

Б-649

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

13 - 7827

БИРЮКОВ Валерий Александрович

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ
С АНАЛОГОВЫМ СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)

Дубна 1974

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

кандидат физико-математических наук В.Г.Зинов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Т.Л.Асатиани,

кандидат физико-математических наук В.И.Рыкалин.

Ведущее предприятие: Московский инженерно-физический институт.

Автореферат разослан 1974 года

Защита диссертации состоится 1974 года

в часов на заседании Ученого совета Лаборатории
ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.БАТУСОВ

13 - 7827

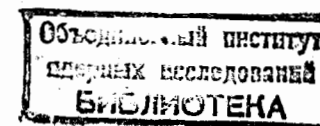
БИРЮКОВ Валерий Александрович

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ С АНАЛОГОВЫМ СЪЕМОМ ИНФОРМАЦИИ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Диссертация написана на русском языке)



В диссертации описаны исследования, выполненные автором в 1968-1973 гг. в Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований. Основные результаты этих исследований были опубликованы в статьях и препринтах /1-5/. Проведенный цикл работ является развитием метода определения координат заряженных частиц с помощью устройства /6/, представляющего собой многонитяную пропорциональную камеру с использованием принципа деления токов. Предложены и экспериментально исследованы методы и конструкции камер для измерения координат как отдельных частиц, так и пучков частиц, не сложные при практической реализации и обеспечивающие высокую точность измерений и эффективность при использовании во многих физических опытах.

ВВЕДЕНИЕ

На рубеже 1968 и 1969 гг. один из наиболее эффективных детекторов, использовавшихся в физических экспериментах сороковых годов, - пропорциональный счетчик - получил свое второе рождение. Таким образом, новая история пропорциональных счетчиков едва насчитывает 5-6 лет. Однако прогресс электроники, включая вычислительную технику, позволил очень быстро развить технику пропорциональных счетчиков. К известным достоинствам этих счетчиков, таким, как непрерывный режим работы, малое мертвое время, измерение ионизации в широком диапазоне, способность работать в магнитном поле и др. - добавилось новое важное качество - возможность измерять с большой точностью координаты

места пролета заряженных частиц. Для этой цели вместо прежних однонитяных конструкций применяются приборы большой площади с электродами, выполненными в виде ковра параллельно натянутых проволок. Таким образом, речь идет о многонитяных пропорциональных камерах /сокращенно МПК/. Качественный скачок к современным пропорциональным камерам произошел лишь после того, как была осознана возможность независимой работы каждой из многих нитей камеры и предложены способы снятия сигнала для определения координат пролетевших через камеру частиц /6,7/.

Описываемые работы /1-5/ не имеют обычной предыстории, т.к. они начались сразу с появлением идеи МПК /6,7/ и происходили одновременно с ее развитием. В связи с этим в диссертации нет исторического обзора и приводится перечень основных направлений конструирования и применения МПК.

Глава 1. ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ СЪЕМ ИНФОРМАЦИИ

В упомянутом устройстве /6/ нити камеры соединены друг с другом одним концом через резисторы /рис. 1/. Импульс тока, вызванный пролетевшей через камеру частицей, делится такой системой на две ветви, и сравнение этих токов позволяет судить о координате нити, около которой пролетела частица. Эта схема по принципу работы является потенциометрической. Чтобы исключить влияние начального тока, сравнивается амплитуда сигнала, снимаемого с одного из концов цепи, с суммой амплитуд сигналов, снимаемых с обоих концов. Нетрудно видеть, что координата является линейной функцией этого отношения:

$$\frac{I_B}{I_A + I_B} = \frac{Xz + R}{Nz + 2R} = kX + \ell$$

/ N - число резисторов в цепи АВ /. Точность определения координат этим методом равна расстоянию между нитями.

