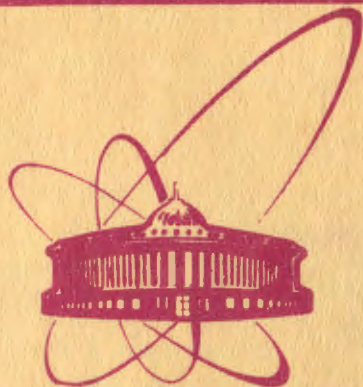


Б - 133



объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
дубна

6442/2-81

P13-81-644

28/11-81

М.Д.Бавижев<sup>1</sup>, Н.К.Булгаков<sup>1</sup>, А.С.Водопьянов,  
И.Войтковска, В.М.Головатюк, З.Гузик,  
Н.И.Зимин, И.М.Иванченко, А.Н.Искаков<sup>2</sup>,  
Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигманов, В.Д.Рябцов,  
И.А.Тяпкин, Н.А.Филатова,  
А.Форыцки, Э.Н.Цыганов

ДРЕЙФОВАЯ КАМЕРА  
СО ВСТРОЕННЫМ КОНВЕРТОРОМ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ВЫЛЕТА  $\gamma$ -КВАНТОВ  
ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОНОВ  
И ПОЗИТРОНОВ

Направлено в журнал "Nuclear Instruments  
and Methods"

<sup>1</sup> Томский политехнический институт.

<sup>2</sup> Казахский государственный университет, Алма-Ата.

1981

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальная установка<sup>1/1</sup> предназначена для изучения характеристик излучения, возникающего при прохождении позитронов и электронов высоких энергий через монокристаллы. Детекторы установки позволяют исследовать энергетический спектр излучения в зависимости от углов входа первичных частиц в мишень. В настоящей работе описывается дополнительно вмонтированная в установку<sup>1/1</sup> дрейфовая камера со встроенным конвертором для измерения угловых распределений  $\gamma$ -квантов, которая регистрирует треки электрон-позитронных пар, образованных в результате конверсии  $\gamma$ -квантов. По координате точки образования  $e^+e^-$ -пары и координате первичной заряженной частицы в мишени определяется угол вылета  $\gamma$ -кванта.

## 2. КОНСТРУКЦИЯ И РАБОТА КАМЕРЫ

Камера представляет собой модификацию разработанных в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ дрейфовых камер<sup>2/2</sup>. Блок состоит из трех дрейфовых плоскостей /рис.1/. Расстояние между сигнальной и потенциальной проволоками составляет 21 мм. Для устранения

лево-правой неопределенности в измерении координат сигнальные проволоки во второй плоскости сдвинуты относительно первой и третьей на 21 мм. Расстояние между катодными плоскостями дрейфового промежутка составляет 6 мм.

В первой дрейфовой плоскости задействованы две сигнальные проволоки, во второй - три, в третьей - четыре. В третьей плоскости на внутренние края несущих рамок токопроводящей краской нанесены

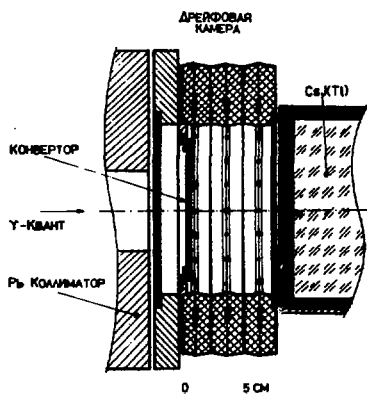


Рис.1. Схема дрейфовой камеры со встроенным конвертором.

электроды. Правильная конфигурация электрического поля вокруг крайней сигнальной проволоочки достигается подачей на эти электроды потенциала +170 В.

Газовая смесь, состоящая из 67,2% аргона, 30,3% изобутана и 2,5% метилалля, была термостабилизирована /24°C±1°C/. Скорость продува блока камер составляла 35 см<sup>3</sup>/мин. Для устранения наводок блок камер был экранирован. Входное и выходное окна экранирующего домика были затянуты алюминизированным лавсаном. Все это позволило уменьшить частоту наводок, которая вместе с собственными шумами проволоочек составила примерно 100 Гц.

Перед детектором располагался свинцовый коллиматор с окном 60х60 мм<sup>2</sup>. За камерой вплотную к ней был расположен  $\gamma$ -спектрометр на основе кристалла CsJ(Tl). Камера и  $\gamma$ -спектрометр были окружены со всех сторон свинцовой защитой и термостабилизированы.

