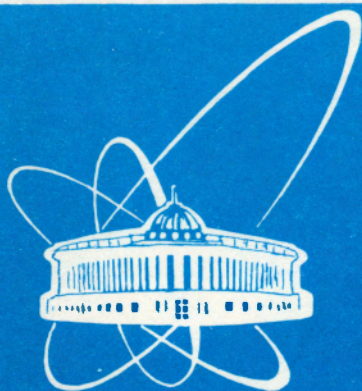


98-271



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-271

P13-98-271

Р.А.Астабатьян, В.Н.Бычков, А.Б.Иванов, Г.Д.Кекелидзе,
С.П.Лобастов, В.М.Лысан, С.В.Муравьев*,
В.Д.Пешехонов, В.А.Самсонов, В.И.Шокин

ОДНОМЕРНЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ СЧЕТЧИК
НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ДРЕЙФОВЫХ
ТРУБОК ДЛЯ МАЛОУГЛОВЫХ
ДИФРАКЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Направлено в журнал «Приборы и техника эксперимента»

*Физический институт Российской академии наук, Москва

1998

Введение

Дифрактометры для биологических исследований на основе проволочных газовых камер наиболее полно удовлетворяют основным требованиям дифракционных экспериментов: высокой квантовой эффективности, хорошего пространственного разрешения, максимального быстродействия, низких уровней шумов [1,2]. Одним из наиболее перспективных детектирующих устройств такого типа представляется дифрактометр на основе тонкопленочных дрейфовых трубок (ТДТ) с катодным считыванием информации. Перечислим основные характеристики таких детекторов [3÷5]:

1. Собственное быстродействие не менее 10^7 1/с, быстродействие дифрактометра при этом будет ограничиваться возможностью быстрого преобразования и передачи аналоговых сигналов в ЭВМ.

2. Пространственное разрешение порядка 100 мкм с высоким отношением последнего к линейным размерам детектора, достигающее значений 10^4 и более.

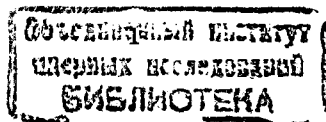
3. Практическое отсутствие темнового шума в диапазоне регистрируемых фотонов 3 - 20 кэВ . . .

4. Способность работы в широком диапазоне давлений, что с использованием газовой смеси на основе Хе позволяет достичь предельно высокого значения квантовой эффективности.

5. Простота и надежность эксплуатации, связанная с дискретностью элементов, составляющих дифрактометр.

6. Кроме этого, детекторы на основе ТДТ высокого давления дают возможность построения дифрактометров с малой толщиной и, следовательно, с меньшим искажением изображений, связанным с параллаксом.

В работе [6] показана возможность создания планарного детектора на основе ТДТ с катодным считыванием. Целью настоящей работы является разработка и исследование прототипа одномерного линейного счетчика для биологических исследований, измерения основных характеристик детектора.



Счетчик и экспериментальная установка

Конструкция счетчика показана на рис. 1. Счетчик состоит из двух соосных, вложенных друг в друга ТДТ: внутренней трубки диаметром 10 мм с резистивным катодным покрытием 70 кОм/см^2 и внешней трубки для съема катодных сигналов, состоящей из ортогональных кольцевых стрипов с напыленным медным покрытием. Ширина стрипов 5 мм, расстояние между ними 0,5 мм. Диаметр анодной проволоочки 20 мкм. Каждый стрип распаивался на шину, соединенную с соответствующим входом предусилителей, размещенных в едином боксе счетчика. На анодную проволоочку подается высоковольтное питание от 1,5 до 3,0 кВ.

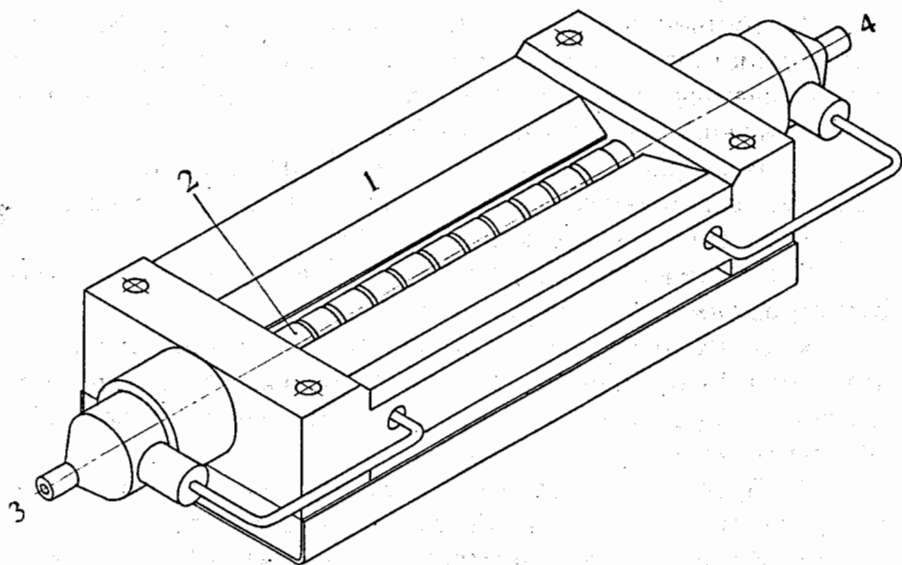


Рис. 1. Схематический разрез счетчика:

(1) - корпус; (2) - ТДТ со стрипами; (3, 4) - газопроводы вход и выход

Отметим несоответствие на рис. 1, 3 приведенных общих размеров счетчика с количеством катодных стрипов.

