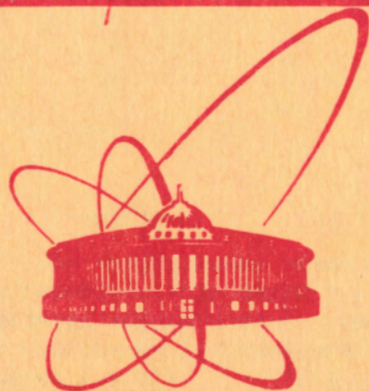


1590/82

2/11-82



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P7-81-807

**В.Зайдель\*, Х.Зодан\*, С.М.Лукьянов,  
П.Манфрас\*, Ю.Э.Пенионжкевич,  
Ф.Стари\*, К.Д.Шиллинг**

**ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ  
ИОНИЗАЦИОННАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО СПЕКТРОМЕТРА**

*Направлено в ПТЭ*

---

\* Центральный институт ядерных исследований  
АН ГДР, Россендорф, Дрезден, ГДР.

**1981**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

При исследовании механизма взаимодействия сложных ядер в последние годы широкое распространение получили методы измерения коррелированных продуктов ядерных реакций<sup>1/</sup>. В связи с программой исследований на новом изохронном циклотроне тяжелых ионов У-400 в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ создается корреляционная аппаратура для широкого круга исследований механизма взаимодействия ядер. Основными частями этой аппаратуры являются времяпролетные спектрометры, позволяющие идентифицировать регистрируемые частицы по массам без каких-либо предположений о кинематике реакций. С целью достижения высокой эффективности регистрации совпадений времяпролетные спектрометры должны детектировать испускание частиц в широком телесном угле. Вместе с тем детекторы должны обладать позиционной чувствительностью.

В данной работе описываются конструкция, принцип действия и результаты испытания образца системы детекторов, позволяющих определить время и место попадания частиц, их энергию и, по возможности, величину удельных потерь энергии, необходимую для идентификации продуктов по Z. 0 детекторах, дающих только временные отметки, нами сообщалось ранее<sup>2,3/</sup>.

Для достижения относительно большого угла регистрации детектором лучше всего использовать газонаполненные детекторы с большим входным окном, обладающие позиционной чувствительностью. Преимущество газовых детекторов перед альтернативным решением проблемы - мозаикой из полупроводниковых детекторов<sup>4/</sup> - состоит главным образом в долговечности и в отсутствии дефекта амплитуды в зависимости от массы. Среди возможных вариантов газовых детекторов, позволяющих произвести многопараметровую регистрацию событий, выбор был сделан в пользу позиционно-чувствительной ионизационной камеры /ПЧИК/, которая является относительно простой в изготовлении и не требует сложной регистрирующей электроники. Типичное энергетическое разрешение для ионизационных камер составляет 1%. Так как при использовании времяпролетного метода определения массы достигается массовое разрешение устанавливается с помощью временно-го  $\Delta t/t$  и энергетического разрешения  $\Delta E/E$  спектрометра:

$$\Delta M/M = [(\Delta E/E)^2 + (2\Delta t/t)^2]^{1/2},$$

то для достижения массового разрешения в 1,5% требуется точность измерения времени пролета  $\Delta t/t = 0,5\%$ . Поэтому при пролетной базе 1 м и скорости регистрируемых продуктов 1,4 см/нс система старт-стоп-детекторов должна иметь временное разрешение  $\Delta t \approx 350$  пкс.

## 2. КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ

Конструкция позиционно-чувствительной ионизационной камеры представлена на рис.1. Активным объемом камеры является пространство между катодом и экранирующей сеткой. Для измерения удельных потерь энергии и остаточной энергии частиц анод разделяется на сегменты шириной 60 мм и 120 мм соответственно. Материалом для анода и катода служит фольгированный односторонний стеклотекстолит. В соответствии с телесным углом детектора, определенным шириной входного окна и его расстоянием от мишени, активная площадь анода вытравливалась в виде трапеции из общей пластины. Экранирующая сетка была намотана Ве-Си -проволокой диаметром 70 мкм с шагом 0,5 мм на латунную рамку. Все три электрода закреплены между собой и относительно кожуха ПЧИК стержнями из фторопласта.

Активный объем камеры окружается корректирующими металлическими полосками, которые обеспечивают однородность электрического поля вплоть до расстояния 5 мм от края электродов. Ширина входного окна ПЧИК составляет 180 мм, а высота 50 мм. Рабочий газ камеры отсекается от вакуумного объема фольгой из формвара<sup>/5/</sup> или полипропилена<sup>/6/</sup> толщиной 50-100 мкг/см<sup>2</sup>. Фольга поддерживается металлической сеткой из никеля.

