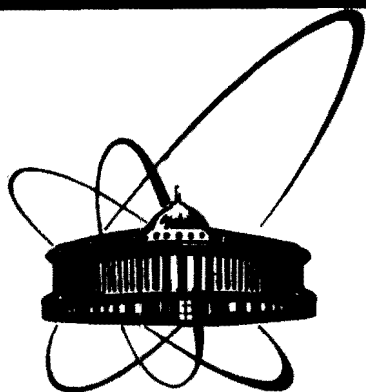


87-15



**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P13-87-15

**Ф.А.Агаронян<sup>1</sup>, А.Г.Ахперджанян<sup>1</sup>, М.Гонусек<sup>2</sup>,  
В.В.Каманин, А.Куглер, А.Н.Кузнецов,  
Ю.Ц.Оганесян, Ю.Э.Пенионжкевич, Л.А.Рубинская,  
Ю.Г.Соболев, В.Г.Субботин, А.С.Фомичев**

**МНОГОМОДУЛЬНЫЙ СПЕКТРОМЕТР  
4 $\pi$  -ГЕОМЕТРИИ ГАММА-КВАНТОВ  
И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПЭГАС**

---

<sup>1</sup> Ереванский физический институт

<sup>2</sup> Институт ядерной физики ЧСАН, Ржеж, ЧССР

**1987**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с разработкой в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ проекта создания циклотронного комплекса тяжелых ионов, состоящего из двух изохронных циклотронов У-400 и У-400М<sup>1/1</sup>, становится актуальным создание новых физических установок, способных эффективно использовать возможности комплекса в широкой области ядерно-физических исследований.

К преимуществам нового комплекса относится широкий диапазон ускоряемых частиц от ионов кислорода до ионов урана и значительно большие энергии ускоряемых частиц:  $20 \div 120$  МэВ/нуклон при интенсивности пучка  $5 \times 10^{12} \div 10^{11}$  част/с.

В то же время высокая интенсивность пучков циклотрона У-400 позволяет получать пучки составных ядер, осколков деления и других продуктов ядерных реакций, формировать их и использовать либо непосредственно для проведения экспериментов, либо для последующего ускорения во второй ступени (У-400М). Ожидаемая интенсивность вторичных пучков составляет  $10^5 \div 10^9$  част/с.

Как показывает опыт работ на пучках тяжелых ионов с энергиями в десятки МэВ/нуклон, проводимых в исследовательских центрах США, ФРГ, Франции, с ростом масс и энергии тяжелых ионов процессы взаимодействия ядер усложняются. Это обстоятельство приводит к необходимости создания многодетекторных систем регистрации продуктов ядерных реакций в полном телесном угле (4 $\pi$ -геометрии) или близких к 4 $\pi$ -геометрии для проведения многопараметровых корреляционных экспериментов, в том числе на вторичных пучках.

Как при относительно низких энергиях ионов ( $5 \div 10$  МэВ/нуклон), так и при более высоких энергиях  $\sim 100$  МэВ/нуклон основными параметрами, характеризующими реакцию, являются энергия возбуждения и угловой момент составных ядер (систем) или фрагментов — продуктов ядерных реакций. В зависимости от механизма реакции происходит различное распределение этих величин между продуктами реакции. Энергия возбуждения при этом реализуется в эмиссию заряженных частиц и ядер, общее количество которых может достигать нескольких десятков, эмиссию нейтронов и статистических гамма-квантов<sup>2,3/</sup>. Угловой момент продуктов реакции после испарения из них частиц снимается эмиссией гамма-квантов, соответствующих выстроеным квадрупольным (дипольным) переходам.

Немаловажной характеристикой процесса эмиссии того или иного продукта является угловое распределение. С ростом энергии бомбардирующего иона направление вылета продуктов реакции за счет эффекта

переносной скорости (исключая гамма-кванты) смещается к передним углам.

Для изучения угловых и энергетических распределений гамма-квантов в реакциях с тяжелыми ионами созданы методики так называемых "кристаллических шаров"<sup>2,4/</sup>. Для исследования эмиссии заряженных частиц при высоких энергиях разработана методика "пластиковый шар" в сочетании с методикой "пластиковая стена"<sup>5/</sup>. Введение "пластиковой стены" под передними углами в сочетании с традиционной методикой "пластиковый шар" позволяет проводить детальное исследование продуктов ядерной реакции под передними углами.

При проведении некоторых экспериментов для выделения и изучения "слабых" каналов ядерной реакции применяется методика гамма-старта. Например, она использовалась при измерении гамма-спектров с целью изучения переходов, соответствующих возбуждению гигантских дипольных резонансов<sup>6/</sup>. Однако такая методика имеет ограничение по чувствительности на уровне  $10^{-4}$  от максимума гамма-спектра, которое связано с запуском гамма-детекторов фоновыми частицами космического происхождения. Дальнейшее увеличение чувствительности методик связано с введением активной космической защиты. В реакциях с большим выходом нейтронов в качестве альтернативного варианта возможно использование старта от детектора нейтронов.

Цель создания установки, описываемой в настоящей работе, — исследование механизмов ядерных реакций с тяжелыми ионами в широком диапазоне энергий и масс бомбардирующих ионов с максимальной возможной чувствительностью при одновременной регистрации основных продуктов реакции, а также изучение свойств конкретных ядер.

При конструировании 4 $\pi$ -спектрометра были учтены следующие требования:

1. Измерение полной энергии гамма-излучения с  $E_{\gamma} \leq 30$  МэВ для каждого гамма-кванта, а также измерение распределения множественности гамма-излучения для  $M_{\gamma} \leq 30$ .

2. Сепарация гамма-квантов, заряженных частиц и легких ядер модулями спектрометра по форме импульса и нейтронов по времени пролета.

3. Быстрая геометрическая модификация спектрометра: "кристаллический шар" — "кристаллическая стена" и др.

4. Обеспечение внутреннего объема спектрометра, достаточного для размещения камеры рассеяния с установленными в ней мишенью и внутренними детекторами продуктов ядерных реакций (детектор рентгеновского излучения и т.д.).

5. Возможность расширения внутреннего объема спектрометра для надежной сепарации гамма-квантов от высокоэнергетических нейтронов с помощью времяпролетной методики.

6. Возможность построения из модулей спектрометра антикомptonовской защиты прецизионных гамма-детекторов (например, Ge-детекторов).

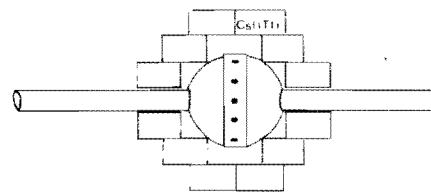


Рис.1. Схематическое изображение спектрометра в сечении вертикальной плоскости по оси ионопровода.

7. Применение сцинтилляционной защиты спектрометра для изучения редких событий.

8. Одновременная регистрация гамма-квантов, нейтронов и заряженных частиц (p, d, t, <sup>3</sup>He, <sup>4</sup>He и т.д.) в полном телесном угле с измерением их энергии, определением вида частиц, измерением их множественности, угловых корреляций.

Этим требованиям отвечает следующая конструкция многомодульного полной энергии гамма-спектрометра (ПЭГАС).

Две сборки по 36 модулей, выполненных из сцинтилляционных кристаллов CsI(Tl) шестигранной формы с диаметром описывающей окружности 100 мм и длиной 150 мм. Каждая сборка, огибающая полу-сферу диаметром 340 мм, собрана из трех колец по 18, 12, 6 модулей, расположенных нормально по отношению к оси ионопровода (см.рис.1, 2).