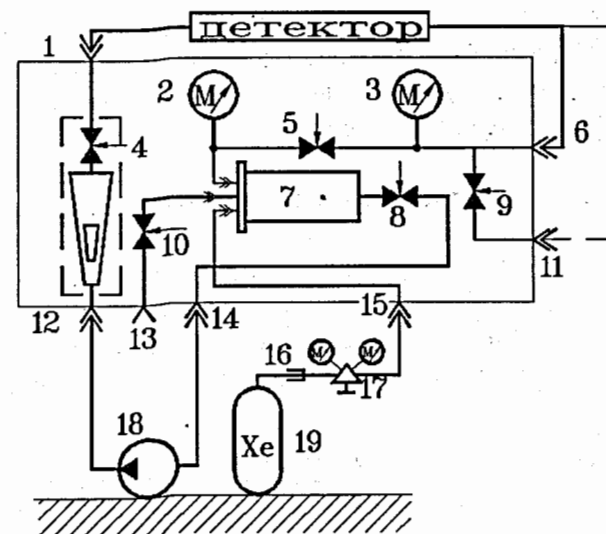


Рис. 2. Блок-схема газопроводной установки:

(1, 6) - разъемы детектора; (2, 3) - газопроводы; (4, 5, 8 - 10) - газопроводные вентили; (7) - блок для смешивания и очистки газов; (11) - сброс газа; (12, 14) - разъемы циркуляционного насоса; (13) - разъемы вакуумного насоса; (15) - подключение газового баллона, (16) - баллонный вентиль; (17) - газовый редуктор, (18) - циркуляционный насос; (19) - газовый баллон

Это сделано специально для более наглядного представления основного узла счетчика - дрейфовой трубки с напыленными катодными стрипами. Конструктивные особенности и технология изготовления ТДТ позволяют использовать газовые смеси под давлением до 10 атм. Счетчик продувался смесью Ar/CH_4 и Xe/CO_2 с номинальной скоростью продува 0,3 л/час во всем диапазоне давлений газовой смеси. Для организации замкнутого цикла продува с очисткой газа и точной установкой давления в счетчике был разработан и изготовлен газовый стенд, блок-схема которого приведена на рис. 2. Разовая

заправка в объем 3 л рабочей газовой смеси обеспечивает стабильную работу счетчика в течение нескольких суток без существенного ухудшения энергетического и пространственного разрешения.

Измерительная аппаратура

Для получения координатной информации регистрировались заряды, индуцированные на катодных стрипах счетчика. Блок-схема измерительной аппаратуры показана на рис. 3. Она включает катодные и анодные предусилители,

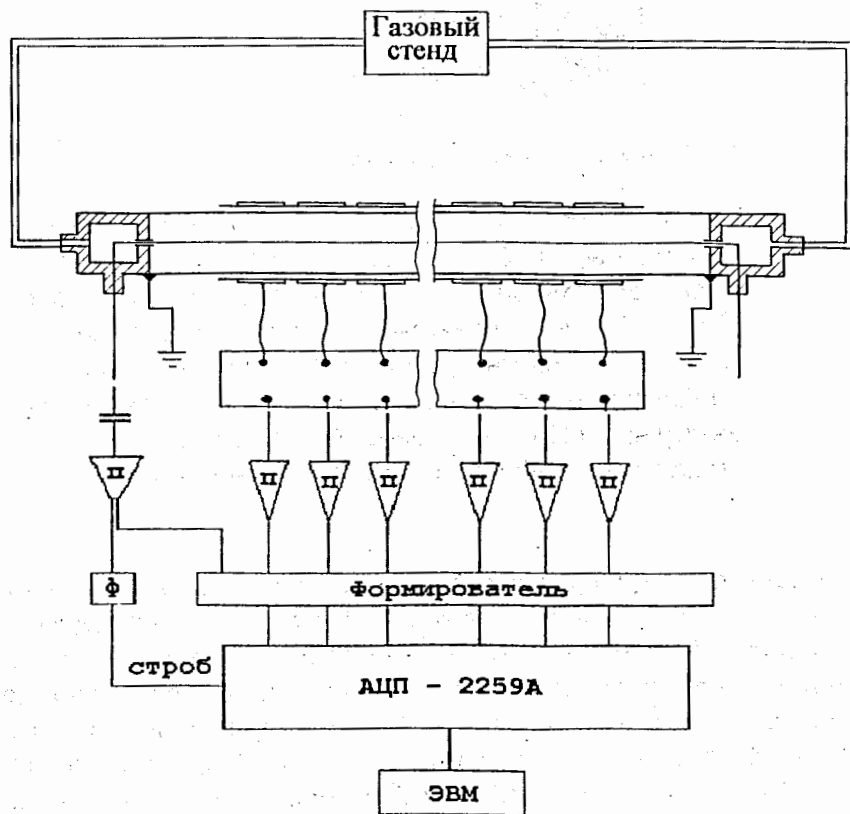


Рис. 3. Блок-схема электронной аппаратуры

сигналы с которых ленточными кабелями поступают на усилители - формирователи и блоки амплитудного кодирования (ADC-2259A), размещенные в крейте КАМАК. Предусилители - однотипные, токовые, с коэффициентом преобразования 7 мВ/мкА, с входным сопротивлением 300 Ом. Время нарастания - 9 нс. Анодный сигнал использовался для анализа режимов работы счетчика и формирования необходимых сигналов управления. При поступлении стробирующего сигнала, формируемого от анодного импульса, регистрировались и анализировались одновременно сигналы с анода и 10-ти катодных стрипов. Необходимо отметить, что использованный при измерениях преобразователь 2259A ограничивал быстродействие прототипа на уровне 10^4 1/с из-за большого времени преобразования, равного 100 мкс. Очевидно, что в реальном дифрактометре необходимо обеспечить преобразование сигналов на уровне 100 нс с последующей записью в буфер и передачу на ЭВМ, что является стандартной процедурой для современной электронной аппаратуры.