Непосредственно за входным окном ПЧИК вмонтирован плоско-параллельный лавинный счетчик /ППЛС/ для снятия сигнала "Стоп" времяпролетного измерения. Сетка из параллельно намотанных проволок за катодом ППЛС обеспечивает однородность электрического поля вплоть до расстояния 30 мм от сетки. Определение места попадания частиц осуществляется путем измерения двух взаимно перпендикулярных координат  $x$  и  $y$ . Координата  $y$ , перпендикулярная плоскости реакции и электродов ПЧИК, получается с помощью измерения времени дрейфа электронов от места их образования до экранирующей сетки. Для измерения координаты  $x$  применяется специальный координатный детектор /КД/, помещенный в промежутке между двумя сегментами анода /над щелью в аноде/.

Применение тонких фольг во входном окне влечет за собой необходимость обеспечения низкого давления рабочего газа камеры. Для осуществления максимальной тормозной способности в условиях низкого давления и ограниченного размера камеры необ-

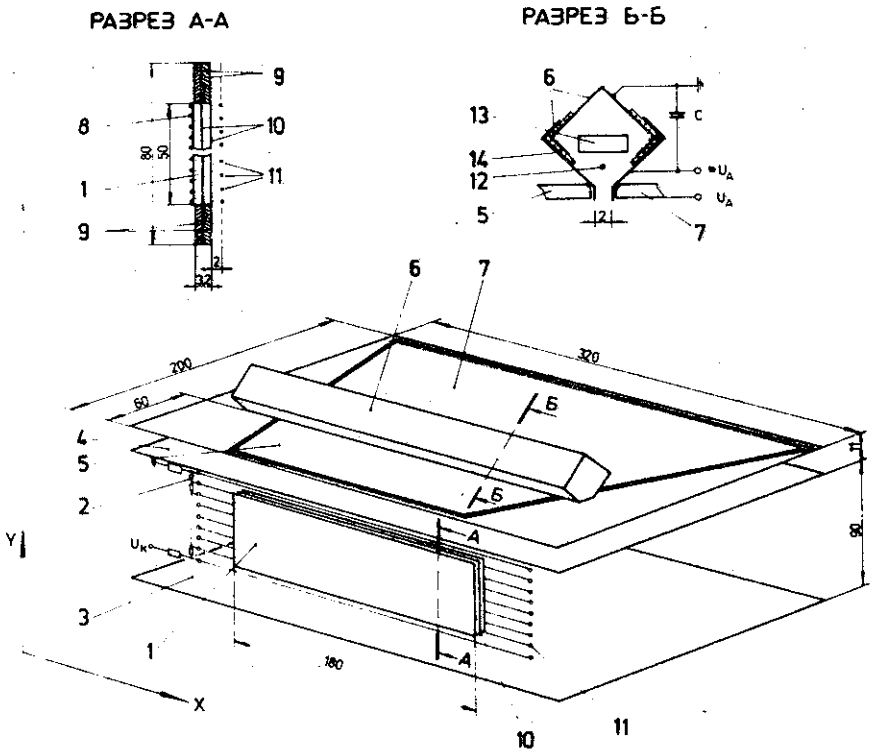


Рис. 1. Схема позиционно-чувствительной ионизационной камеры /ПЧИК/: 1 - входное окно и плоскопараллельный лавинный счетчик /ППЛС/; 2 - цепь сопротивлений для корректирующей сетки; 3 - катод; 4 - экранирующая сетка /заземлена/ из проволоки диаметром 70 мкм; 5 -  $\Delta E$  - участок анода; 6 - экран детектора координаты  $x$ ; 7 -  $E$  - участок анода; 8 - поддерживающая сетка входного окна; 9 - рамка электродов ППЛС; 10 - электроды ППЛС; 11 - проволоки корректирующей сетки; 12 - пропорциональная нить координатного детектора; 13 - линия задержки; 14 - изоляция.

ходимо применять рабочий газ с высоким молекулярным весом. К этому добавляется требование относительно низкого значения среднего атомного числа газа с целью уменьшения эффекта ядерного многократного рассеяния. Поэтому нами выбирались в качестве рабочего газа пары пентана или гексана. Давление паров

над этими жидкостями можно плавно менять в интервале от 5 до 250 Тор путем простой регулировки температуры жидкости элементом Пельте, позволяющим устанавливать температуру в пределах  $-35^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq +10^{\circ}\text{C}$ . Конструкция этой газовой системы позволяет работать либо в режиме стационарного газонаполнения, либо в проточном режиме. В рабочем состоянии ПЧИК пары имеют непрерывный доступ в камеру. Необходимый для протока перепад давления создается в ловушке, где вымораживаются пары, поступающие из камеры через игольчатый вентиль. Выяснилось, что применяемые в качестве рабочего газа углеводороды предварительно надо очистить от электроотрицательных примесей ( $\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$ ). Хорошо зарекомендовало себя многократное замораживание при  $\theta = -196^{\circ}\text{C}$  с последующей дистилляцией при температуре ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ .

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ

#### 3.1. Определение энергии

Энергетическое разрешение простой ИК <sup>/7/</sup> главным образом определяется следующими факторами:

- энергетическим разбросом при прохождении частиц через входное окно и мертвые слои газа;
- статистикой образования пар ионов;
- неэффективностью экранирующей сетки и
- шумами регистрирующей электроники.