В работе /1/ предложена новая конструкция много-

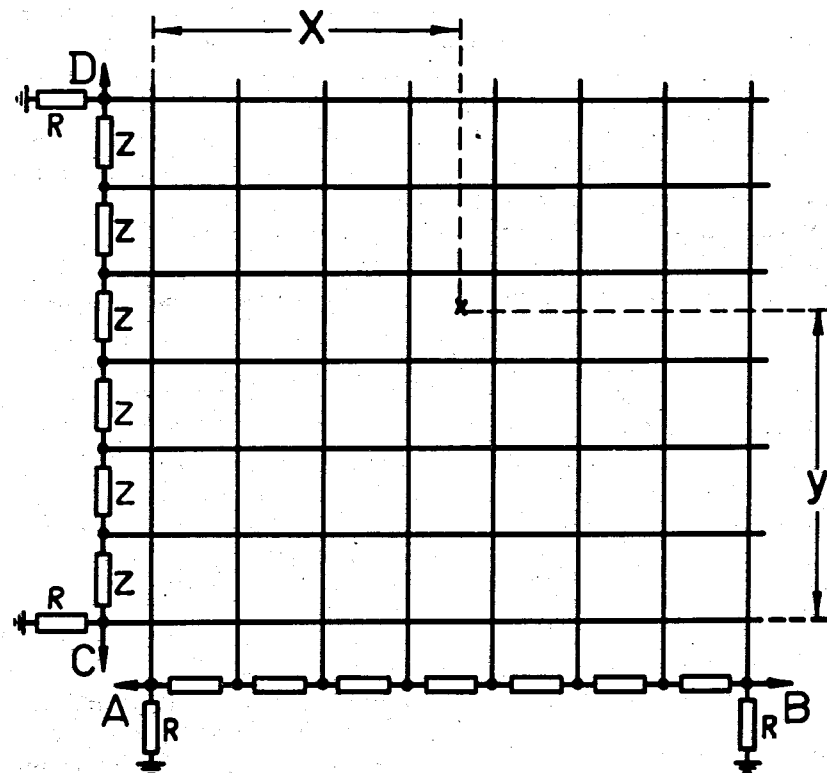


Рис. 1. Схема многонитяной пропорциональной камеры с потенциометром /нити камеры соединены через резисторы/.

нитяной пропорциональной камеры и приведены результаты ее исследования. Новая схема сводилась к замене сосредоточенных сопротивлений, соединяющих концы нитей в делителе рис. 1, распределенным сопротивлением самой рабочей нити. Очевидно, что в такой системе координата также будет определяться отношением токов $I_B / (I_A + I_B)$. Для этой цели единая проволока, обладающая достаточно высоким удельным сопротивлением, наматывается зигзагообразно с определенным шагом на раму, так что параллельно натянутые участки проволоки перекрывают необходимую рабочую площадь камеры /рис. 2/. Эта схема наиболее проста в изготовлении.

Рабочая нить натягивалась на плексигласовую рамку.

Шаг намотки был равен 0,7 см, общее сопротивление рабочей нити составляло 2 кОм. Катоды расположены параллельно плоскости рабочих анодных нитей в 1 см сверху и снизу. Исследования характеристик камеры проводились путем облучения ее потоком альфа-частиц от коллимированного источника и снятия двухмерных спектров импульсов с помощью анализатора АИ-4096 /схема на рис. 2/.

Были получены спектры при перемещении альфа-источника с шагом 0,1 см над серединами анодных нитей. Их форма показала точность измерения координат этим методом, равную расстоянию между нитями. Спектры свидетельствуют, в частности, о независимой работе каждой нити как отдельного счетчика. Проведены также измерения координат альфа-частиц при перемещении источника с шагом 2,1 см через всю среднюю часть камеры, при этом экспериментально получена линейная зависимость отношения токов от координаты. Аналогичные измерения были проделаны с нитью, имеющей полное сопротивление 100 Ом.

Возможность эффективного использования схемы с единой нитью позднее была подтверждена в работах других авторов.