Данная конструкция спектрометра не является традиционной для многомодульных систем 4 $\pi$ -геометрии, известных под названием "кристаллический шар"<sup>2,4/</sup>. Предоставляя более широкие возможности в выборе геометрии эксперимента (см.ниже), система в то же время имеет несколько худшее разрешение по множественности, в сравнении с традиционной конструкцией "кристаллического шара" с аналогичным числом модулей.

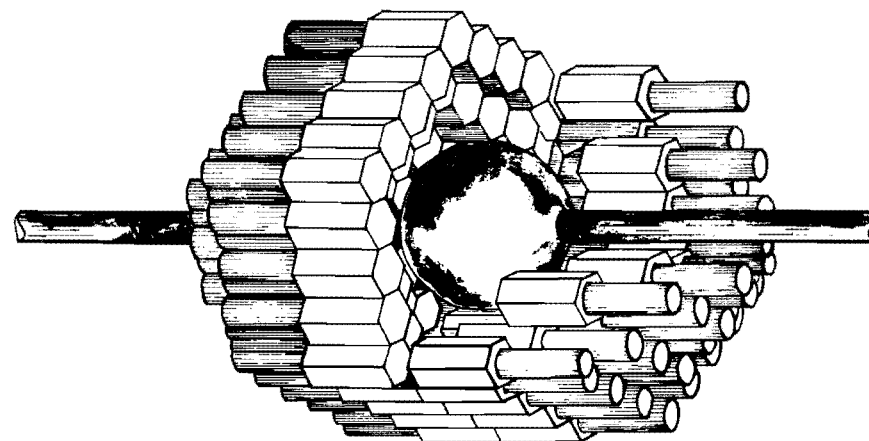


Рис.2. Общий вид спектрометра без блоков пластиковой защиты.

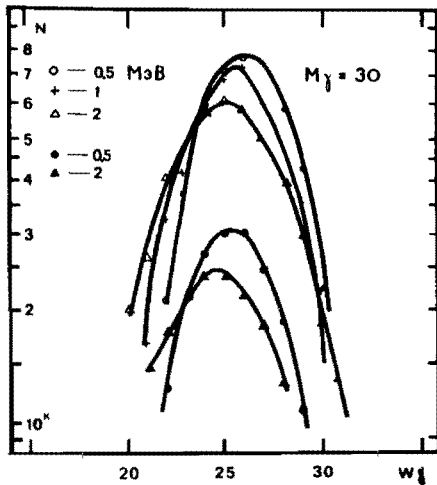


Рис.3. Функция отклика спектрометра по кратности срабатывания модулей на гамма-каскады с  $M_\gamma = 30$  при условии изотропного распределения гамма-квантов с энергиями:  $E_\gamma = 0,5; 1,0; 2,0$  МэВ. По оси ординат — количество событий, логарифмический масштаб. По оси абсцисс — "кратность" зарегистрированного события  $W$  (число "сработавших" модулей спектрометра). Порог чувствительности "срабатывания" каждого модуля спектрометра выбирался равным 50 кэВ.

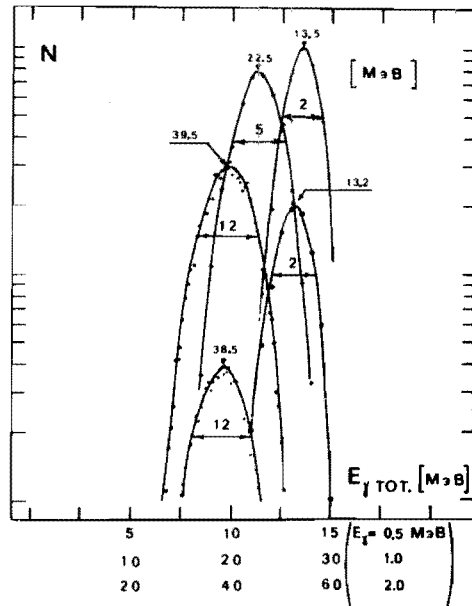


Рис.4. Функция отклика спектрометра по зарегистрированной суммарной энергии на гамма-каскады с  $M_\gamma = 30$  и энергиями гамма-квантов  $E_\gamma = 0,5; 1,0; 2,0$  МэВ. Расчет проводился без учета пластиковой защиты. Величина математических ожиданий и дисперсий кривых распределения приведены в МэВ. По оси абсцисс — суммарная энергия гамма-излучения. По оси ординат — количество событий.

На рис.3, 4, 5 представлены результаты расчетов спектров полной энергии и кратности (количества сработавших модулей), проведенных нами по методу Монте-Карло, в случае каскада 30 изотропно-распределенных гамма-квантов с энергиями 0,5; 1,0; 2,0 МэВ. При расчете прослеживалась история поглощения каждого гамма-кванта, а также вторичных частиц, возникающих в процессе его торможения, до их полного поглощения или вылета из чувствительного слоя спектрометра. Нижний порог чувствительности "срабатывания" каждого модуля спектрометра выбирался равным 50 кэВ. Для сравнения на рис.6 представлена кратность срабатывания модулей спектрометра как функция множественности гамма-квантов для "кристаллического шара"<sup>2,4/</sup> с различ-

Рис.5. Гамма-спектр центрального модуля спектрометра, смоделированный в результате расчета методом Монте-Карло (см. текст), взаимно некоррелированно гамма-каскада с  $M_\gamma = 30$ ,  $E_\gamma = 2,0$  МэВ. Пик с  $E_\gamma = 4$  МэВ соответствует событиям регистрации модулем двух гамма-квантов (эффект наложения импульсов).

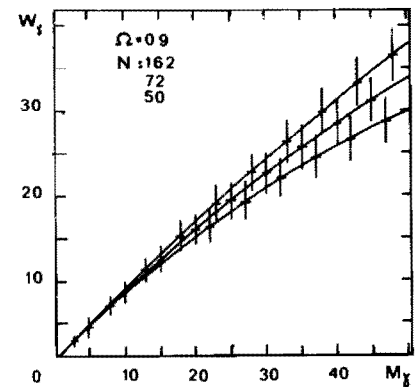
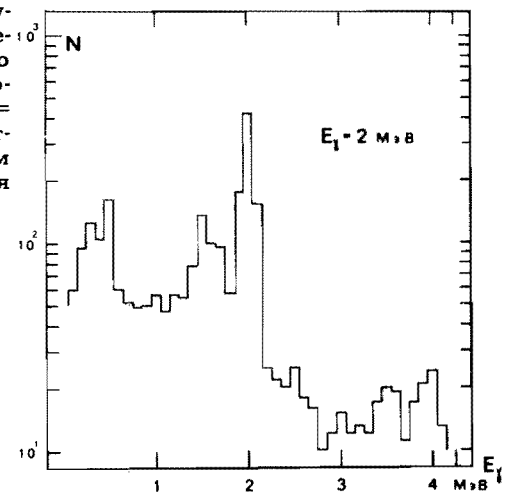


Рис.6. Кривые функции отклика многомодульных спектрометров типа "кристаллический шар" из 162, 72, 50 модулей на гамма-каскад при  $E_\gamma = 1,0$  МэВ. По оси абсцисс — множественность регистрируемого гамма-каскада. По оси ординат — кратность регистрируемого события (число "сработавших" модулей данной установки). Эффективность регистрации гамма-квантов при  $E_\gamma = 1,0$  МэВ одинакова для всех спектрометров и равна  $\Omega = 0,9$ . Расчеты кривых функций отклика проведены по формулам работы<sup>1/</sup>.

ным числом детекторов — модулей спектрометра; расчет проведен по формулам<sup>1/</sup>.

## 2. КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЕЙ ДЕТЕКТОРА

### Выбор сцинтиллятора

Задача многомодульной системы — регистрация коррелированных продуктов ядерной реакции (гамма-квантов, нейтронов, заряженных частиц в широком диапазоне зарядового числа) с различной энергией и множественностью в полном телесном угле жестко определяет выбор сцинтиллятора из известных сцинтилляционных материалов.