Методика обработки

Обработка информации после сортировки проводилась в следующей последовательности: пересчет код → заряд, согласно данным калировки электронного тракта; нахождение центрального стрипа; восстановление центра тяжести заряда согласно выражению [7]

$$X_c = a \frac{Q_R - Q_L}{Q_R + Q_m + Q_L}$$

(где a - размер стрипа; Q_m , Q_L , Q_R - заряды на центральном, левом и правом от центрального стрипа соответственно); корректировка центра тяжести заряда по корректирующим коэффициентам, полученным при равномерной засветке счетчика [8]:

$$X_a = a \left[\int_{-a/2}^{a/2} f(x) dx / \int_{-a/2}^{a/2} f(x) dx - 0.5 \right]$$

При этом, для сшивки всех стриповых промежутков и восстановления истинной координаты, реальная длина промежутка приводилась в соответствие (нормировалась) с общим числом событий на каждом из стрипов, полученным при равномерной засветке счетчика. Геометрические размеры каждого стрипа трансформировались согласно выражению $a_i = (N_i / \sum N_i) L_{tot}$, где a_i - трансформированный размер i -ого стрипа, L_{tot} - общая длина рассматриваемых стрипов, N_i - число событий в i -ом промежутке, полученном при равномерной засветке счетчика. Таким образом уточнялись и усреднялись как геометрический разброс размеров стрипов, так и возможные неточности калибровок.

Результаты измерений

Все измерения проводились при облучении счетчика изотопом ^{55}Fe или рентгеновской трубкой (CuK_α). Основные измерения проводились при наполнении счетчика газовой смесью $\text{Ar} + 20\% \text{CH}_4$ при $P_1 = 1$ атм и $P_2 = 4$ атм и пяти фиксированных режимах по газовому усилению в диапазоне $10^3 - 2 \cdot 10^4$. Часть измерений была проведена с газовой смесью $\text{Xe} + 20\% \text{CO}_2$ в качестве контрольных, так как смесь на основе Xe является основной для дифракционных экспериментов. Подбор соответствующего режима проводился по центру тяжести анодных распределений. Проводились два типа измерений:

1. С коллимированным источником фотонов, выбором оптимальной ширины коллимации на счетчике, эквивалентной 40 - 60 мкм, минимально искажающей измеряемое пространственное разрешение. Номинальное значение последнего принималось равным 100 мкм. На рис.4 приведены данные одного из таких измерений - распределения сигналов от анода и трех ближайших к фотонному пучку стрипов - когда коллиматор был выставлен на центр стрипа. Во всех проведенных нами измерениях энергетическое разрешение для сигналов с анода и трех ближайших стрипов составляло 18 - 25 % (FWHM).

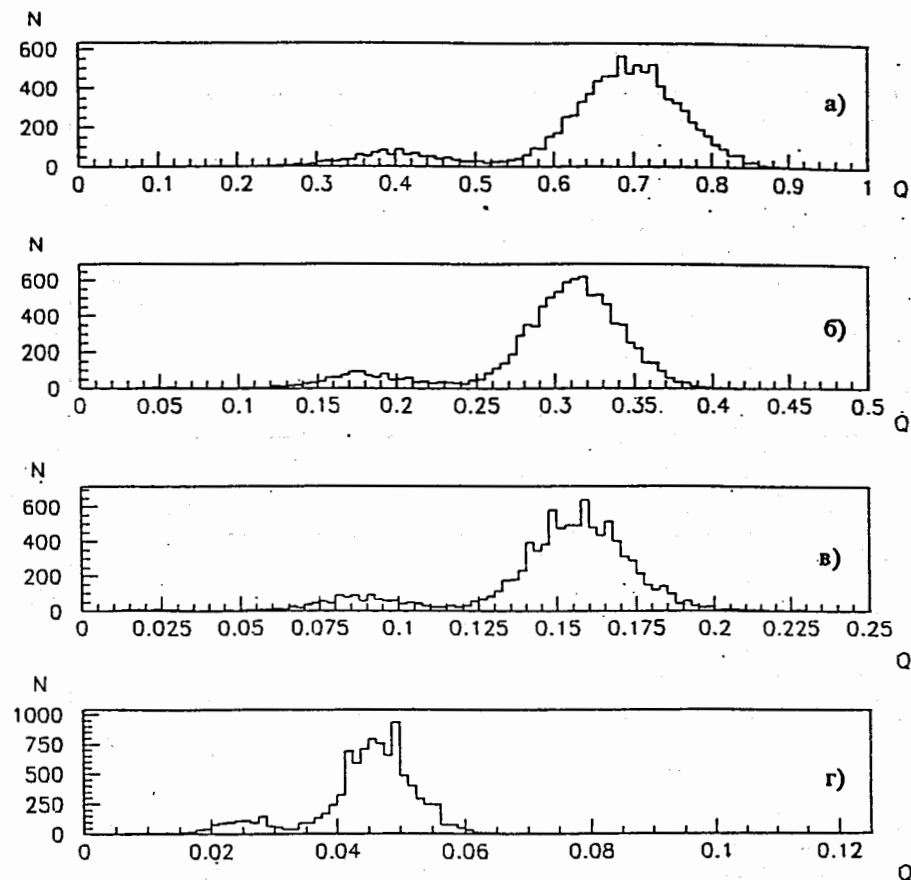


Рис. 4. Распределение сигналов с анода (а) и трех ближайших к коллимированному пучку стрипов (б), (в), (г)

2. С равномерной засветкой счетчика. При этом равномерность засветки десяти просматриваемых АЦП стрипов (относительная разница потоков поглотившихся фотонов в центре и по краю засветки) не превышала доли процента. На рис. 5 даны распределения сигналов на стрипе при равномерной засветке без отбора (а) и с отбором (б) стрипа, в промежутке которого поглощаются фотоны.