С целью улучшения точности восстановления точки конверсии  $\gamma$ -кванта конвертор был максимально приближен к катодной плоскости первого дрейфового промежутка. В первом варианте конструкции между конвертором и формирующим электродом помещалась тонкая тефлоновая пленка. Однако при этом эффективность срабатывания первой плоскости оказалась около 60%, что объясняется накоплением электрического заряда на поверхности тефлоновой пленки. В рабочем варианте прибора в качестве изолятора использовалась пластина односторонне фольгированного стеклотекстолита толщиной 0,5 мм. В фольге в соответствии с шагом намотки катодных проволоочек 2 мм были сделаны прорезы шириной около 0,5 мм. Конвертор с приклеенной к нему пластиной из стеклотекстолита был установлен так, что катодные проволоки касались полосок фольги. Исследования показали, что наличие встроенного конвертора такой конфигурации не сказалось на зависимости эффективности первого промежутка от анодного и катодного напряжений.

Конвертор был достаточно тонким, для того чтобы не ухудшать энергетического разрешения  $\gamma$ -детектора вследствие радиационных потерь энергии частицами пары, а также для того, чтобы предотвратить развитие электромагнитного ливня. В то же время конвертор должен был обеспечить достаточную эффективность регистрации  $\gamma$ -квантов. В эксперименте использовался медный конвертор толщиной 0,064 радиационной длины. При этой толщине конвертора вероятности рождения пары для  $\gamma$ -квантов в интервале энергий 25÷50 МэВ; 50÷75 МэВ; 75÷100 МэВ; 100 МэВ и выше составляют около 3%; 3,5%; 3,8% и 4% соответственно.

С каждой сигнальной проволоки регистрировались два сигнала. Первый с усилителя-формирователя<sup>3/</sup> посылался на время-цифровой преобразователь непосредственно, второй сигнал поступал на другой время-цифровой преобразователь через распределитель импульсов, который приводился в исходное состояние сигналом запуска установки.

Для проверки эффективности сбора заряда первичной ионизации в камере было измерено энергетическое разрешение каждой проволочки по всей длине дрейфового промежутка от  $\gamma$ -источника  $^{55}\text{Fe}$ . Энергетическое разрешение для линии 5,8 кэВ при анодном напряжении 1,3 кВ во всех плоскостях оказалось равным около 25%, что свидетельствовало о достаточно хорошей эффективности сбора заряда.

### 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

С целью определения эффективности и точности восстановления координаты образования  $e^+e^-$ -пары было проведено моделирование работы прибора методом Монте-Карло.

Число  $\gamma$ -квантов в зависимости от энергии  $E_\gamma$  моделировалось по закону  $E_\gamma^{-1}$  в интервале  $10 \div 10000$  МэВ. Входной угол  $\gamma$ -кванта в конвертор полагался равным нулю, координата имитировалась по нормальному распределению, приблизительно совпадающему с аналогичным распределением в эксперименте. Точка конверсии выбиралась равновероятно по толщине медной пластины, а вероятность образования  $e^+e^-$ -пары была принята равной единице. Энергия электрона /позитрона/ определялась по формуле дифференциального сечения образования пары фотоном в поле ядра с учетом экранирования.

Траектории электрона и позитрона внутри блока камер прослеживались с учетом их многократного рассеяния в конверторе и в веществе камеры, при этом учитывались потери энергии частиц на ионизацию. Координаты частиц определялись с учетом координатного разрешения камер, которое было принято равным  $60 \text{ мкм}^2$ . Для регистрации ближайшего к сигнальной нити трека эффективность срабатывания была принята равной 0,98, следующего - 0,95, что приблизительно соответствует реальным условиям в эксперименте. Регистрация одной сигнальной проволочкой второго трека производилась с учетом двухтрекового разрешения, определяемого в основном мертвым временем усилителя-формирователя, которое было принято равным 42 нс.

Координаты вместе с некоторыми другими характеристиками моделированного события, такими, как энергия первичных  $\gamma$ -квантов, истинная координата точки конверсии, угол между треками электрона и позитрона в камере, записывались на магнитную ленту. Затем моделированные события обрабатывались программой геометрической реконструкции, созданной для анализа экспериментальных данных. Эта программа производила поиск треков по координатам, зарегистрированным в дрейфовой камере, и реконструкцию электрон-позитронных "вилок". "Вилкой" называлась либо комбинация двух треков, пересекающихся в области конвертора,

чения  $\tau_{\text{дц}}$  для различных значений параметра  $\ell_c = L_c/R_1$ , где  $L_c$  - длина световода. Для величины коэффициента диффузного отражения  $\rho = 0,94$  /краска/ имеем соответственно при  $\ell_c = 0,5; 1,15; 2,1$   $\tau_{\text{дц}} = 0,47; 0,41; 0,35$ .