Способностью к сепарации заряженных частиц по форме импульса сцинтилляционной вспышки обладают сцинтилляторы NaI(Tl),

$\text{CsI(Tl)}$ <sup>8,9/</sup>, имеющие достаточное для решения поставленной задачи "разрешение" по виду частиц. Методические исследования сцинтиллятора  $\text{BaF}_2$ , проведенные к настоящему времени, например в<sup>11с/</sup>, также показали возможность разделения заряженных частиц.

Построенные системы многомодульных спектрометров 4 $\pi$ -геометрии и разработанные к настоящему времени проекты аналогичных систем не в состоянии решить поставленной задачи без их существенных изменений. Системы типа "кристаллический шар"<sup>2,4/</sup>, построенные на кристаллах  $\text{NaI(Tl)}$ , служат только для регистрации и спектроскопических исследований гамма-излучения и нейтронного излучения изучаемых ядерных систем, так как большая гигроскопичность  $\text{NaI(Tl)}$  не позволяет использовать кристаллы без герметичной упаковки, являющейся преградой для более тяжелых заряженных частиц и дающей достаточно большой разброс в величине кинетической энергии легких заряженных частиц.

Многомодульная система, построенная на пластиковых сцинтилляторах<sup>5/</sup>, не позволяет с достаточной точностью измерять параметры гамма-излучения: гамма-множественность, полную энергию и т.д. из-за недостаточной эффективности регистрации гамма-квантов.

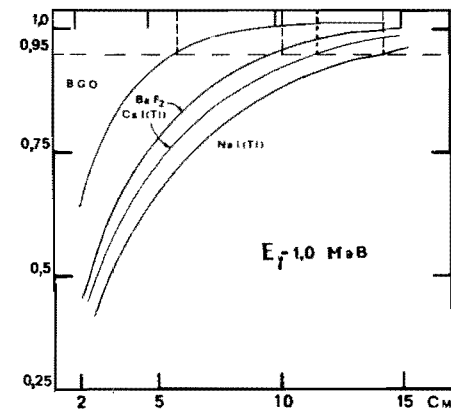
Для решения поставленной задачи сцинтилляционные детекторы должны отвечать следующим требованиям:

- высокая гамма-эффективность в пике полного поглощения;
- способность на заданной времяпролетной базе разделять гамма-кванты и нейтроны со средней кинетической энергией  $E_n \cong 1$  МэВ;
- сепарация гамма-квантов и заряженных частиц по форме импульса сцинтилляционной вспышки;
- негигроскопичность материала сцинтиллятора;
- механическая прочность и простота механической обработки;
- высокая однородность материала, прозрачность к собственному сцинтилляционному излучению;

Все созданные до настоящего времени спектрометры 4 $\pi$ -геометрии основывались на использовании сцинтилляционных кристаллов  $\text{NaI(Tl)}$ ,  $\text{BGO}$  и пластиков<sup>2,3,5/</sup>. Последние опубликованные проекты основаны на применении сцинтилляторов  $\text{BGO}$ ,  $\text{BaF}_2$ <sup>10,11/</sup>.

Многомодульные системы, созданные на  $\text{BGO}$ -сцинтилляторах, в отличие от аналогичных систем, построенных на  $\text{NaI(Tl)}$ -сцинтилляторах, обладают некоторыми преимуществами, а именно меньшей чувствительностью к нейтронному излучению и т.д. Приведенные в<sup>26/</sup> результаты измерений показывают, что сцинтилляционный  $\text{BGO}$ -детектор с относительно небольшими размерами  $\phi 75 \times 25$  мм сравним по эффективности регистрации гамма-квантов с энергией  $E_\gamma = 4 \div 20$  МэВ со сцинтилляционным детектором  $\text{NaI(Tl)}$   $\phi 150 \times 100$  мм. Измерения, проведенные в реакциях с тяжелыми ионами, показали, что меньшая чувствительность  $\text{BGO}$ -детектора к нейтронам (его меньший объем) приводят к заметному улучшению соотношения эффект/фон, при условии, что оба детектора захватывают одинаковый телесный угол относительно мишени.

Рис.7. Кривые эффективности регистрации гамма-квантов с  $E_\gamma = 1,0$  МэВ материалом сцинтилляторов  $\text{BGO}$ ,  $\text{BaF}_2$ ,  $\text{CsI(Tl)}$ ,  $\text{NaI(Tl)}$ . По оси ординат — величина эффективности в процентах, по оси абсцисс — толщина слоя сцинтиллятора в см.



На рис.7 представлены кривые зависимости эффективности регистрации гамма-квантов с энергией  $E_\gamma = 1$  МэВ для указанных сцинтилляторов от толщины чувствительного слоя. Кривые поглощения гамма-излучения для  $\text{CsI(Tl)}$ ,  $\text{BaF}_2$  приблизительно одинаковы и ложатся между кривыми поглощения сцинтилляторов  $\text{BGO}$  и  $\text{NaI(Tl)}$ . Для достижения 95% эффективности регистрации гамма-квантов с энергией  $E_\gamma = 1$  МэВ необходимы толщины кристаллов:

$\text{BGO}$	~ 6 см,
$\text{BaF}_2$	~ 10 см,
$\text{CsI(Tl)}$	~ 11 см,
$\text{NaI(Tl)}$	~ 14 см.

При толщине сцинтилляционных кристаллов порядка 10 см большую роль как в энергетическом, так и во временном разрешении играет коэффициент прозрачности сцинтиллятора к собственному излучению сцинтилляции, а также равномерность распределения активатора и чистота кристалла, особенно для сцинтилляторов с короткой длиной волны собственного излучения. Немаловажное значение (см. табл.1) имеют характеристики фотоприемников. Качество вышеупомянутых характеристик сцинтилляционных материалов становится особенно важным при регистрации заряженных частиц, имеющих короткий пробег; в этом случае локальные свойства сцинтиллятора сильно влияют на разброс параметров импульсов от регистрируемых частиц. С этой точки зрения сцинтиллятор на основе кристалла  $\text{CsI(Tl)}$ , имеющий собственное излучение с максимумом в области 560 нм и достаточно большой световой выход (45000 фотон/МэВ), обладает некоторыми преимуществами перед другими сцинтилляторами, впрочем, реализация их в большой степени зависит от спектральных характеристик фотоприемника.

Как уже отмечалось, использование сцинтилляторов  $\text{CsI(Tl)}$  позволяет по форме импульса сцинтилляционной вспышки определять вид заряженной частицы<sup>8,9,12,27/</sup>. Более того, подбором оптимальной концентрации активатора  $\text{Tl}$  можно достичь наилучшего разрешения по сепарации частиц. На рис.8 показана зависимость времени нарастания сцинтилляционной вспышки в кристалле  $\text{CsI(Tl)}$  от концентрации активатора. Измерения проведены в желтой полосе спектра излучения сцин-

Таблица 1

Временные характеристики сцинтиллятора  $BaF_2$  размером  $\phi 10$  см,  $L = 14$  см, порог срабатывания  $E_\gamma = 100$  кэВ (источник  $^{60}Co$ )

Фотоприемник, порог 100 кэВ	Размеры сцинтиллятора, мм	Время нарастания сигнала, нс	FHWM, нс	FTWM, нс
Hamamatsu 1035Q <sup>/11a/</sup>	$\phi 100 \times 140$	11	1,9	3,8
3412 RTC <sup>/11a/</sup>	$\phi 100 \times 140$	7	1,7	3,4
2020 QRTC <sup>/11a/</sup>	$\phi 100 \times 140$	1,5	0,7	1,5
9812 QB EM <sup>/11a/</sup>	$\phi 100 \times 140$	2,1	0,52	1,1