Добавление к простой ИК элементов для определения места и времени попадания частиц ведет, как правило, к ухудшению ее энергетического разрешения. Особую проблему представляет собой получение достаточно быстрого стоп-сигнала для измерения времени пролета, так как импульсы с катода ИК имеют длинный фронт. Обычно эта проблема решается путем введения дополнительного быстрого детектора перед или за входным окном камеры, вносящего, однако, дополнительный разброс по энергиям. Поэтому задача построения комплексной ИК сводится главным образом к нахождению разумного компромисса при достижении точности определения отдельных параметров.

Влияние различных факторов на энергетическое разрешение демонстрируется в случае простой ИК на примере  $\alpha$ -спектра источника  $^{241}\text{Am}$  /рис. 2а/. Полная ширина линии 5,48 МэВ составляет  $\Delta E = 50$  кэВ при работе камеры с чистым метаном в качестве рабочего газа. Разброс по энергиям во входном окне, определенный при помощи полупроводникового детектора, имеет величину  $\Delta E_{\text{вх.о.}} = 34$  кэВ. Вклад шумов электроники составлял в случае применения зарядочувствительного предусилителя ORTEC 120-3F величину  $\Delta E_{\text{эл.}} = 33$  кэВ. Причиной большого вклада  $\Delta E_{\text{эл.}}$  в раз-

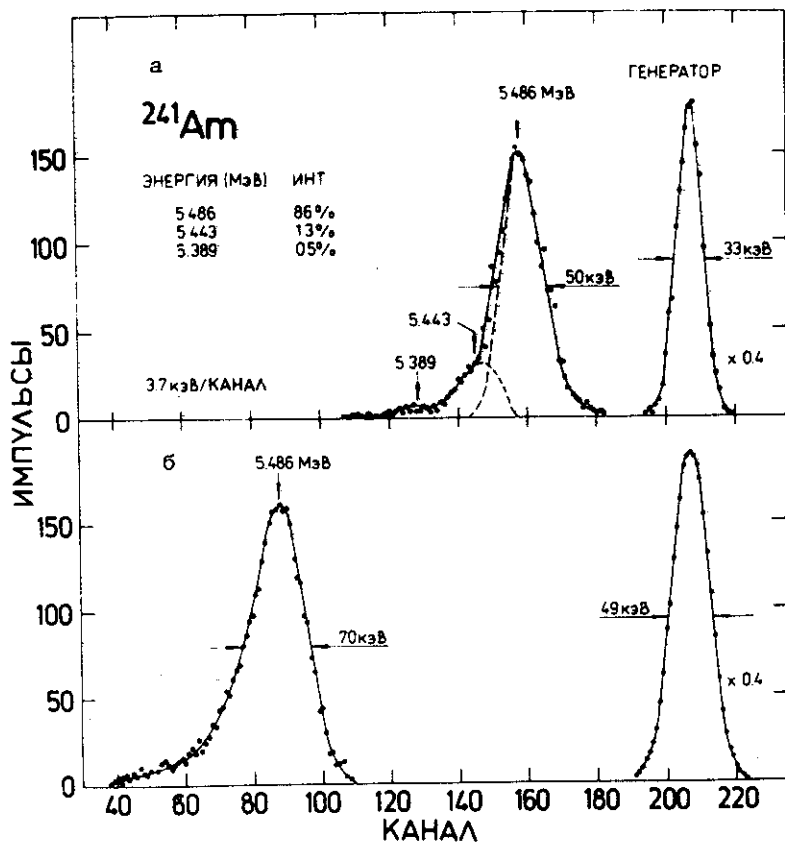


Рис.2. Энергетический спектр  $\alpha$ -частиц источника  $^{241}\text{Am}$ , измеренный при давлении 240 Тор  $\text{CH}_4$ : а/ без ПЛС и КД в ИК; б/ с включенными ПЛС и КД.

решение является большая емкость анода, равная 100 пкФ. Влияние неполного экранирования сеткой /фактор неэффективности  $\sigma = 0,6\%$ / определяется соотношением

$$\Delta E_{\text{э.с.}} = (\Delta E^2 - \Delta E_{\text{вх.о.}}^2 - \Delta E_{\text{эл.}}^2 - \Delta E_{\text{п.и.}}^2)^{1/2},$$

дающим  $\Delta E_{\text{э.с.}} = 10,5$  кэВ, если для статистики образования пар ионов используется величина  $\Delta E_{\text{п.и.}} = 13$  кэВ, полученная Алхазовым /8/.