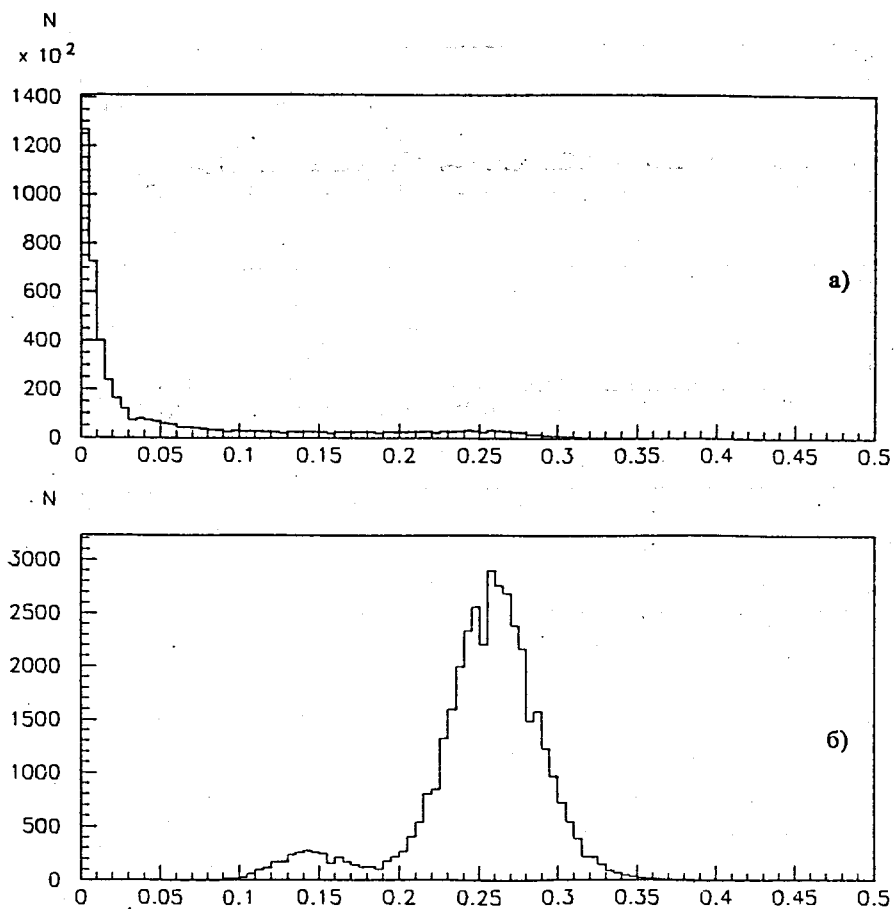


Рис. 5. Распределение сигналов на стрипе при равномерном облучении счетчика без отбора (а) и с отбором (б) событий по центральному стрипу

Спектры, приведенные на рис. 4, 5, даны с пересчетом код-заряд, поэтому оси X приведены в относительных единицах Q. Из таких данных легко получить коэффициент прозрачности прохождения катодного сигнала на стрипы λ как отношение суммы средних значений сигналов со стрипов к среднему значению сигналов с анода. Эта величина для всех

измерений была равной $\lambda \approx 80\%$. Такое высокое значение прозрачности прохождения катодного сигнала на стрипы позволяет достичь хорошего отношения сигнал/шум уже при газовом усилении 10^3 . Из данных, типа приведенных на рис. 4, 5, можно также получить распределения зарядов по стрипам, причем данные по равномерной засветке позволяют отбором областей вдоль стриповых промежутков (формируя узкий пучок при обработке) получить распределения зарядов по стрипам вдоль длины анодной проволоки. На рис. 6 приведены эти распределения для центральной области стрипов (а) и на границе между ними (б) при двух разных режимах по газовому усилению. Эти результаты согласуются с результатами компьютерного моделирования расчетных форм сигналов с анода и трех ближайших стрипов, приведенных на рис. 7. Расчеты проводились по модели резистивного электрода со стрипами и с одиннадцатью генераторами токов [8].

Одной из величин, характеризующей пространственную точность при катодном считывании, является отношение сигнал/шум. Оценим вклад последнего в измеряемое пространственное разрешение. Согласно вышеприведенному соотношению для центра тяжести заряда, имеем следующее выражение для среднеквадратичного значения вклада шумовой дорожки регистрирующего тракта в измеряемое пространственное разрешение

$$\sigma_o = a \frac{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}}{Q_o}$$

где $Q_o = Q_L + Q_M + Q_R \approx \text{const}$, а σ_R и σ_L - среднеквадратичные отклонения распределений пьедесталов регистрирующего тракта. Определим $R = \frac{Q_o}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}}$ как отношение сигнал/шум.