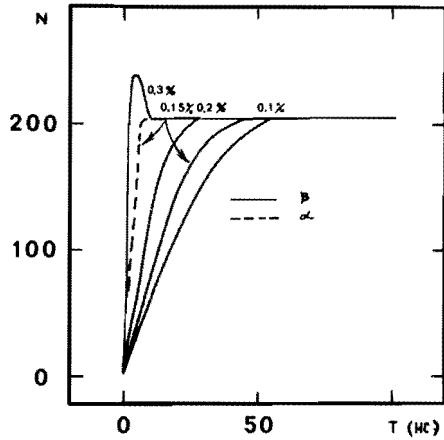


Рис.8. Зависимость времени нарастания сцинтилляционного импульса в  $CsI(Tl)$  от концентрации активатора Tl в желтой полосе излучения, при регистрации использовался желтый светофильтр ЖС-16. Проведена нормировка амплитуды импульса по медленной компоненте. Пунктирной линией отмечен фронт импульса, вызванного альфа-частицей, сплошной — бета-частицей (гамма-кванта). Над кривыми в цифрах приведены величины концентрации активатора Tl. По оси абсцисс — время выщечивания (нс). По оси ординат — интенсивность вспышки. Данные приведены из работы<sup>/8/</sup>.

тиллятора, импульсы нормированы по медленной компоненте, пунктирной линией показан фронт импульса, генерированный альфа-частицей, сплошной линией — импульсы, вызванные бета-частицами (гамма-кванты). При измерении использовался желтый светофильтр ЖС-16<sup>/8a/</sup>.

Авторам работы<sup>/27/</sup> удалось добиться приемлемого разрешения по идентификации заряженных частиц p, d, t,  $\alpha$ -частиц, а совместное использование  $CsI(Tl)$  и тонкого пластика позволило продвинуться по заряду частиц до  $Z = 19$ .

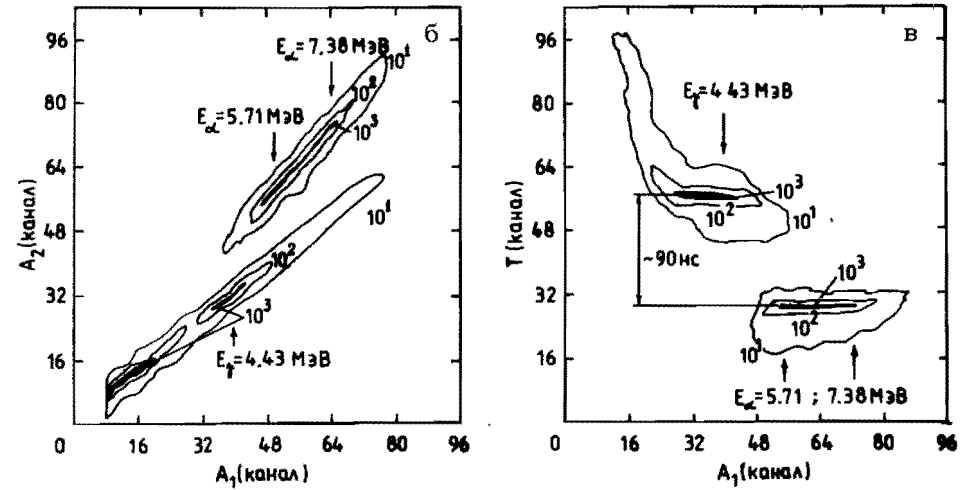
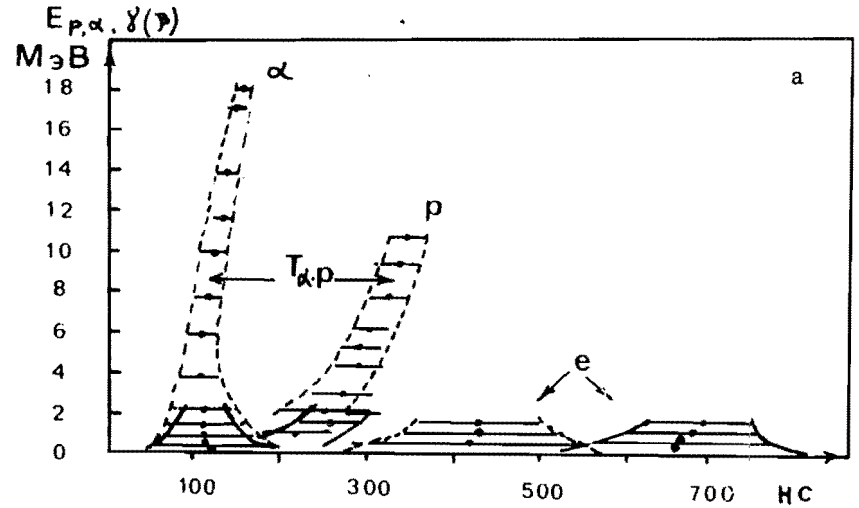


Рис.9. Сепарация заряженных частиц по форме импульса как функция энергии. а) Двухмерный спектр регистрации заряженных частиц, данные<sup>/97/</sup>, по оси абсцисс — время появления отметки от блока сепарации (нс); по оси ординат — энергия регистрируемых частиц (МэВ). Пунктирной линией отмечены области регистрации частиц без включения формирования сигналов, непрерывной линией — с применением 5 мкс формирования интегрирования. б) Результаты измерений с использованием двух аналоговых трактов с различными постоянными интегрирования сигналов и двух АЦП. Кристалл  $CsI(Tl)$   $\phi 40 \times 30$  мм, ФЭУ-139. По осям X и Y — амплитуды сигналов, аналоговых трактов с постоянными интегрирования 2000 и 250 нс соответственно. в) Разделение альфа-частиц и гамма-квантов при помощи двух дискриминаторов со следящим порогом и разными фракциями ( $f_1 = 0,2$ ,  $f_2 = 0,6$ ). По оси абсцисс — амплитуда сигнала при использовании постоянной интегрирования импульса 2000 нс. По оси ординат — временной интервал срабатывания двух дискриминаторов со следящим порогом. Кристалл  $CsI(Tl)$   $\phi 40 \times 30$  мм, ФЭУ-139.

Характеристики сцинтилляционных материалов

Сцинтилляторы Параметры	BGO	BaF <sub>2</sub>	CsI(Tl)	NaI(Tl)	Размерность
Плотность вещества	7,13	4,88	4,51	3,7	гр/см <sup>3</sup>
Радиационная длина	1,12		1,86	2,59	см
Фотовыход	5÷15x10 <sup>3</sup>	2000	45000	40000	фотон/МэВ
Время распада	3000	620	900	230	нс
Послесвечение	0,05		4,5	5,0	% после 3 мкс
Разрешение $\delta t$	4	0,8		2÷3	нс

На рис.9б, 9в представлены предварительные результаты измерений характеристик материала сцинтиллятора CsI(Tl), который предполагается использовать в модулях спектрометра. Измерения проводились для кристалла  $\varnothing$  40x30 мм и ФЭУ-139. Применялся источник  $\alpha$ -частиц <sup>223</sup>Ra, а также PuBe-источник с  $E_\gamma = 4,43$  МэВ. На рис.9б показан двухмерный спектр регистрации гамма-квантов и альфа-частиц. Он получен путем разделения аналогового сигнала от ФЭУ на два тракта усиления с постоянными формированиями  $\tau = 2000, 250$  нс, и с последующей передачей аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) в память ЭВМ. По осям X и Y отложены амплитуды первого и второго трактов усиления соответственно. Хорошо видно, что разделение частиц начинается при энергии частиц  $\sim 2$  МэВ и улучшается с повышением их энергий. Аналогичные результаты были получены в измерениях с использованием двух зарядово-цифровых преобразователей (ЗЦП). Запуск и время интегрирования заряда ЗЦП-1 определялись временными "воротами"  $\sim 60$  нс, которые полностью захватывали фронты нарастания сигналов от альфа-частиц и гамма-квантов. Временные "ворота" для ЗЦП-2, задержанные на 150 нс, имели длительность  $\sim 300$  нс. Энергетические разрешения трактов и двухмерный спектр сравнимы с вышеописанными, полученными на АЦП (рис.9б).

