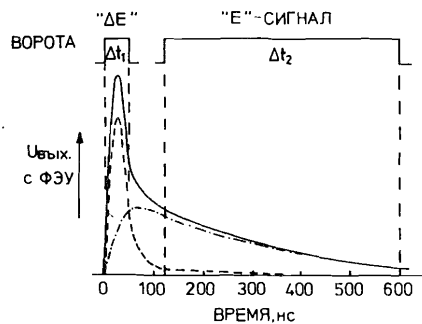


Рис. 9. Принцип работы "phoswich"-детектора для случая, когда ΔE-детектор - быстрый сцинтиллятор, а E-детектор - медленный.

можно разделить сигналы от ΔE- и E-детекторов и тем самым идентифицировать частицы по заряду и массе на двумерной диаграмме /см. рис. 9/.

Качество сепарации частиц во многом предопределяется выбором комбинации (ΔE-E)-сцинтилляторов и зависит также от временных свойств фотоумножителя. Например, в <sup>1,3</sup>/ для определения ионизационных потерь использовались кристаллы CaF<sub>2</sub>(Eu) с временем высвечивания ≈ 1 мкс, а остаточная энергия частиц регистрировалась толстым пластическим сцинтиллятором (d = 15 см), длительность вспышки которого ≈ 10 нс.

Авторы <sup>3,8</sup>/ предлагают в качестве составных элементов телескопа использовать медленный пластик типа NE 115 или BC 444 /время высвечивания ≈ 340 и ≈ 290 нс соответственно/ в сочетании с обычным пластиком NE 102.

С помощью одного кристалла CsI(Tl), время нарастания сигнала которого существенно зависит от сорта частицы, авторам удалось идентифицировать γ, p, d, t, <sup>2</sup>He, <sup>4</sup>He, <sup>6-7</sup>Li по форме импульса с ФЭУ. При этом схема электроники принципиально ничем не отличается от используемой в "phoswich"-методе, а преимуществом является ненужность корректировки (ΔE-E)-матрицы. Аналогичные измерения, проведенные в работе <sup>40</sup>/, подтверждают перспективность использования кристалла CsI(Tl) для сепарации легких частиц.

Геометрические размеры разрабатываемых для установки ФОБОС "phoswich"-детекторов в основном предопределяются формой ионизационной камеры, в частности, они должны представлять сборку из 5 и 7 модулей для просмотра площадей диаметрами ≈ 400 и 520 мм соответственно. Предварительно, с учетом коммерческих цен и возможностей заводов-изготовителей, для "phoswich"-телескопа выбрана комбинация из CsI(Tl) толщиной 3 мм и пластика толщиной 100 мм, соединенных с фотоумножителем ФЭУ-49Б, диаметр фотокатода которого равен 150 мм. Выбранные толщины позволяют измерять легкие частицы вплоть до энергии 100 МэВ/нуклон.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Baden A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1982, 203, p.189.
2. Вилл Э. и др. В сб.: Совещание по экспериментам на пучках тяжелых ионов. Варна, 1984; ОИЯИ Д7-84-736, Дубна, 1984, с. 70.
3. Westfall G.D. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1985, A238, p.347.
4. Martin B., Stelzer H. Lecture Notes in Physics, Bd 83, Berlin, Springer-Verlag, 1978, p.50.
5. Stelzer H. Lecture Notes in Physics, Bd 178, Berlin, Springer-Verlag, 1983, p.25.
6. Вальцог Д. и др. - ПТЭ, 1979, №6, с.36.
7. Schandera Ch. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1983, 217, p.128.
8. Ikezone H. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1982, 196, p.215.
9. Jared R.C. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1978, 150, p.597.
10. Kusterer K. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1980, 177, p.485.
11. Van der Pflucht J. - Nucl. Instr. and Meth., 1980, 171, p.43.
12. Eyal Y., Stelzer H. - Nucl. Instr. and Meth., 1978, 155, p.157.
13. Breskin A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1979, 165, p.125.
14. Breskin A. et al. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1980, NS-27, p.133.
15. Seidel W. et al. In: Annual Report, 1985: Zfk-584, Rossendorf, 1986, p.94.
16. Breskin A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1982, 196, p.11.
17. Mazur C., Ribrag M. - Nucl. Instr. and Meth., 1983, 212, p.203.
18. Breskin A. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1983, 217, p.107.
19. Зайдель В. и др. - ПТЭ, 1983, №4, с.52.
20. Зайдель В., Стари Ф. В сб.: Совещание по экспериментам на пучке тяжелых ионов. Варна, 1984. ОИЯИ Д7-84-738, Дубна, 1984, с.82.
21. Gruhn C.R. In: Proc. Symposium on Heavy Ion Physics from 10 to 200 MeV/n, BNL-51115, 1979, p.471.
22. Gruhn C.R. et al. - Nucl. Instr. and Meth., 1982, 196, p.33.
23. Shenhav N.J., Stelzer H. - Nucl. Instr. and Meth., 1985, 228, p.359.