Детально было изучено влияние координатного детектора на точность определения энергии. Метод определения координаты при помощи КД требует лишь незначительной доли образованных

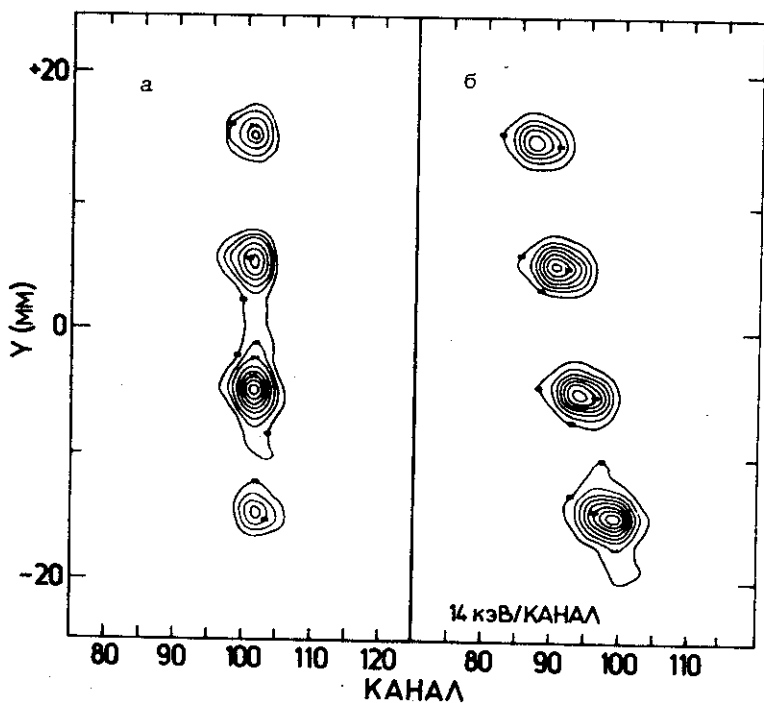


Рис.3. Влияние электрического поля в пространстве под щелью в аноде /см. рис.1/ на зависимость сигнала с анода от координаты  $y$ : а/ в случае однородного поля; б/ в случае неоднородного поля.

проходящей частицей электронов. Оказалось, что приблизительно 2000 электронов достаточно для определения координаты  $x$ . Требуется, однако, хорошая однородность поля над щелью в аноде для того, чтобы потери заряда для всех значений координаты  $y$  были бы одинаковыми. В противном случае амплитуда анодного сигнала зависит от места прохождения частицы. Такой случай представлен на рис.3б. Проблематичной оказалась и высокочастотная экранировка КД от анода. При помощи специальной конструкции экрана /см. рис.1/ был достигнут уровень помех, лежащий ниже уровня шумов анода. Экран, однако, вносит дополнительную емкость анод-земля, увеличивая тем самым вклад  $\Delta E_{эл.}$  в энергетическое разрешение до величины 49 кэВ.

Плоскопараллельный лавинный счетчик, служащий стоп-детектором, помещался непосредственно за входным окном в общем газовом объеме ПЧИК. Этот вариант имеет преимущество в том,

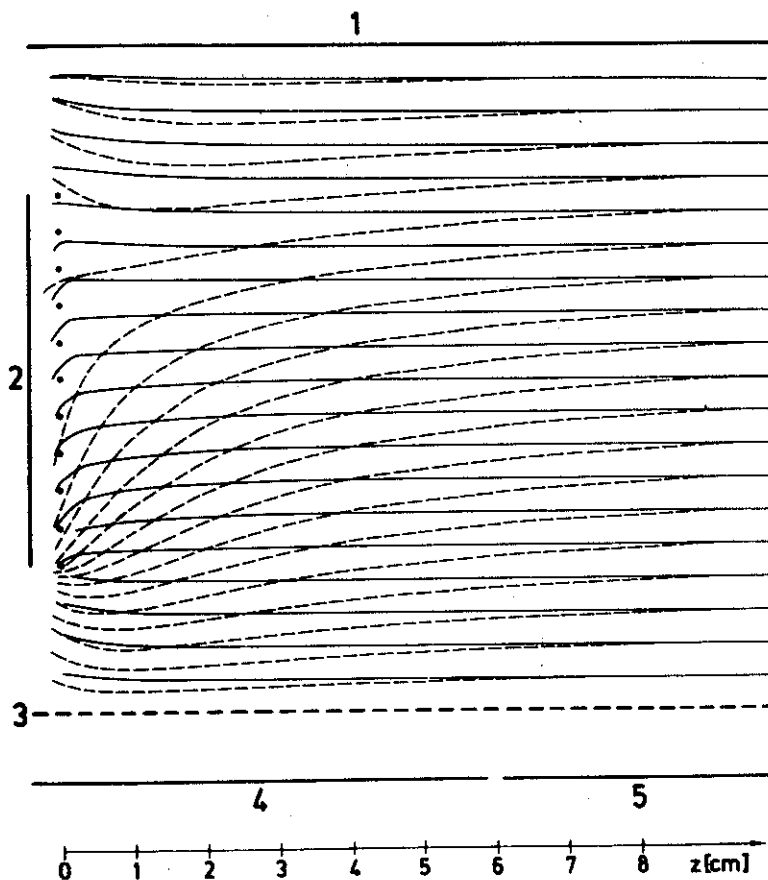


Рис.4. Эквипотенциальные линии в области  $\Delta E$ -участка анода без /---/ и с /—/ корректирующей сеткой. Напряжения на электродах: 1 - катод /-1700 В/; 2 - ППЛС /-1280 В/; 3 - экранирующая сетка /0 В/; 4,5 - анод /+520 В/.