С точки зрения использования методов быстрого предпроцессорного отбора регистрируемой информации интересно получить двухмерные спектры регистрации частиц, когда точки — события регистрации частиц — ложатся в области, четко разделяющейся по одной из координат двухмерного спектра. С этой целью были проведены измерения, результаты которых представлены на рис.9в. В качестве параметра идентификации выбран временной интервал срабатывания двух формирователей со следящим порогом (постоянные фракций  $f = 0,2, 0,6$ ) — ось Y. По оси X отложена амплитуда спектрометрического тракта. Временной интервал между областями регистрации альфа-частиц и гамма-квантов достаточно велик ( $\sim 90$  нс), что позволяет надеяться на удовлетворительную идентификацию легких заряженных частиц в дальнейших исследованиях в этом направлении.

Характеристики вышеупомянутых сцинтилляционных материалов представлены в табл.2.

Несмотря на то, что по некоторым параметрам кристаллы CsI(Tl) уступают кристаллам BaF<sub>2</sub>, BGO, NaI(Tl), они обладают рядом следующих достоинств, которые в совокупности определили выбор этого материала для использования в многомодульном спектрометре гамма-квантов и заряженных частиц:

- высокое энергетическое разрешение;
- слабая гигроскопичность;
- высокая плотность вещества;
- возможность разделения гамма-квантов, заряженных частиц по форме импульса;
- высокая прочность кристалла, легкость механической обработки;
- относительно низкая стоимость.

Мнение об относительно невысоких временных характеристиках сцинтиллятора CsI(Tl) является спорным (см.рис.7), так как кинетика разгорания сцинтилляционного импульса зависит от концентрации активатора<sup>8/</sup>.

### 3. КОНСТРУКЦИЯ ДЕТЕКТОРА

1. Основная модификация спектрометра представляет собой две сборки по 36 модулей — сцинтилляторов в форме прямой призмы, в основании которой лежит правильный шестиугольник. Каждая сборка, огибающая полусферу, собрана из трех колец по 18, 12, 6 модулей соответственно, расположенных, в отличие от спектрометра<sup>11/</sup>, нормально по отношению к оси ионопровода, что важно при изучении ядерных реакций с тяжелыми ионами средних и высоких энергий (вылет фрагментов реакции преимущественно под малыми углами и с большой множественностью). Такая геометрия позволяет осуществлять более гибкую перестройку в другие модификации типа "шар — стена"<sup>15/</sup> путем замены колец, состоящих из 6, 12 модулей, расположенных под передним углом, на кольца с большим числом модулей ("стена") с целью улучшения разрешающей способности по множественности заряженных частиц при изучении реакций фрагментаций и т.п. (см.рис.10).

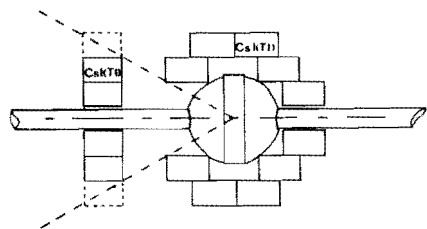


Рис.10. Конфигурация спектрометра для изучения реакции фрагментации на пучках тяжелых ионов. Одно кольцо из модулей сборки спектрометра заменено кольцами из аналогичных модулей, образующих "кристаллическую стену" в том же телесном угле.

Схематически сборка представлена на рис.1 и 2. Гексагональные элементы-модули спектрометра с размерами  $\phi 100 \times 150$  мм образуют в данной геометрии внутреннюю полость с радиусом вписанного шара 170 мм.

Авторами работы<sup>13/</sup> на основании расчетов, проведенных по методу Монте-Карло, получены количественные выводы о разрешающих способностях подобной системы в основной модификации. Отмечено, что характеристики данного спектрометра ниже аналогичных характеристик (дисперсия по множественности и т.д.) "кристаллических шаров" с таким же числом модулей, но не более чем на 10%. Это занижение вызвано различием в величинах эффективности регистрации между модулями спектрометра. Существует несколько способов улучшения характеристик спектрометра, а именно: путем повышения эффективности регистрации каждого модуля (см.рис.11); выравниванием величин эффективностей регистрации модулей с помощью изменения их телесных углов и др.

Расчеты, проведенные нами по методу Монте-Карло, показали, что возможно улучшение данных характеристик путем оптимизации параметра  $H$  ( $H$  — расстояние от плоскости основания модуля спектрометра до плоскости симметрии, проведенной через центр спектрометра перпендикулярно оси пучка). На рис.12 представлена сборка модулей спектрометра, вид спереди. Для каждого модуля вверху и внизу приведены числа срабатываний модулей спектрометра на каскад из 30 моноэнергетических гамма-квантов с энергиями соответственно 0,5,

и 2,0 МэВ при  $H = 13,75$  МэВ, во втором кольце в знаменателе указаны те же величины при значении параметра модуля  $H = 10,95$  см. Дальнейший рост количества детекторов до 120 с сохранением геометрии путем прибавления еще двух колец позволяет увеличить радиус внутренней полости до 280 мм. В центре вписанной в полость сборки спектрометра окружности расположена мишень. Обе сборки окружены блоками пластического сцинтиллятора цилиндрической формы и расположены на подвижных платформах, раздвигающихся вдоль оси ионного пучка. Пластические сцинтилляторы, являющиеся ложементом для сборки модулей спектрометра, просматриваемые системой быстрых ФЭУ — 85, выполняют функции антикомптоновской защиты, а также космической защиты. Установка спектрометра в основной модификации представлена на рис.1, 2.

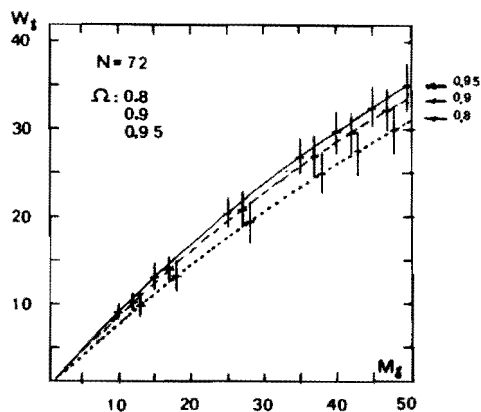
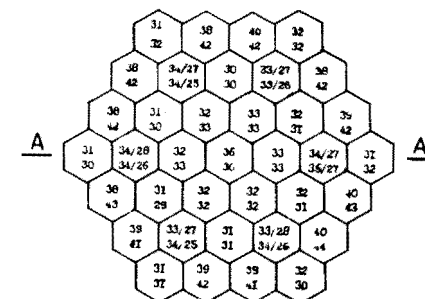


Рис.11. Кривые функции отклика на гамма-каскад 72-модульного спектрометра типа "кристаллический шар" с полной эффективностью регистрации гамма-квантов  $E_\gamma = 1,0$  МэВ, равной  $\Omega = 0,95; 0,9; 0,8$ . По оси абсцисс — множественность регистрируемого гамма-каскада, по оси ординат — кратность регистрируемых событий. Расчеты функций отклика проведены по формулам<sup>11/</sup>.

Рис.12. Сборка модулей спектрометра (сечение перпендикулярно оси ионного пучка). Приведены числа срабатываний модулей спектрометра на каскад моноэнергетических гамма-квантов  $M_\gamma = 30$  с энергиями 0,5 и 2,0 МэВ вверху и внизу соответственно при  $H = 13,75$  см. В модулях второго кольца в знаменателе приведены аналогичные величины во второй геометрии (величина параметра  $H$  таких модулей равна 10,95 см). Внизу представлено сечение сборки спектрометра по плоскости А-А.