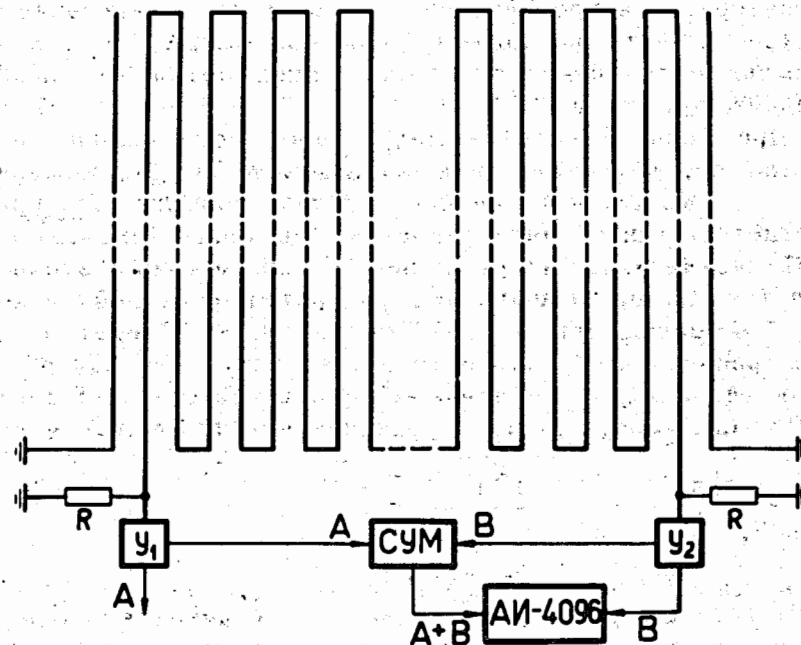


Рис. 2. Схема многонитяной пропорциональной камеры с одной зигзагообразно натянутой нитью из материала с высоким удельным сопротивлением. Камера подсоединена к электронной системе для измерения координат.

Глава 2. ИЗМЕРЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПУЧКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Во многих случаях важно измерять непосредственно координаты центра тяжести пучка заряженных частиц, не интересуясь профилем пучка, и следить за смещением центра тяжести во времени как при малых, так и при больших интенсивностях пучка. Такой метод был нами предложен в работе /2/.

При пролете через камеру небольшого количества частиц определяется координата места пролета каждой из них. Когда интенсивность пучка повышается, при соответствующем интегрировании выходных импульсов практически через нагрузку цепи начинает течь постоянный ток. Пучок своим сечением захватывает несколько нитей камеры, при этом с каждой нити стекает ток, пропорциональный плотности потока частиц вблизи нее. Если для камеры, делитель которой составлен из сосредоточенных сопротивлений, рассчитать отношение токов

$$\frac{I_B}{I_A + I_B} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum_{k=1}^N i_k (k - \frac{1}{2})}{\sum_{k=1}^N i_k},$$

то в правой части этого равенства оказывается координата центра тяжести пучка в относительных единицах / i_k - ток k -ой нити, N - число нитей камеры/. Таким образом, одним из интересных и весьма полезных свойств камеры такой конструкции оказывается возможность, измеряя стекающие с концов цепи А и В токи, определить координату центра тяжести пучка из отношения

$$\bar{X} \sim I_B / (I_A + I_B).$$

Точно такая же картина деления и суммирования токов имеет место в камере другой модификации, в которой используется единая нить с большим удельным сопротивлением, расположенная зигзагообразно по всей рабочей площади камеры.

Для практических измерений в ряде случаев может оказаться удобным способ сравнения токов с помощью мостовой схемы, в которой двумя плечами моста явля-

ются сопротивления двух ветвей рабочей цепи камеры, другими двумя - плечи измерительного потенциометра. Измеряемая координата центра тяжести пучка является линейной функцией сопротивления соответствующего плеча потенциометра.