При этом  $\tau_{\text{док}}$  выразится в виде

$$\tau_{\text{док}} > \frac{R_2^2}{R_1^2} \left[ 1 + \left( 1 - \frac{R_2^2}{R_1^2} \right) \tau_{\text{дц}} \right]. \quad /8/$$

Величина  $\tau_{\text{док}}$ , соответствующая равенству в выражении /8/, вычисленная при условии  $L_c < 1,5R_1$ , представлена на рис.2 кривыми 3.

### 2.3. Пропускание света другими световодами

На рис.2 представлен коэффициент пропускания конусного световода с зеркальной поверхностью, имеющей отражательную способность 0,8 для диапазона  $R_1 < L_c < 3R_1$  /кривые 4/.

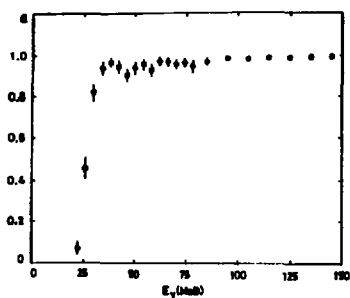
Кривая 5 /рис.2/ иллюстрирует пропускание света конусным световодом с ПВО при условии  $L_c > R_1$ . Расчет кривых 4 и 5 /рис.2/ произведен с использованием результатов, полученных в работе /1/. Коэффициент пропускания вычислен для данного счетчика при  $n_1 = 1,333$  /вода/. Для сравнения приводится также кривая 1 /рис.2/, иллюстрирующая светособирание при работе на прямом свете, когда коэффициент собирания равен отношению площади фотокатода к площади поперечного сечения сцинтиллятора.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчетов описаны в основном выше. Для сравнения с экспериментом /3/ методом численного интегрирования рассчитывался коэффициент пропускания света цилиндрической частью счетчика, равной по площади поперечного сечения счетчику, использованному в /3/. Длина поглощения света в жидком сцинтилляторе на основе толуола, согласно данным авторов работы /3/, была равна 4 м, толщина лавсановой пленки - 50 мкм, длина счетчика - 1,3 м, эквивалентный радиус - 5,6 см. Рис.3 иллюстрирует хорошее согласие расчета с экспериментом.

Результаты измерений с помощью спектрофотометра поглощения света в материале лавсановой пленки толщиной 100 мкм представлены на рис.4.

В заключение в качестве примера использования полученных результатов найдем долю света, достигающего фотокатода, в частном случае  $R_1 = 25$  см,  $R_2 = 7,5$  см для счетчика длиной 10 м на



**Рис. 4.** Зависимость эффективности восстановления точек конверсии  $\epsilon$  от энергии  $\gamma$ -кванта  $E_\gamma$ .

точек конверсий, существенно отличающиеся от "истинных". Доля событий, в которых эти различия выходят за пределы пяти стандартных отклонений, составляет около 4%. Этот факт может быть объяснен рассеянием частиц низких энергий в конверторе и на проволочках внутри камеры.

Проведенные исследования зависимости эффективности восстановления "вилок" от координат  $\gamma$ -квантов в конверторе показали, что во всей рабочей области конвертора эффективность практически остается постоянной.

Эффективность восстановления "вилок" в зависимости от энергии  $E_\gamma$  была исследована с учетом регистрации  $\gamma$ -спектрометром частиц пары. Событие считалось зарегистрированным, если суммарная энергия электрона и позитрона после ионизационных потерь энергии частицами в конверторе и в передней стенке  $\gamma$ -спектрометра превышала пороговое значение, равное 10 МэВ. На рис. 4 представлена зависимость эффективности от энергии первичного  $\gamma$ -кванта. Эффективность для гамма-квантов с энергией 10÷20 МэВ равна нулю, что связано со сравнительно большими ионизационными потерями энергии в стенке спектрометра /железо - 2 мм, порошок MgO - 8 мм/ - около 8 МэВ на частицу. В интервале энергий  $\gamma$ -квантов 20÷36 МэВ эффективность растет от нуля до 94%. Эта область характеризуется тем, что с ростом энергии увеличивается вероятность передачи достаточной для регистрации энергии одной частице. Свыше 36 МэВ эффект порога регистрации практически уже не сказывается, и вся остающаяся неэффективность обусловлена несовершенством программы восстановления "вилок". При энергиях гамма-квантов около 100 МэВ и выше эффективность остается постоянной и составляет около 99%.