На рис. 8 отложена пространственная точность $\sigma = \sqrt{\sigma_o^2 + \sigma_a^2}$ как функция отношения сигнал/шум, а σ_o - собственное разрешение счетчика, которое принято равным 100 мкм. Из

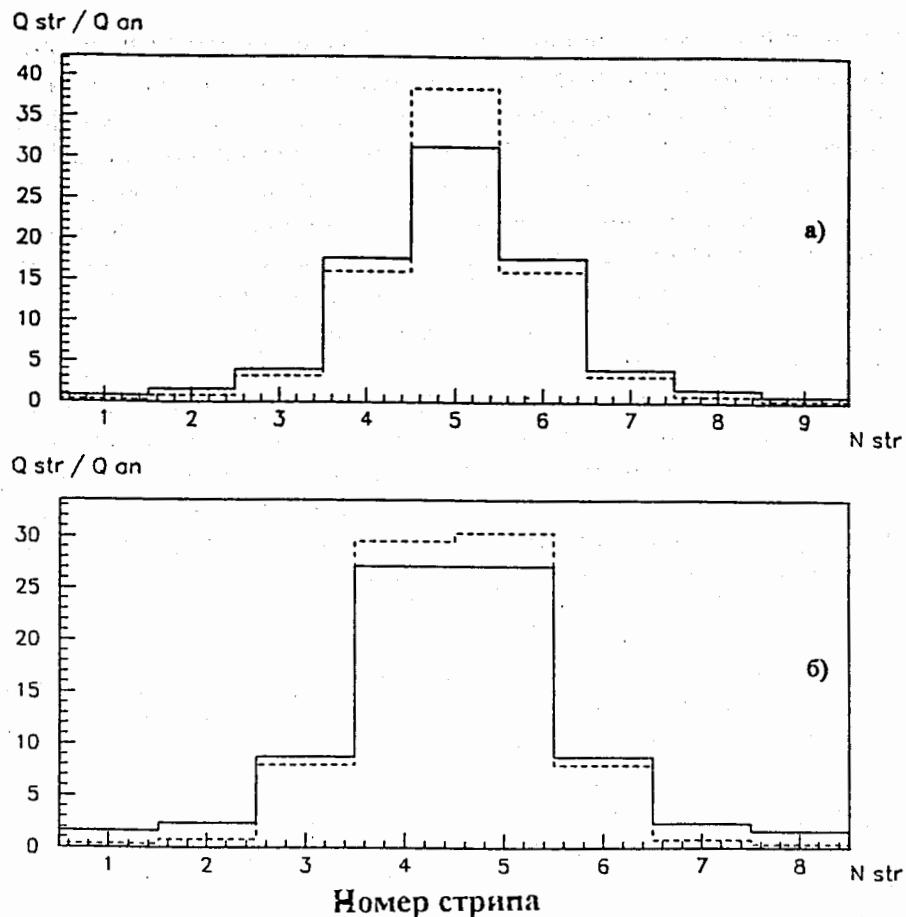


Рис. 6. Распределения сигналов на стрипах при поглощении фотонов в центральной области стрипа (а) и на границе между стрипами (б) для двух режимов по газовому усилению 10^4 (сплошная линия) и 10^3 (пунктирная линия)

рис. 8 можно оценить минимальное отношение сигнал/шум для выбранного σ_0 , не искажающее еще измеряемое значение разрешения счетчика. Вертикальной линией на графике обозначена граница, по правую сторону от которой проведены все наши измерения.

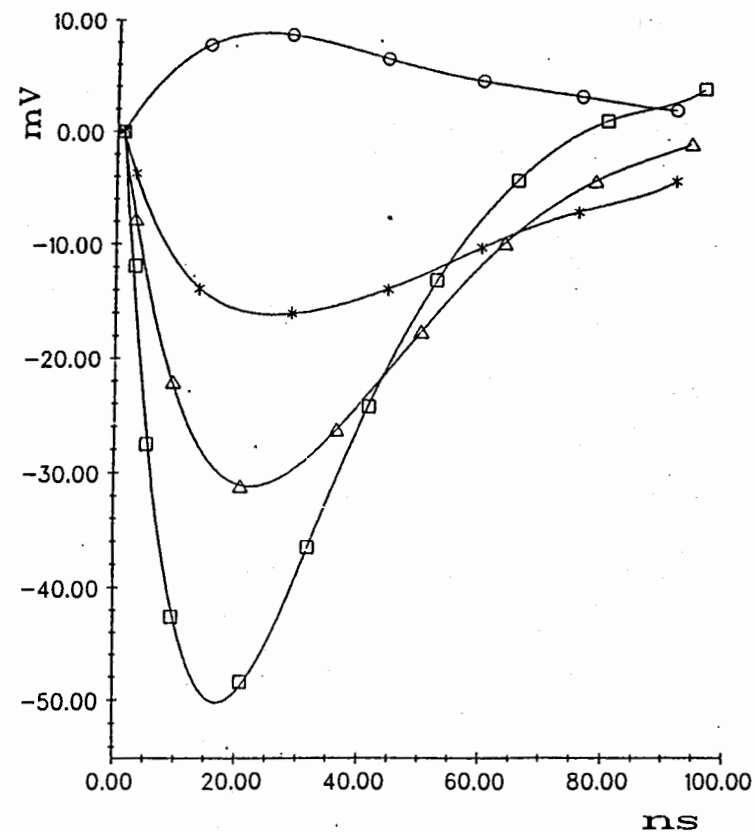


Рис. 7. Результаты расчетов формы сигналов с анода (верхняя кривая) и с трех ближайших стрипов. Величина сигнала с анода уменьшена в двадцать раз

На рис. 9 представлено измеренное координатное разрешение счетчика в зависимости от газового усиления. Отчетливо просматривается характерный спад для всех кривых в области малых значений сигнал/шум. Из рисунка следует, что координатная точность $\sigma \approx 80$ мкм легко достигается вдоль всего стрипового промежутка в области пропорционального режима работы счетчика 10^4 , с отношением сигнал/шум, не искажающим собственное разрешение счетчика.