Измерения токов, протекающих на концах рабочей цепи анода при облучении камеры, производились с помощью компенсационных усилителей постоянного тока. Результаты измерений даны на рис. 3., они служат экспериментальным подтверждением линейной зависимости координаты центра тяжести пучка от отношения токов. Измерения, проведенные с помощью мостовой схемы, также показали хорошее соблюдение линейной зависимости координаты центра тяжести пучка от величины сопротивления плеча измеряющего потенциометра.

Метод непосредственного измерения координат центра тяжести пучка заряженных частиц может найти эффективное применение в устройстве для одновременного измерения координат и энергии гамма-квантов или электронов, имеющих высокую энергию. Работа этого устройства основана на регистрации электронно-фотонного ливня, создаваемого быстрыми гамма-квантами или электронами в конверторе, с помощью многонитяных пропорциональных камер с потенциометрическим съемом сигналов.

Глава 3. МЕТОДЫ ТОЧНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЧАСТИЦ

1. В этом разделе описываются особенности съема информации в МПК при пролете частиц через камеру наклонно к плоскости анодных нитей /3/. Когда заряженная частица пролетит через камеру под некоторым углом к плоскости анодных нитей, первичные ионные пары и последующие электронно-ионные лавины образуются в рабочих областях нескольких нитей. В камерах с потенциометрическим съемом сигналов возникшие токи будут суммироваться на концах делителя с весом, пропорциональным номеру нити и величине ионизации, про-

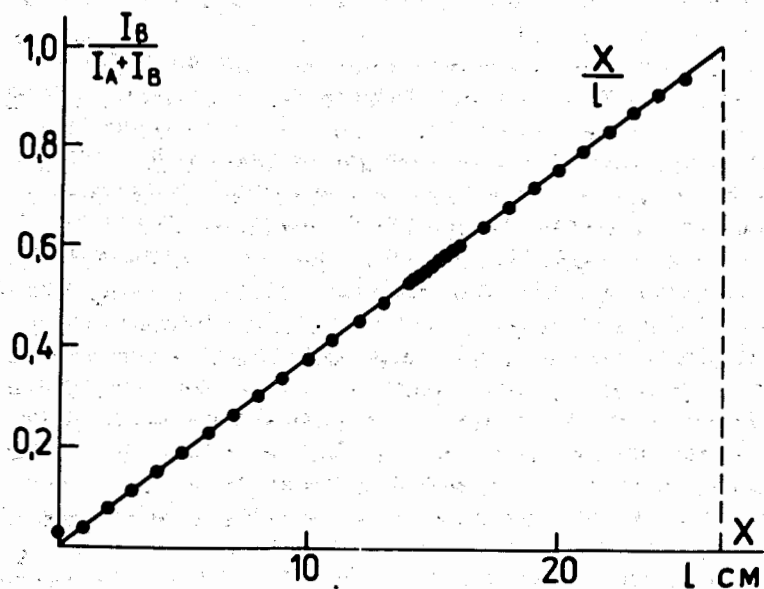


Рис. 3. Результаты измерения координат центра тяжести пучка заряженных частиц. Зависимость отношения токов $I_B/(I_A + I_B)$ от перемещения источника через всю рабочую область камеры.

изведенной частицей в данной рабочей области. Фактически при этом будет измерена координата центра тяжести ионизации, вызванной пролетевшей частицей. Если концы цепи А и В нагружены на усилители с малым входным сопротивлением, координата будет определяться отношением токов: $X \sim I_B/(I_A + I_B)$.

В общем случае измеряемая координата не будет равна истинной координате. Рассчитанное значение ошибки приведено на рис. 4.

Измерения проводились с помощью описанной в главе 1 установки с пропорциональной камерой. Узкий /менее 0,15 см/ пучок альфа-частиц от источника направлялся в рабочий объем камеры под углом 90° или 44° к плоскости нитей. Результаты измерений приведены на рис. 5. При отвесном падении частиц ступеньки на графике четко выделяют рабочие объемы каждой нити. Вся ионизация происходит в рабочем объеме только одной нити ($D=0$). При наклонном же прохождении пучка ступеньки исчезают, что соответствует увеличению возможной точности измерения координаты. Ионизация в данном случае имеет место в трех или четырех рабочих интервалах ($D=3$), и координата может быть определена с точностью, лучшей, чем 0,1 часть интервала.