В таблице приведены результаты исследования влияния образования электрон-позитронных пар на энергетическое разрешение  $\gamma$ -спектрометра. Расчеты выполнены для первичных энергий гамма-квантов в диапазоне энергий от 25 до 1000 МэВ. Величина  $\delta E_\gamma$  представляет собой оценку энергетического разрешения спектрометра для  $\gamma$ -квантов  $1/\sqrt{2}$ ,  $E_{e^\pm} \pm \delta E_{e^\pm}$  - энергия, вносимая  $e^+e^-$ -частицами в спектрометр, и ее среднеквадратичный разброс соответственно. Из таблицы видно, что суммарная энергия заряженных частиц меньше  $E_\gamma$  в среднем приблизительно на 18 МэВ. Энергетическое раз-

Таблица

$E_{\gamma}$ , МэВ	$\delta E_{\gamma}$ , МэВ	$E_{e^{\pm}}$ , МэВ	$\delta E_{e^{\pm}}$ , МэВ
25	0,4	9,5	2,7
50	0,8	32,8	2,0
100	1,3	82,4	1,9
200	2,1	182,2	2,4
400	3,6	382,0	3,7
1000	7,1	981,8	7,1

$\delta E_{\gamma}$  и  $\delta E_{e^{\pm}}$  - среднеквадратичные отклонения.

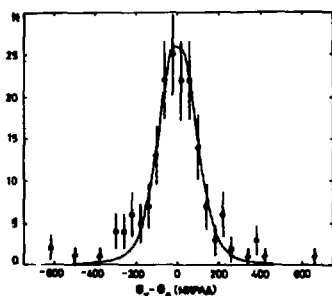


Рис.5. Распределение вертикальной проекции углов тормозных  $\gamma$ -квантов, излученных электронами с импульсом 10 ГэВ/с в алюминиевой мишени толщиной 0,9 мм.

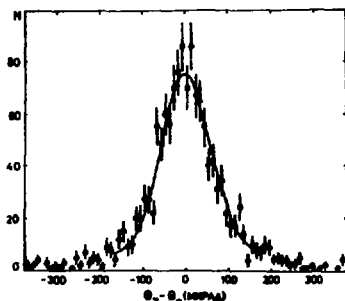


Рис.6. Распределение вертикальной проекции углов  $\gamma$ -квантов, излученных в кремниевой мишени толщиной 50 мкм. Сплошная кривая - фит экспериментальных данных нормальным распределением.

решение для частиц пары при энергии первичных фотонов 25, 50 и 100 МэВ несколько хуже, чем разрешение спектрометра для  $\gamma$ -квантов. При энергиях выше 100 МэВ ионизационные потери частиц практически не влияют на энергетическое разрешение прибора.

Рис.5 и 6 иллюстрируют результаты измерений угловых распределений  $\gamma$ -квантов в Al толщиной 0,9 мм и Si толщиной 0,05 мм соответственно, полученные на монохроматическом пучке электронов с импульсом 10 ГэВ/с с помощью описанной дрейфовой камеры. Кремниевая пластина была ориентирована кристаллографической осью  $\langle 111 \rangle$  к пучку. Сплошная линия на рис.5 представляет вычис-

ленное угловое распределение  $\gamma$ -квантов в  $Al^{27}$  с учетом /методом Монте-Карло/ многократного рассеяния электронов. Среднеквадратичное отклонение для теоретически полученной кривой составляет 112 мкрад, стандартное отклонение для экспериментальных данных, аппроксимированных нормальным распределением, равно  $108 \pm 8$  мкрад. Среднеквадратичное значение углов вылета  $\gamma$ -квантов для кремниевого образца /рис.6/ составляет  $56 \pm 3$  мкрад.

В заключение авторы выражают благодарность за содействие и помощь в работе Г.А.Варгзнову, Е.М.Лейкину, В.С.Малофееву, А.А.Олейнику, В.В.Пальчику, М.Д.Шаfranову, Б.А.Юрьеву.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Filatova N.A. et al. FERMILAB-PUB-81/34-EXP., Batavia, 1981.
2. Filatova N.A. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1977, 143, p.17; Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P13-9351, Дубна, 1975.
3. Guzik Z. FERMILAB, FN-301, Batavia, 1976.
4. Schiff L.I. Phys.Rev., 1951, 83, p.2.

Рукопись поступила в издательский отдел  
19 октября 1981 года.