и 2,0 МэВ при  $H = 13,75$  МэВ, во втором кольце в знаменателе указаны те же величины при значении параметра модуля  $H = 10,95$  см. Дальнейший рост количества детекторов до 120 с сохранением геометрии путем прибавления еще двух колец позволяет увеличить радиус внутренней полости до 280 мм. В центре вписанной в полость сборки спектрометра окружности расположена мишень. Обе сборки окружены блоками пластического сцинтиллятора цилиндрической формы и расположены на подвижных платформах, раздвигающихся вдоль оси ионного пучка. Пластические сцинтилляторы, являющиеся ложементом для сборки модулей спектрометра, просматриваемые системой быстрых ФЭУ — 85, выполняют функции антикомптоновской защиты, а также космической защиты. Установка спектрометра в основной модификации представлена на рис.1, 2.

2. Антикомптоновский спектрометр. Для спектроскопических исследований с применением большого числа Ge-детекторов можно использовать модификацию, аналогичную установке TESSA-2<sup>14/</sup>. Данная модификация строится из 36 детекторов, окружающих камеру, предназначенных для измерения полной энергии гамма-излучения, и 12 Ge(Li)-детекторов, каждый из которых окружен пятью модулями CsI(Tl) антикомптоновской защиты (рис.13).

3. Гамма-спектрометр в сочетании со спектрометром заряженных частиц высокой энергии. Для исследования реакции при больших энергиях налетающих ионов может быть использована модификация спектрометра, аналогичная системе "пластиковый шар — пластиковая стена"<sup>15/</sup>. Построение системы модулей, симметричной относительно оси ионного пучка, в отличие от системы с аналогичной геометрией<sup>11/</sup> позволяет заменять модуль, расположенный под  $0^\circ$  к направлению пучка, а также последующие кольца детекторов сборкой детекторов типа "стена" (рис.9).



Рис.13. Схематический вид конфигурации спектрометра с Ge-детекторами и антикомптоновской защитой. Черными кружками отмечены Ge-детекторы гамма-излучения.

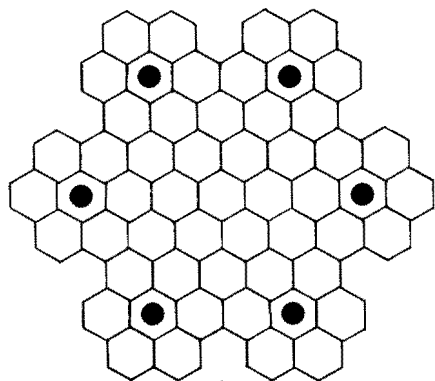


Рис.14. Простая конфигурация спектрометра полного поглощения, собираемая из 6-12 модулей, образующая 4π-геометрию.



4. Простые модификации. Для проведения некоторых исследований является целесообразным применение простых модификаций, образованных из 6, 12 модулей спектрометра, предназначенных для измерения полной энергии и гамма-множественности (рис.14).

5. Гамма-калориметр для измерения корреляций гамма-квантов, возникающих при распаде  $\pi^0$ -мезонов.

#### 4. НАПРАВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА МНОГОМОДУЛЬНОМ СПЕКТРОМЕТРЕ ГАММА-КВАНТОВ, НЕЙТРОНОВ И ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Гамма-спектроскопические исследования:

1. Изучение гамма-переходов с целью исследования состояний ядер с большим значением спина. Изучение свойств ядер, удаленных от полосы стабильности. Последняя задача становится наиболее интересной при использовании вторичных пучков, т.е. нейтроноизбыточных или нейтронодефицитных ядер. Данные исследования проводятся с применением детекторов высокого энергетического разрешения с антикомптоновской защитой и спектрометра в качестве фильтра множественности<sup>/5/</sup>.

2. Определение момента инерции ядра при больших спинах  $30 \div 60\hbar$  проводится с помощью измерения гамма-множественности и оценок

энергии возбуждения остаточного ядра (построение входной линии "enter line") путем измерения зависимости гамма-множественности от энергии  $E_{\gamma \text{ tot.}}$  и применения корреляционного метода, основанного на методике измерения гамма-гамма совпадений<sup>/16/</sup>. В данных экспериментах многомодульный спектрометр используется как спектрометр полной энергии гамма-излучения, измеритель распределения гамма-множественности и как фильтр множественности.

Изучение механизма реакций слияния сложных ядер:

1. Определение максимального углового момента в канале испарения нейтронов. Измеряя распределение по множественности в различных каналах реакции, можно получить значения величин среднего и максимального углового момента возбужденной ядерной системы, образующейся в данной реакции<sup>/17/</sup>.

2. Изучение распределения углового момента делящегося ядра между осколками деления. Измерения проводятся с использованием спектрометра в совпадении с осколками деления. Интересную информацию можно получить, изучая распределение по множественности гамма-квантов в зависимости от массы осколков<sup>/18/</sup>.

3. Измерение спектра жесткого гамма-излучения, в том числе гамма-излучения распада гигантских резонансов, возбуждаемых в реакции. Подобные эксперименты могут дать исключительно важную информацию о процессе диссипации кинетической энергии в реакциях слияния сложных ядер<sup>/19/</sup>. Измерения проводятся всеми модулями установки, что в несколько десятков раз повышает чувствительность методики, использованной в аналогичных экспериментах<sup>/6/</sup>.

4. Изучение реакций неполного слияния ядер. Исследуя распределение по множественности гамма-квантов в корреляции с другими продуктами ядерной реакции, можно получить информацию о заселении углового момента в выбранном канале ядерной реакции<sup>/20/</sup>.

5. Эксперименты на пучках тяжелых ионов с энергиями  $E \geq 20$  МэВ/нуклон.

— Определение сечения рождения  $\pi^0$ -мезонов в зависимости от энергии бомбардирующих ионов. Эксперименты дают возможность получить данные для сравнения с теоретическими предсказаниями, позволяющие оценить характеристику внутреннего движения нуклонов в ядре<sup>/21/</sup>.

— Измерения спектров энергий легких фрагментов (p, d, t,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  и т.д.) с целью изучения процессов взаимодействия сложных ядер при высоких энергиях<sup>/22/</sup>.

#### 5. ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА

В многопараметровых экспериментальных установках с большим потоком информации все более важное место занимают электронные системы с использованием методов быстрого предпроцессорного отбора регистрируемой информации. Подобное построение электронных

систем позволяет осуществлять измерения с большей эффективностью путем уменьшения числа событий, несущих второстепенную физическую информацию. В основу электронной системы описываемой установки положен метод быстрого предпроцессорного анализа и отбора регистрируемых событий, что увеличивает общую эффективность установки.

Электронная система экспериментальной установки предназначена для обработки и накопления физической информации, получаемой от 72 модулей спектрометра, а также от детекторов, установленных внутри реакционной камеры. Число параметров, записываемых в память машины,  $\sim 100$ , что при малом относительном сечении реакции исследуемых событий (соответственно большому числу фоновых событий) определяет необходимость включения в электронную систему элементов быстрого и эффективного отбора информации.

Блок-схема варианта электронной системы экспериментальной установки, который описывается ниже, представлена на рис.15, 16, где  $x, n, f$  — детекторы рентгеновского излучения, нейтронов и осколков деления соответственно; Буф — быстрый усилитель-формирователь; Е — спектроскопический усилитель; ВАП — преобразователь "время — амплитуда"; М — двухканальный аналоговый мультиплексор; АЦП — преобразователь "амплитуда — цифра".