Полученные результаты были позднее подтверждены работами, сделанными в других лабораториях.

2. Потенциометрический метод позволяет с помощью нитей катода, натянутых перпендикулярно направлению анодных нитей, измерить с высокой точностью координату частицы, падающей даже отвесно на плоскости электродов и вызывающей лавину в рабочем объеме лишь одной анодной нити. Это возможно осуществить путем измерения координаты центра тяжести распределения токов, наведенных ионами этой лавины на катодных нитях /4/.

Был произведен расчет распределения заряда, наведенного на катодных нитях. Знание вида распределения позволило оценить возможное отклонение измеряемых величин координат от истинных, которое имеет заметную величину только вблизи краев камеры, где распределение выходит за пределы электрода.

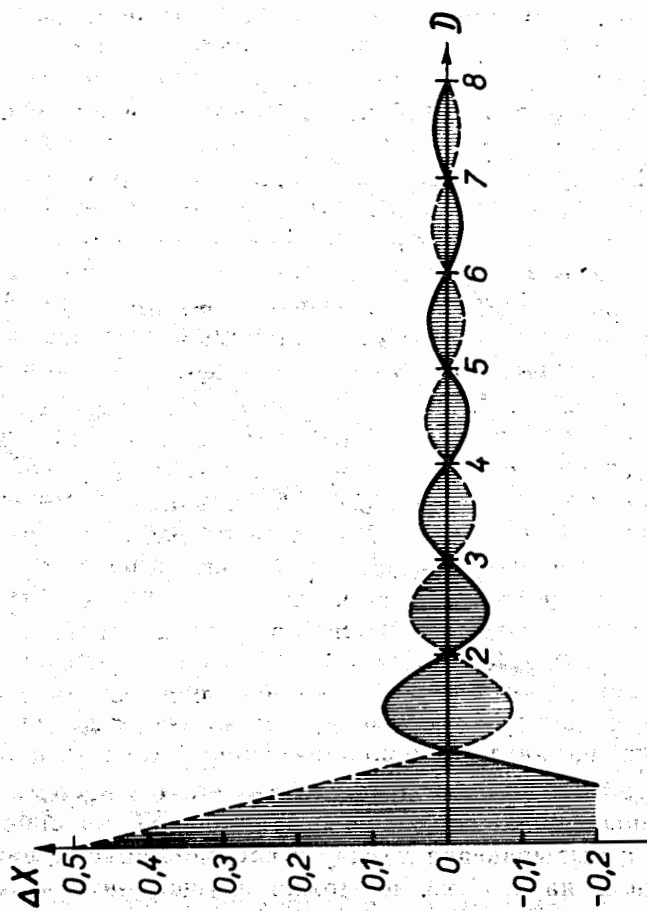


Рис. 4. Зависимость ошибки ΔX измерения координаты места пролета заряженной частицы / в долях интервала между рабочими нитями камеры / от числа рабочих интервалов D , захватываемых наклонным треком.