что потери энергии здесь меньше по сравнению с вариантом монтажа перед входным окном, требующим дополнительной отсекающей фольги. Кроме того, не требуется дополнительной системы газообеспечения ППЛС. Недостаток монтажа в объеме ПЧИК состоит в необходимости коррекции поля камеры, искажаемого катодом ППЛС. Для этой цели служит сетка потенциальных проволок, помещенная на расстоянии 1,5 мм за катодом ППЛС. Эффективность



коррекции, очевидно, растет с уменьшением шага намотки, но, с другой стороны, при этом уменьшается прозрачность входной части ПЧИК. На основе расчета поля<sup>9/</sup> выбиралась конфигурация, обеспечивающая однородность поля над щелью в аноде /рис.4/. Отклонения от однородности в глубине  $z \leq 3$  см заметно не влияют на определение энергии и координаты  $x$ . Двумерный спектр энергии-координата  $y$ , представленный на рис.3а, подтверждает результаты расчета. Дополнительный разброс по энергиям, внесенный ППЛС, увеличивает вклад  $\Delta E_{вх.0}$  до величины 47 кэВ. Таким образом, полная ширина линии 5,48 МэВ равна 70 кэВ/рис.2б/.

### 3.2. Измерение координат

Место попадания регистрируемой частицы в ПЧИК определяется путем измерения координаты  $x$  /параллельно плоскости реакции/ и  $y$  /параллельно электрическому полю ПЧИК/. Координата  $x$  измеряется на основе временной задержки сигналов, поступающих с обоих концов линии задержки /ЛЗ/, расположенной за пропорциональной нитью /см. рис.1/.

Принцип измерения основывается на том, что вследствие малой диффузии пространственное распределение электронов меняется незначительно во время их дрейфа к аноду<sup>10/</sup>. Соответственно происходит газовое усиление электронов трека, дрейфующих через щель в аноде в КД, лишь в узкой области около пропорциональной нити. С этого места индуцируется сигнал на ЛЗ, который распространяется вдоль нее со скоростью 22 нс/см. С обоих концов ЛЗ сигналы поступают на быстрые предусилители /ПУ/, имеющие собственное время нарастания сигналов 1,5 нс. Рабочее сопротивление ПУ выбиралось равным волновому сопротивлению ЛЗ  $Z = 1$  кОм с целью предотвращения отражений от концов ЛЗ. Координатный детектор окружается экраном, состоящим из двух изолированных друг от друга частей. Нижняя часть входит в щель анода /см. рис.1/. Ее потенциал должен быть равным или несколько выше потенциала анода, чтобы часть электронов дрейфовала в щель КД к пропорциональной нити. Конденсатором емкости 4 мкФ обеспечивается высокочастотное замыкание экрана относительно земли.

Координата  $y$  получается путем измерения времени дрейфа электронов с места их образования до экранирующей сетки. Из-за постоянства скорости дрейфа в однородном электрическом поле измеренный спектр временных интервалов дает прямое изображение распределения по  $y$  входящих в ПЧИК частиц. Сигналы "Старт" и "Стоп" снимаются с ППЛС и с анода ИК соответственно. Двухмерный спектр координат  $(x,y)$ , снятый с помощью многодырочной диафрагмы, помещенной перед входом ПЧИК, демонстрирует хорошее разрешение камеры относительно обеих координат /рис.5/.