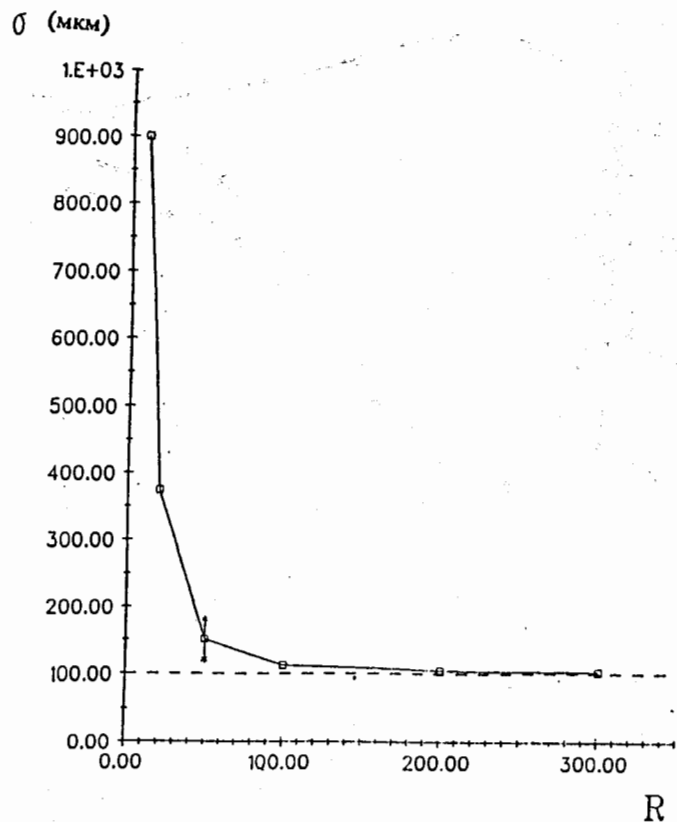


Рис. 8. Зависимость измеренного разрешения от отношения сигнал/шум

Существенных отличий координатного разрешения в зависимости от газовой смеси и давления практически не наблюдается. Для оценки предельного разрешения счетчика была проведена тщательная юстировка коллиматора, обеспечивающая его ортогональность относительно счетчика. Полученное при этом предельное разрешение иллюстрирует рис. 10. По оси X этого рисунка отложены в мкм позиции коллимированного пучка фотонов в пределах одного стрипа. Перемещение коллиматора с источником осуществлялось посредством микрометрического винта. Крайние

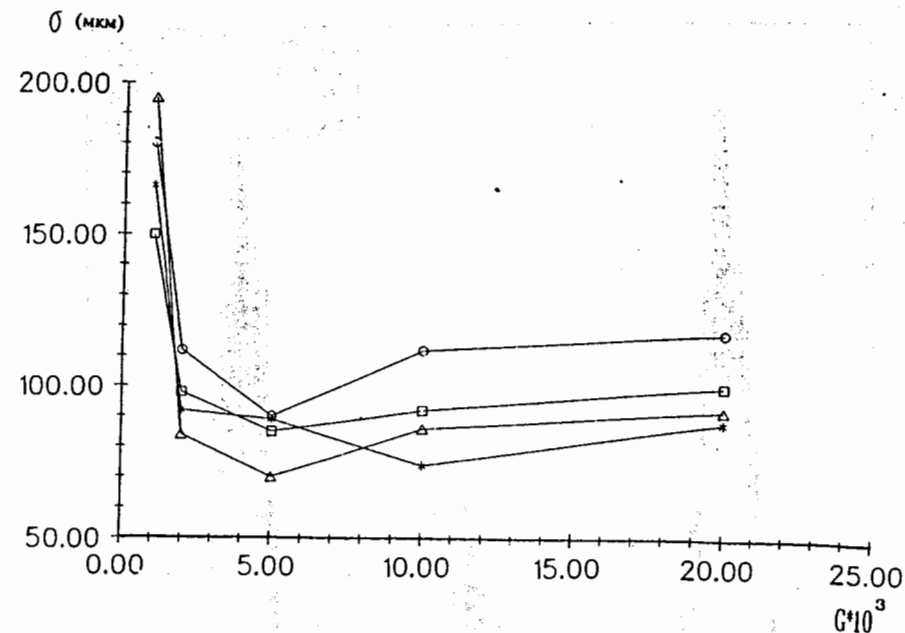


Рис. 9. Зависимость пространственного разрешения от газового усиления счетчика: (□) - центр стрипа, P=1 атм; Ar/CH₄; (*) - центр стрипа, P = 4 атм; Ar/CH₄; (o) - граница между стрипами, P = 4 атм; Ar/CH₄; (Δ) - центр стрипа, P=1 атм; Xe/CO₂

распределения получены в обычных условиях наших измерений и служат для задания абсолютного масштаба. Расстояние между этими опорными распределениями, как и видно на рисунке, составляет 1250 мкм. Среднее же распределение получено после тщательной юстировки коллиматора относительно плоскости счетчика. Стандартное отклонение $\sigma \approx 50$ мкм относится именно к этому среднему распределению на рис.10 и характеризует предельную пространственную точность счетчика. Данные, представленные на этом рисунке, получены в режиме газового усиления $G = 10^4$.

Линейность всего счетчика показана на рис. 11, а дифференциальная нелинейность составляет 30 мкм.