24. Murakami T. et al. - Preprint JAERI-M9514, 1981.
25. Asselineau J.M. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1982, 204, p.109.
26. Schiessl Ch. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1982, 192, p.291.
27. Oed A. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1983, 205, p.455.
28. Kimura K. - Nucl.Instr. and Meth., 1983, 212, p.227.
29. Moroni A. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1984, 225, p.57.
30. Mc Donald R.J. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1984, 219, p.508.
31. Braun H. et al. In: Jahresbericht Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, 1980, p.36.
32. Хеннигер Ю., Хорлбек Б. Сообщение ОИЯИ 10-83-366, Дубна, 1983.
33. Kotte R. et al. Preprint Zfk-591, Rossendorf, 1986.
34. Wilkinson D.H. - Rev.Scient.Instr., 1952, v.23, p.414.
35. Bondarsky D., Eccles S.F. - Rev.Scient.Instr., 1957, v.28, p.464.
36. Pastor C. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1983, 212, p.209.
37. Pastor C. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1984, 227, p.87.
38. Ten K.M. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1987, A254, p.600.
39. Alarja J. et al. - Nucl.Instr. and Meth., 1986, A242, p.352.
40. Каманин В.В. и др. В сб.: Тезисы XXXVII Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Юрмала, 1987, М.: Изд. АН СССР, 1987, с.414.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 октября 1987 года.

Ахперджанян А.Г. и др.	P13-87-760
<b>ФОБОС - <math>4\pi</math>-спектрометр множественных продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами</b>	
Описывается $4\pi$ -спектрометр множественных продуктов ядерных реакций с тяжелыми ионами в области энергий от 15 до 120 МэВ/нуклон. $4\pi$ -спектрометр ФОБОС состоит из 30 автономных модулей, имеющих форму усеченных конусов с окружностью в основании и расположенных вокруг мишени на расстоянии 0,5 м. Каждый из модулей состоит из позиционно-чувствительного лавинного счетчика, брэгговской ионизационной камеры и сцинтилляционных ( $\Delta E-E$ )-телескопов. Каждый модуль представляет собой детектор с динамическим диапазоном энергий регистрируемых частиц $1+10^6$ .	
Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.	
Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987	

Перевод авторов

Akhperdzhanian A.G. et al.	P13-87-760
<b>FOBOS - a <math>4\pi</math>-Spectrometer for Multiple Products of Heavy Ion Reactions</b>	
A $4\pi$ -spectrometer for multiple products of heavy ion reactions in the energy range from 15 to 120 MeV/nucleon is described. The $4\pi$ -spectrometer FOBOS consists of 30 autonomous detector modules placed around the target at a distance of 0.5 m. The detector modules have the form of the frusta of circular base cones. Each of the 30 detector modules consists of a position-sensitive avalanche counter, a Bragg ionization chamber and a $\Delta E-E$ scintillation telescopes. The dynamic energy range of the detected products lies between 1 and $10^6$ .	
The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.	
Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987	