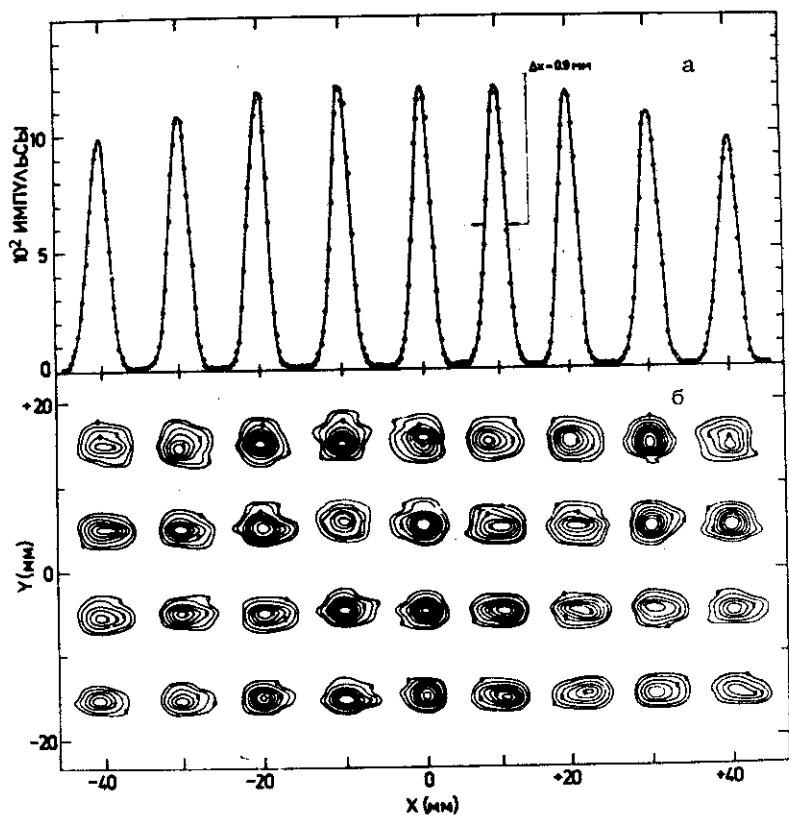


Рис.5. Координатный спектр источника  $\alpha$ -частиц, измененный с помощью многодырочной диафрагмы /расстояние между отверстиями 10 мм, диаметр отверстий равен 2 мм/: а/ одномерный и б/ двумерные спектры координат x,y.

### 3.3. Измерение времени пролета

Определяющим фактором для установления величины давления рабочего газа в ПЧИК является пробег наиболее слабо ионизирующих регистрируемых частиц, который должен укладываться в рабочий объем камеры. Поэтому может возникнуть необходимость работать при давлении вплоть до 60 Тор. Между тем известно, что наилучшее временное разрешение ППЛС достигается при сравнительно малом давлении рабочего газа, равном 5-10 Тор<sup>11</sup>. Поэтому нахождение условий работы ППЛС при более высоких давлениях представляет собой самостоятельный интерес.

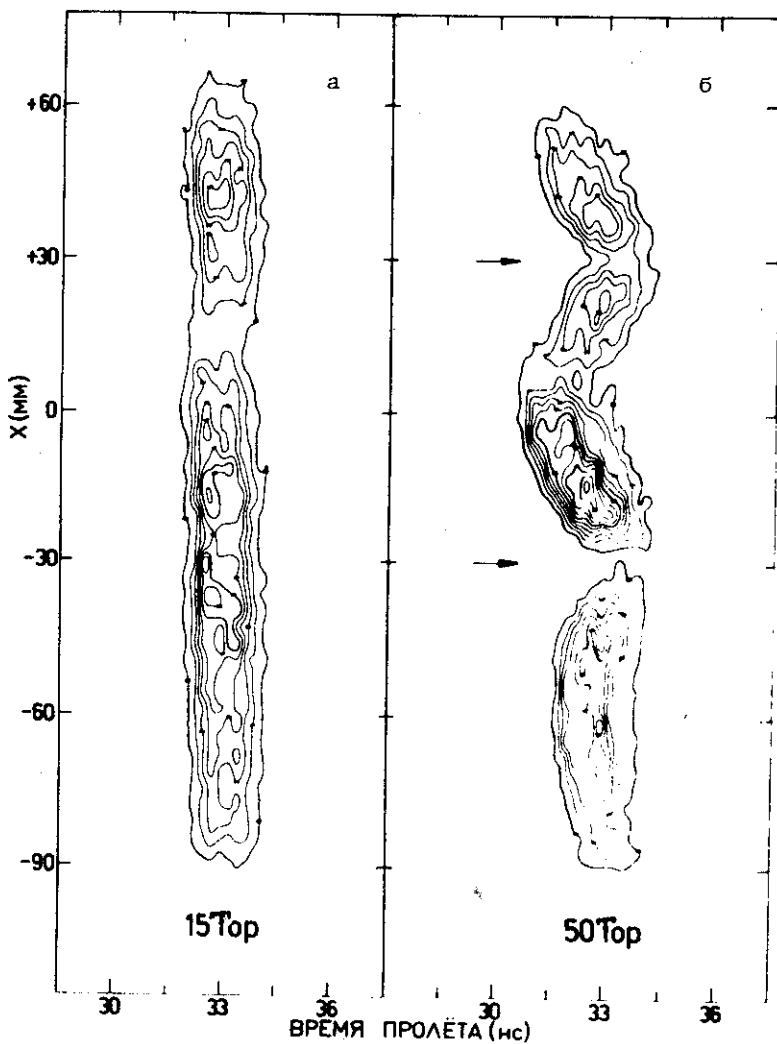


Рис.6. Времяпролетные спектры  $\alpha$ -частиц смешанного источника  $^{241,243}\text{Am}$  в зависимости от координаты  $x$ . Электроды ППДС: 50 мкг см $^{-2}$  формвара и 30 мкг см $^{-2}$  золота: а/ давление паров пентана 15 Тор , б/ 50 Тор . Стрелками указано положение поддерживающих стержней рамки ППДС.