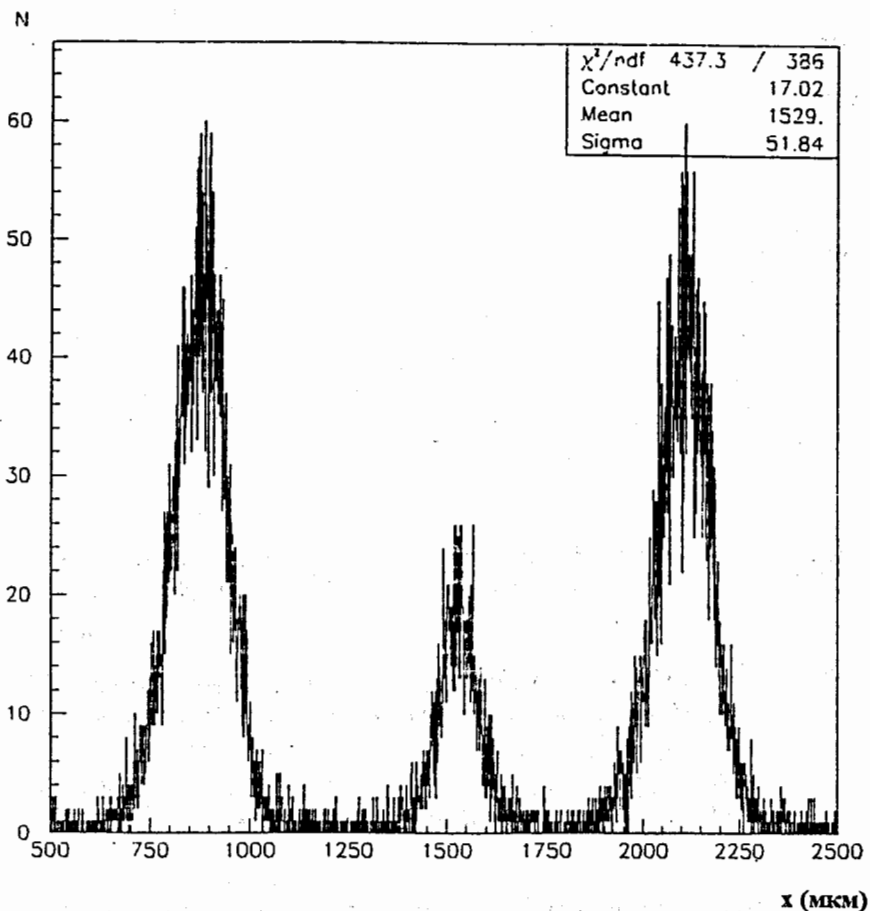


Рис. 10. Распределение восстановленной координаты коллимированного и отъюстированного пучка фотонов

Как уже отмечалось, одним из основных параметров, наряду с пространственной точностью и быстродействием, является однородность счетчика, определяемая как $H = \pm \frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}} \cdot 100\%$ при равномерной засветке, где N_{\max} и N_{\min} - число событий в единичных бинах. На рис. 12 показаны распределения по равномерной засветке для всех стриповых промежутков счетчика и двух режимов по газовому усилению:

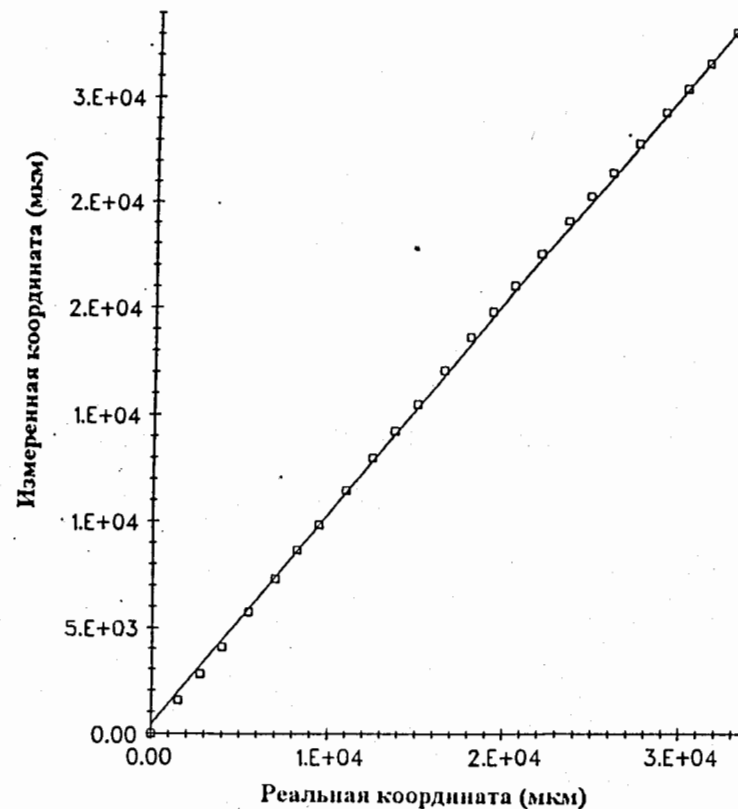


Рис. 11. Линейность счетчика

10^3 - (а) и 10^4 - (б). Промежутки на распределениях введены специально для лучшего визуального разделения разных стрипов. Отчетливо просматривается перераспределение зарядов по стрипам при разных режимах работы счетчика, что, впрочем, видно и при сравнении данных на рис. 6 при тех же режимах. Перераспределение зарядов на стрипах при изменении режимов по газовому усилению не изменяет по существу пространственное разрешение счетчика (рис. 9). Тем не менее это приводит к необходимости введения корректирующих коэффициентов для каждого из режимов работы счетчика, существенно отличающихся по газовому усилению. Однако необходимо отметить, что это обстоятельство не должно сказаться на стабильности работы