Электронная система разделяется на три основные части:

- аналого-цифровая часть сбора и накопления экспериментальной информации;
- логическая часть отбора регистрируемой информации в память ЭВМ;
- система стабилизации и контроля.

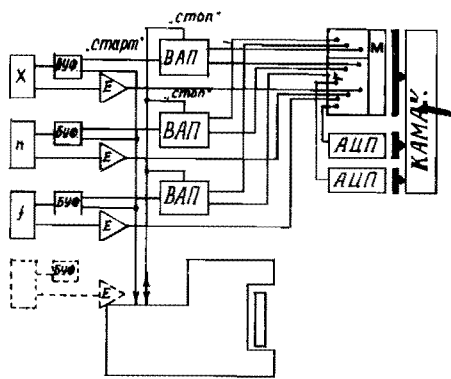
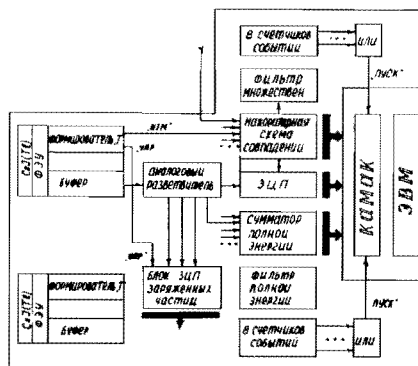


Рис.16. Вариант блок-схемы электронной системы спектрометра.

Рис.15. Блок-схема электронной системы экспериментальной установки.



1. Аналоговая часть предназначена для сбора и записи информации об энергии продуктов реакции с 72 модулей спектрометра, а также внутренних детекторов экспериментальной установки. Она построена на базе преобразователей типа "заряд — код" (ЗЦП), что позволяет обработать аналоговые сигналы с ФЭУ в короткое время с достаточно высоким энергетическим разрешением.

Система, основанная на использовании ЗЦП, служащая для преобразования токового импульса в соответствующий цифровой код, позволяет разделять частицы по форме импульса сцинтилляционной вспышки. Она устроена так: анод фотоумножителя каждого модуля соединен через усилитель со входом линейного разветвителя, входы которого связаны с блоком временной привязки, и через постоянную линию задержки, компенсирующую время срабатывания блока временной привязки, — с входами нескольких зарядово-цифровых преобразователей. Работает система следующим образом: аналоговый сигнал после разветвления попадает на блок временной привязки, который вырабатывает сигналы "нуля времени" и сигналы, управляющие ЗЦП, длительность которых и время появления относительно "нуля времени" может регулироваться. Аналоговые сигналы с других выходов разветвления, задержанные на постоянное время задержки, идут на входы ЗЦП. Таким образом, для каждого ЗЦП можно подобрать момент включения и длительность интегрирования тока заряда, причем отношение зарядов программным образом может быть отнормировано на величину заряда по медленной компоненте импульса. Эти отношения являются параметрами, идентифицирующими частицу. Кроме основной функции сепарации частиц и определения их энергии, система может выполнять функцию отсева событий, при которых имело место наложение регистрируемых импульсов. Подобное построение аналоговой системы позволяет проводить цифровыми методами весь анализ регистрируемых событий с помощью ЭВМ.

2. Логическая часть предназначена для предварительного отбора событий и записи в память ЭВМ регистрируемой физической информации. Она состоит из двух систем:

— "Фильтр множественности" предназначен для быстрого предварительного отбора регистрируемых событий по числу  $W$  сработавших модулей спектрометра. Представляет собой мажоритарную схему совпадений, запускаемую от детекторов, расположенных внутри реакционной камеры, имеет плавную регулировку временных "окон" регистрации по всем 72 входам сцинтилляционных детекторов, а также 8 регулируемых "окон" фильтра множественности с персональными счетчиками событий. Система пропускает на регистрацию в память ЭВМ физическое событие, удовлетворяющее по множественности одному из 8 "окон" фильтра множественности.

— "Фильтр полной энергии" предназначен для быстрого предварительного отбора регистрируемых событий по суммарной энергии, вы-

деленной продуктами ядерной реакции в 72 модулях спектрометра. Состоит из аналогового сумматора, который производит суммирование по 72 входам, и дискриминаторов амплитуды суммарного импульса. Дискриминаторами импульса производится оценка его амплитуды и, соответственно, полной энергии, выделенной в модулях. Данная оценка достаточна для проведения предварительного отбора исследуемого события для записи физической информации в память ЭВМ. Логика и техника отбора аналогична "фильтру множественности" — система имеет 8 регулируемых окон полной энергии с персональными счетчиками событий.

3. Система стабилизации и контроля ФЭУ является довольно чувствительной к воздействию различных факторов, а именно: загрузки, времени работы, напряжения питания, магнитного поля и т.д. Под их воздействием ФЭУ сильно меняют свои параметры (коэффициент усиления  $K$ , временное и энергетическое разрешение, время появления импульса относительно начала сцинтилляционной вспышки и т.д.).

Система стабилизации и контроля многомодульного спектрометра предназначена для поддержания постоянным коэффициента усиления аналогового тракта модулей спектрометра в автоматическом режиме. Стабилизация параметра  $K$  аналоговых трактов модулей установки может осуществляться двумя способами: изменением параметров работы ФЭУ и изменением параметров аналогового тракта.

К первому способу стабилизации относятся методы, использующие:

- изменение напряжения питания фотоэлектронного умножителя ФЭУ;
- способ регулировки параметра  $K$  управляемым резистором, шунтирующим два соседних диода ФЭУ<sup>/24/</sup>;
- изменение магнитного поля в области расположения диодов ФЭУ<sup>/25/</sup>.

Ко второму способу стабилизации параметра  $K$  относятся методы, использующие усилитель с управляемым коэффициентом усиления.

Каждый из перечисленных выше способов стабилизации параметра  $K$  имеет определенные недостатки, анализу некоторых из них посвящена работа<sup>/25a/</sup>. В настоящем проекте предлагается применение метода стабилизации параметра  $K$ , использующего включение управляемого резистора в цепь аналогового тракта. В качестве альтернативного варианта возможно применение способов регулировки параметра  $K$  путем изменения магнитного поля в области диодов ФЭУ. Причем данные варианты осуществимы на одной и той же базисной схеме стабилизации и контроля (см. ниже).

Схема стабилизации и контроля данного спектрометра представляет собой совокупность электронных блоков управления, блока выработки высокостабильного по амплитуде калибровочного импульса; управление системой стабилизации производится программным способом процессором системы.

Рис.17. Блок-схема системы стабилизации и контроля спектрометра.

Система выполняет следующие функции:

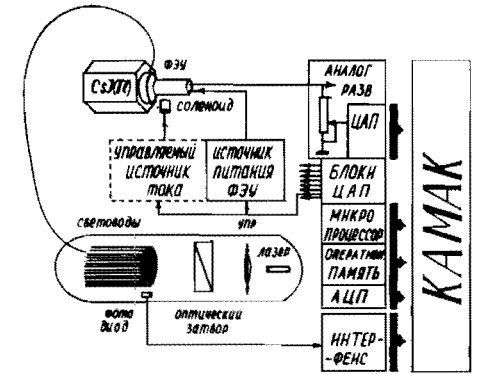
- выработка тестовых импульсов на модули спектрометра;
- накопление ответных импульсов в памяти микропроцессора до заданной статистики;
- обработка накопленных спектров ответных импульсов по заданной программе;
- выработка решения по каждому из тестируемых модулей;

- передача управляющих сигналов на исполняемые элементы изменения параметра  $K$  модулей спектрометра;
- передача необходимой информации в память базовой машины и на терминал экспериментатора.

Функциональный объем, заложенный в данную систему, с необходимостью предполагает использование отдельного микропроцессора с целью экономии оперативной памяти базовой машины, что позволяет существенно экономить время набора физической информации.