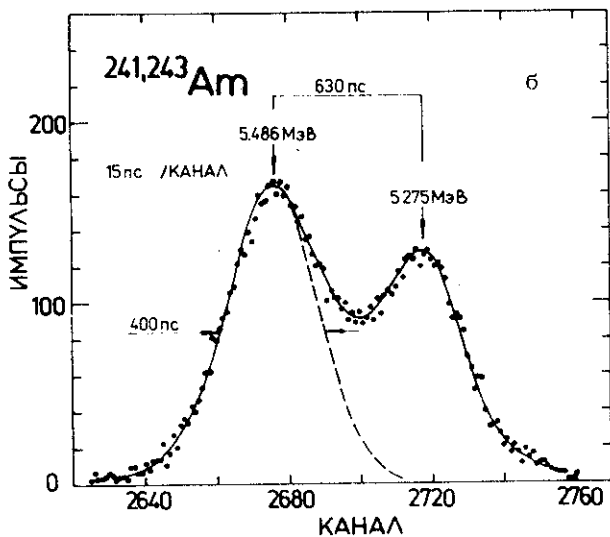
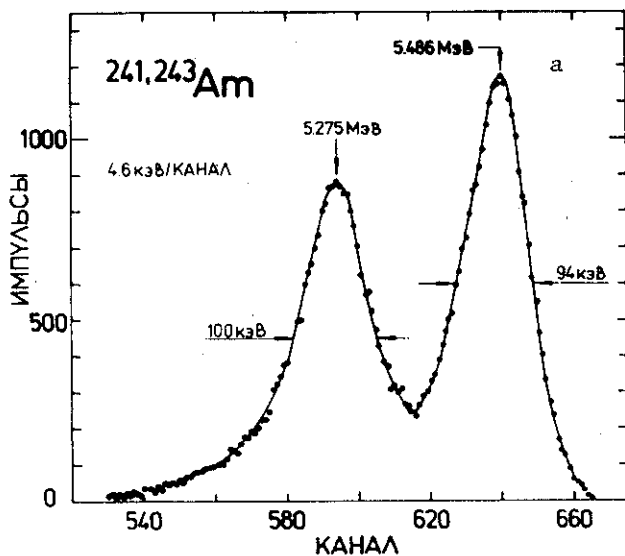


Рис.7. Энергетический /а/ и времяпролетный спектры /б/  $\alpha$ -частиц смешанного источника  $^{241,243}\text{Am}$ . Толщина электродов ППИС  $130 \text{ мкг см}^{-2}$  формвара и  $30 \text{ мкг см}^{-2}$  золота. Рабочий газ: пары пентана,  $p = 50 \text{ Тор}$ , длина пролетной базы  $52 \text{ см}$ .

Электроды ППЛС состоят из фольг формвара, напыленных золотом и имеющих толщину  $50-130 \text{ мкг/см}^2$  в зависимости от режима давления. Электроды на расстоянии  $1,6 \text{ мм}$  наклеиваются на рамки из стеклотекстолита и затем приклеиваются к массивной рамке, гарантирующей необходимую параллельность электродных плоскостей. Временное разрешение ППЛС было определено в результате измерения времени пролета  $\alpha$ -частиц источника, состоящего из смеси  $^{241}\text{Am}$  и  $^{248}\text{Am}$ . Сигнал "Старт" времени пролета вырабатывался детектором вторичных электронов с микроканальными пластинами<sup>/2/</sup>, помещенным в  $5 \text{ см}$  за источником. На рис.6 представлены результаты измерения времени пролета в зависимости от координаты  $x$  при различном давлении рабочего газа в камере. Видно, что при давлении  $50 \text{ Тор}$  начинает сказываться прогиб фольг из-за их электростатического притяжения. Уменьшение расстояния между электродами ППЛС приведет к уменьшению времени дрейфа электронов, ускорится образование электронной лавины и тем самым смещается временная отметка на величину  $1,8 \text{ нс}$ . При скорости дрейфа  $14 \text{ см/мкс}$  для данной величины  $E/p = 160 \text{ В/Тор}^{1/2}$  прогиб фольг составляет  $0,25 \text{ мм}$ . При относительно высоких давлениях и соответствующих им более высоких рабочих напряжениях ППЛС прогиб фольг уменьшается в результате более толстых электродов. Так как прогиб обратно пропорционален третьей степени от толщины фольги<sup>/13/</sup>, то для допустимого смещения временного спектра на  $100 \text{ пкс}$ , соответствующего прогибу  $0,014 \text{ мм}$ , электроды из формвара должны иметь толщину  $130 \text{ мкг/см}^2$  при давлении  $50 \text{ Тор}$ . Повторные опыты с фольгами такой толщины подтвердили данную оценку. Вплоть до давления  $50 \text{ Тор}$  заметного прогиба не наблюдалось. Более того, временное разрешение во всей области давлений оказалось равным  $400 \text{ пкс}$  /рис.7/. С учетом вклада старт-детектора  $/250 \text{ пкс/}$  собственное временное разрешение ППЛС составляет  $300 \text{ пкс}$ . Из этого следует, что даже в случае относительно высокого давления при оптимальной толщине электродов ППЛС имеет хорошие "временные свойства".