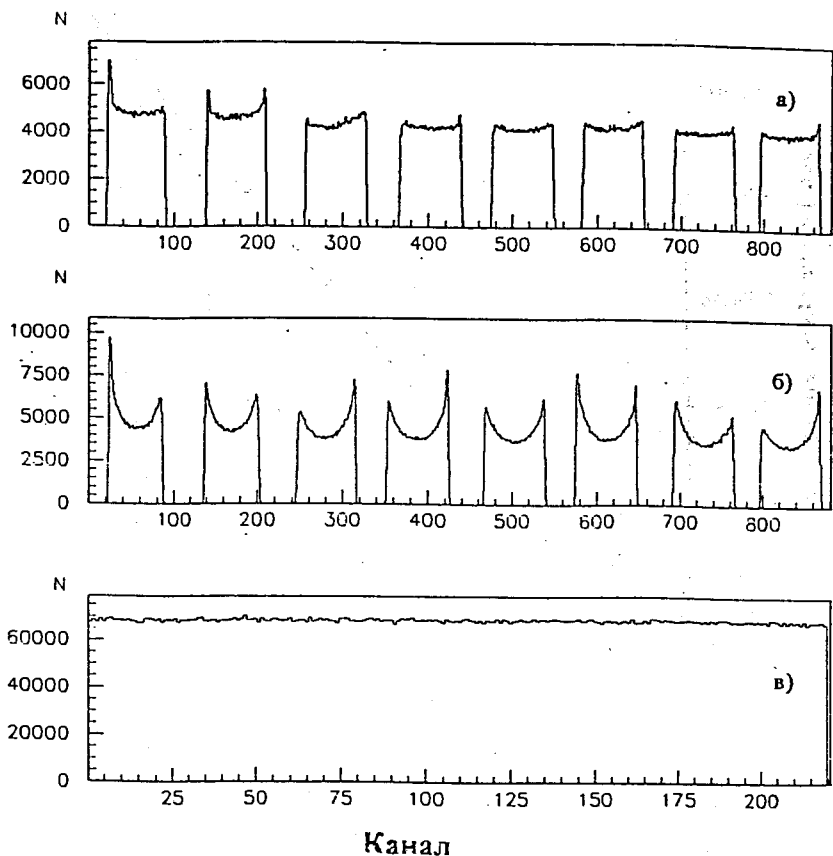


Рис. 12. Данные при равномерной засветке счетчика: (а, б)- без коррекции, с газовым усилением 10^3 и 10^4 ; (в)- с коррекцией

дифрактометра, так как необходимая стабильность по питанию ± 5 В, не требующая еще пересчета корректирующих коэффициентов, технически легко достижима. На рис. 12в приведена однородность счетчика после обработки всего массива данных по равномерной засветке. Отметим, что эквивалентная ширина бина на последнем рисунке выбрана в соответствии с пространственным разрешением счетчика и равняется 50 мкм. Статистическая обеспеченность, составляющая доли процента в единичных бинах, позволяет

считать вычисленную по рис. 12в интегральную неоднородность $\pm 1,5$ % номинальной для данного прототипа.

Заключение

Проведенные измерения показали стабильность и воспроизводимость характеристик прототипа, прообраза линейного счетчика, предназначенного для биологических исследований, в широком диапазоне давлений $P = 1 - 6$ атм рабочей газовой смеси на основе Ar и Хе. Существенных отличий основных выходных параметров счетчика, координатного разрешения и однородности в зависимости от рабочей газовой смеси и давления не наблюдалось. Получены следующие характеристики прототипа:

1. Пространственное разрешение - 60 - 80 мкм.
2. Интегральная неоднородность счетчика по всей ее длине - $\pm 1,5$ %.
3. Дифференциальная нелинейность по всей длине - 30 мкм.
4. Прозрачность прохождения катодного сигнала на стрипах - $\lambda \approx 80\%$. Это позволяет обеспечить хорошее отношение сигнал/шум при газовом усилении 10^3 и более.
5. Величина темнового шума в диапазоне регистрируемых фотонов 3 - 20 кэВ не превышает нескольких десятков отсчетов в секунду.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.R. Faruqi, Nucl. Instr. and Meth., 1991, A310, p.14.
2. Пешехонов В.Д., ЭЧАЯ, 1986, том 17, вып. 5, стр. 1030.
3. G. Battistoni et al, Nucl. Instr. and Meth., 1982, A202, p. 459.
4. V.N. Bychkov, I.A. Golutvin, Yu.V. Ershov et al., Nucl. instr. and Meth., 1993, A325, p. 158

5. V.N. Bychkov, G.D. Kekelidze, E.A. Novikov et al, Nucl. Instr. and Meth., 1995, A367, p. 276
6. В .Н . Бычков, Г.Д. Кекелидзе, С.П. Лобастов и др., ПТЭ, 1998, 3 , с. 25
7. I. Endo, T. Kawamoto, Y. Mizumo et al, Nucl. Instr. and Meth., 1981, 188, p.51.
8. J. Chiba, H. Iwasaki, T. Kageyama et al, Nucl. Instr. and Meth., 1983, 206, p.451.
9. E.Gatti, A. Longoni, H. Okuno et al, Nucl. Instr. and Meth., 1979, 163, p.83.

Рукопись поступила в издательский отдел
25 сентября 1998 года.

Астабатьян Р.А. и др.

P13-98-271

Одномерный линейный счетчик
на основе тонкопленочных дрейфовых трубок
для малоугловых дифракционных исследований

Представлены результаты исследования прототипа одномерного линейного счетчика с катодным считыванием информации. Описаны конструкция счетчика на основе тонкопленочной дрейфовой трубки, экспериментальная установка, методика обработки. Приводятся результаты измерений и основные характеристики: пространственная точность, линейность и однородность счетчика.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Перевод авторов

Astabatyan R.A. et al.

P13-98-271

The One-Dimensional Linear Counter Based on Thin-Film Tube
for Small Angle Diffractational Researches

The research results of the prototype of the one dimensional linear counter with the cathode readout are represented. The counter construction based on the thin-film drift tube, experimental setup, data processing are described.

The main characteristics of the prototype are obtained: spatial resolution, linearity and homogeneity.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998