Калибровка модулей спектрометра происходит по световому тестовому импульсу от светодиодов или от лазера через волоконные оптические волноводы.

Вариант блок-схемы системы стабилизации и контроля представлен на рис.17.



## 6. РЕАКЦИОННАЯ КАМЕРА

Реакционная камера сферической формы, разъемная, состоит из трех секций, двух полусфер и соединительного кольца, несущего на себе все электрические вакуумные выводы, а также специализированные детекторы с криогенным оборудованием. Соединительное кольцо имеет универсальную систему крепления всех внутренних детекторов экспериментальной установки.

Вторая полусфера, соединенная ионопроводом с цилиндром Фарадея, установлена на одной из трех подвижных платформ, что позволяет быстро получить доступ к детекторам, расположенным внутри реакционной камеры. Две другие платформы несут модули спектрометра в космической защите.

Соединительные кольца — съемные, взаимно-заменяемые, что позволяет широко использовать специализированные детекторы (например, германиевые детекторы рентгеновского излучения).

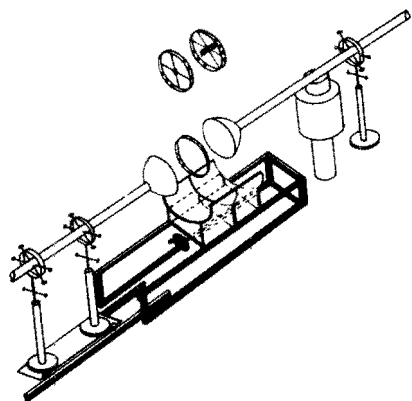


Рис.18. Механическая часть экспериментальной установки.

Реакционная камера выполнена из листового материала (стали), имеет безмасляную систему вакуумной откачки, универсальную систему крепления внутренних детекторов продуктов реакции, позволяющую размещать их под любым углом к направлению пучка и обеспечивающую минимальный телесный угол, который занимают элементы конструкции (исключая сам детектор), систему охлаждения этих детекто-

ров до  $t = -196\text{ C}^\circ$ , систему электрических выводов, в том числе до 10 кВ.

Установка включает систему диагностики и измерения тока пучка тяжелых ионов, позволяющую изменять диаметр диафрагмы (дистанционно). Измерение тока пучка проводится с помощью мониторинговой фольги, а также с помощью цилиндра Фарадея, который находится в бетонной защите с целью снижения фона.

Механическая часть установки многомодульного спектрометра представлена на рис.18.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. Препринт ОИЯИ 9-84-555, Дубна, 1984.
2. a) Albrecht R. et al. ISSN 0174-0814, GSI, Heidelberg 1983, p.223;  
b) Jaaskelainen M. et al. — Nucl.Instr. and Meth., 1983, 204, p.385.
3. Simon R.S.— J.de Phys.C 10, 1980, 41, p.281.
4. Habs D. et al. — PUB — 5020, Lawrence Berkeley Laboratory, 1979.
5. a) Baden A. et al. — Nucl.Instr. and Meth., 1982, 203, p.189;  
b) Gutbrod H.H. et al.— GSI scientific report, GSI 83-1, 1982, p.36.
6. Kamanin V.V. et al. — JINR Rapid Communications, 8-85, Dubna, 1985, p.18.
7. Oblozinsky P., Simon R.S. — Nucl.Instr. and Meth., 1984, 223, p.52.
8. a) Ляпидевский В.К., Прорвич В.А. — ПТЭ, 1974, 2, с.62;  
b) Ляпидевский В.К., Прорвич В.А. — ПТЭ, 1978, 5, с.69.
9. Mathe Gy. — Nucl.Instr. and Meth., 1966, 39, 2, p.356.
10. Toras P. et al. — The  $8\pi$ Spectrometer Proposal for a National Facility, Canada, 1983.
11. a) Beck F.A. — Cern Preprint CRN-PN 84-41, 1984;  
b) Beck F.A. et al. — IN2P3, Laboratories Collaboration (France), 1981;  
c) Hingmann R. et al. — Scientific report 1985, GSI 86-1, 1985, p.310.
12. Twin P.J. et al. — DL/NUC/P174E, May, 1983.
13. Vivien J.P. — Annual Report, CRN — Strasbourg, 1982.
14. Morrissey D.J. et al. — Annual Report, 1982-83, NSCL, Michigan State University.

15. Петров Б.Ф. и др. — Препринт ОИЯИ P7-82-15, Дубна, 1982.
16. Петров Б.Ф. и др. — Препринт ОИЯИ P7-82-351, Дубна, 1982.
17. Петров Б.Ф. и др. — Препринт ОИЯИ P7-82-322, Дубна, 1982.
18. Dilmanian F.A. et al. — Phys. Lett., 983, v.127B, p.172.
19. Schmidt K.H. et al. — GSI-85-13 preprint, 1985.
20. Kamanin V.V. et al. — Nucl.Phys., 1984, A431, p.545.
21. Grosse E. et al. — GSI Scientific Report, GSI-82-1, 1981, p.31.
22. Warwick A.I. et al. — GSI Scientific report, GSI-82-1, 1981, p.37.
23. Shyam R., Knoll J. Preprint, GSI-85-5, 1985.
24. Воробьев В.В. — ПТЭ, 1969, № 4, с.160.
25. а) Бегджанов Р.Б., Гладышев Д.А., Ли Б.Н. Прикладная ядерная спектроскопия, сборник статей, вып.9, М., Атомиздат, 1979, с.68.;  
б) Госьков П.И., Луковников В.И. — ПТЭ, 1969, 4, с.152.
26. Каманин В.В. и др. — Препринт ОИЯИ 13-86-375, Дубна, 1986.
27. Alarja J. et al. — Nucl.Instr. and Meth., 1986, A242, p.352-354.

Рукопись поступила в издательский отдел  
16 января 1987 года.

· НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.
Д13-85-793	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна 1985.	4 р. 80 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Агаронян Ф.А. и др. P13-87-15  
Многомодульный спектрометр 4 $\pi$ -геометрии гамма-квантов и заряженных частиц ПЭГАС

Представлен проект многомодульного спектрометра 4 $\pi$ -геометрии гамма-квантов, нейтронов и заряженных частиц. При конструировании учтены следующие требования: измерение полной энергии излучения с  $E_\gamma \leq 30$  МэВ для каждого гамма-кванта; измерение распределения гамма-многожественности для гамма-каскада с  $M_\gamma = 30$ ; идентификация гамма-квантов, нейтронов и заряженных частиц детекторами спектрометра. Спектрометр содержит 72 модуля, собранных в две сборки по 36 модулей, выполненных из сцинтилляционных кристаллов CsI(Tl) шестигранной формы с диаметром описывающей окружности 100 мм и длиной 150 мм. Представлены расчеты, проведенные методом Монте-Карло, функций отклика спектрометра на многожественность гамма-квантов, энергию гамма-излучения и т.д.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой

Agaronian F.A. P13-87-15  
PEGAS Multimodule 4 $\pi$ -Spectrometer of Gamma-Quanta and Charged Particles

The project of multimodule 4 $\pi$ -spectrometer of gamma-quanta, neutrons and charged particles is described. The set up is intended for registration of single gamma-ray up to 30 MeV energy and for simultaneous evaluation of total energy of gamma-ray cascade; determination of gamma-multiplicity distribution up to  $M_\gamma = 30$ , identification of gamma-rays, neutrons and charged particles by the spectrometer detectors. The spectrometer consists of 72 modules made from CsI(Tl) scintillation crystals divided into two assemblies each having of 36 modules. Each module has a hexagonal base with 100 mm diameter of outer circle and 150 mm length. The modelling of the response functions of the spectrometer to gamma-ray multiplicity, gamma-radiation energy etc. by the Monte-Carlo method are presented.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987