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В таблице представлены основные параметры позиционно-чувствительной ионизационной камеры, предназначенной для определения энергии, угла испускания и времени пролета продуктов реакций с тяжелыми ионами. При данной конфигурации диапазон регистрируемых энергий ограничивается значением  $\leq 2 \text{ МэВ/А}$  для продуктов с  $A > 10$ . Этот предел следует из максимально возможного давления рабочего газа в ППЛС, равного  $\approx 50 \text{ Тор}$ . Для измерения более высоких энергий целесообразно отделить ППЛС от ионизационной камеры, чтобы можно было повысить давление в ИК.

## Параметры и свойства ПЧИК

## Входное окно

Размер:  $50 \times 180 \text{ мм}^2$ Фольга: формвар или полипропилен  $50-100 \text{ мкг см}^{-2}$ Поддерживающая сетка: Ni, прозрачность  $\geq 90\%$ 

## Ионизационная камера

Расстояние катод - экранирующая сетка 90 мм

Расстояние экранирующая сетка - анод 11 мм

Глубина 180 мм

Экранирующая сетка Be-Cu-проволока  $\phi = 70 \text{ мкм}$ , параллельно намотанная с шагом 0,5 ммФактор неэффективности  $\sigma = 0,6\%$ 

## Плоскопараллельный лавинный счетчик

Электроды: фольги из формвара  $50-130 \text{ мкг см}^{-2}$  / , напыленныеAu/30-40 мкг см<sup>-2</sup> / ;

Расстояние между электродами: 1,6 мм

## Корректирующая сетка

Стальная проволока  $\phi = 200 \text{ мкм}$ 

Шаг намотки 5 мм

Расстояние от ППЛС 1,5 мм

Общее сопротивление делителя напряжения 170 МОм

## Рабочий газ

Пары пентана ( $C_5H_{12}$ ) при давлении 5-250 Тор

## Напряжения на электродах

Экранирующая сетка:  $U_{э.с.} = 0 \text{ В}$ Анод:  $|U_A| \geq 0,3 |U_K|$ ППЛС:  $U_{\text{ППЛС}} = 640 \text{ В} / p = 10 \text{ Тор} /$  $U_{\text{ППЛС}} = 1800 \text{ В} / p = 50 \text{ Тор} /$ Катод:  $U_K / U_{\text{ППЛС}} = 1,33$ Допустимый интервал  $\Delta U_{\text{ППЛС}} = \pm 100 \text{ В}$  ( $U_K = \text{const}$ )

## Энергетическое разрешение

 $\Delta E/E = 1,3\%$  для  $E_\alpha = 5,5 \text{ МэВ}$ 

## Точность определения места

 $\Delta x \leq 1 \text{ мм}$  $\Delta y \leq 1 \text{ мм}$ 

## Временное разрешение

 $\Delta t = 400 \text{ пкс}$  $\Delta t_{\text{ППЛС}} = 300 \text{ пкс} / \text{вклад ППЛС} /$

Оказалось, что пары пентана могут быть использованы в качестве рабочего газа в обоих детекторах. Относительно малая глубина ИК требует коррекции поля за ППДС, причем достаточная однородность поля достигается лишь при определенном отношении напряжений на катодах ИК и ППДС. Кроме того, для сравнительно неглубоких ИК, как это следует из работы /14/, нельзя определить  $Z$  продуктов с оптимальным разрешением в широком диапазоне энергии. Поэтому в будущем будет создана большая ПЧИК с глубиной ~ 80 см, позволяющая регистрировать частицы с энергиями до 10 МэВ/А.

Авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову и Ю.Ц.Оганесяну за постоянное внимание и поддержку данной работы. Мы благодарны Х.Кепернику, Е.Шустеру, Д.Вальцогу, И.Фидлер и Р.Кирхабаху за помощь в изготовлении отдельных элементов детектора и за участие в их испытаниях, а также Р.Гюнцелу за предоставление программы расчета электростатического поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Harrach D. von, Specht H.J. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 164, p.477.
2. Дмитриев В.Д. и др. ОИЯИ, 7-12290, Дубна, 1979.
3. Дмитриев В.Д. и др. ОИЯИ, 7-13006, Дубна, 1980.
4. Андроненко М.Н. и др. ПТЭ, 1977, №4, с.51.
5. Ruf G. Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 1977.
6. Barrus D.M., Blake R.L. Rev.Sci.Instr., 1977, 48, p.116.
7. Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy (ed. K.Siegbahn). North-Holland Publ.Comp., Amsterdam, 1965, vol.1, p.312.
8. Alkhozov G.D., Komar A.P., Vorobev A.A. Nucl.Instr. and Meth., 1967, 48, p.1.
9. Günzel R. ZfK-372, Rossendorf, 1978.
10. Cheng D.C. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1974, 117, p.157.
11. Stelzer H. Nucl.Instr. and Meth., 1976, 133, p.409.
12. Broesicke M. Diplomarbeit, Universität Heidelberg, 1976.
13. Fischer H. et al. Taschenbuch für Feingerätetechnik, Bd.1, p.514. Verlag Technik, Berlin, 1972.
14. Augustinski G., Sann H., Olmi A. GSI 80-30, Darmstadt, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
18 декабря 1981 года.