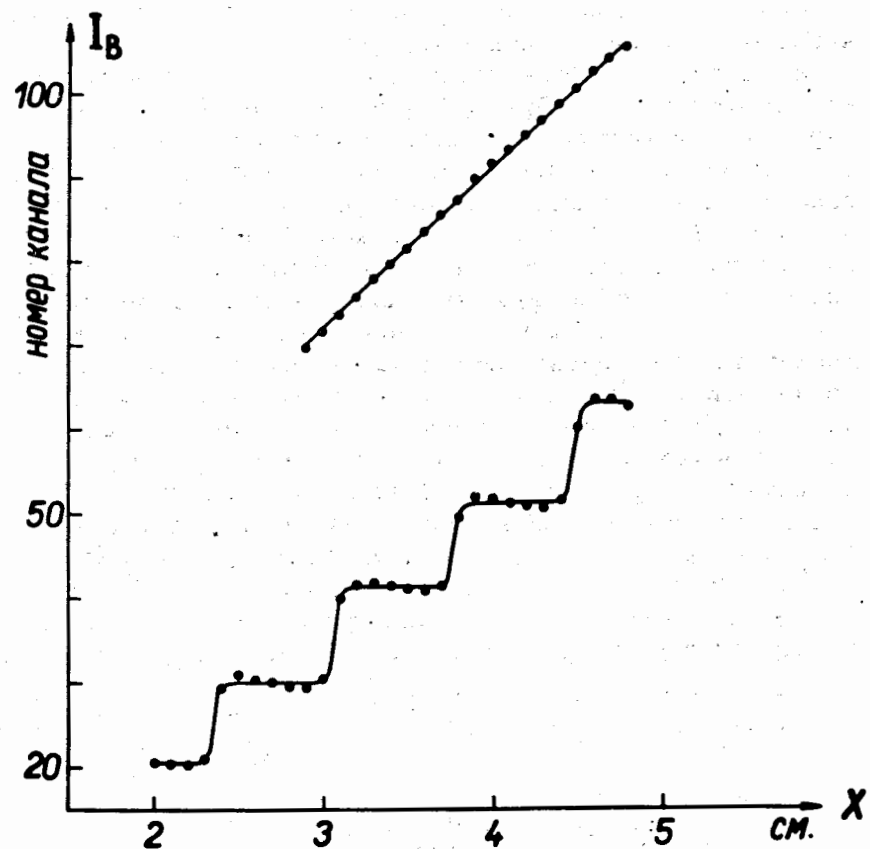


Рис. 5. Результаты измерений координаты места пролета заряженной частицы. X - положение источника альфа-частиц, I_B - значение амплитуд сигналов на конце В анодной цепи при фиксированном суммарном сигнале $I_A + I_B$. Точки, соединенные прямой, относятся к измерениям с наклонным пучком ($D=3$), ступенчатой кривой - с пучком, перпендикулярным плоскости анода ($D=0$).

Для экспериментальных исследований была сделана камера с анодным электродом в виде единой зигзагообразно натянутой проволоки. Один катод использовался только для формирования электрического поля, нити второго катода соединены друг с другом одним концом через резисторы. Измерения проводились с подвижным альфа-источником. При изучении распределения индуцированного заряда экспериментально полученное распределение удовлетворительно совпало с теоретически рассчитанным. Измерения координат производились при перемещении источника с шагом 0,1 см. Результаты измерений показывают, что экспериментальные точки хорошо ложатся на прямую линию. Обычным методом, с использованием сигналов с анодных нитей, были также произведены измерения координат пучка при перемещении источника. Как и ожидалось, ступенчатая кривая, получаемая при измерении координат лавин, локализованных на отдельных анодных нитях, переходит в прямую при измерении координат центра тяжести распределений зарядов, наведенных на катодных нитях. Полученные характеристики имеют вид, аналогичный представленным на рис. 5. Пространственное разрешение, достигнутое в этих экспериментах, составило 0,8 мм при ширине использовавшегося пучка частиц 0,6 мм.

Возможности аналогового метода съема сигналов с катода нашли подтверждение также в работах других авторов.

Глава 4. ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА ДЛЯ АЛЬФА-СПЕКТРОГРАФА

В последние годы значительно возросло использование магнитных спектрографов с высоким разрешением и большой апертурой, что привело к резкому увеличению потока экспериментальных данных. В этих условиях все больше проявляются недостатки метода фотопластинок, используемых для измерения энергетических спектров в спектрографах.

В этой главе описывается многонитяная пропорцио-

нальная камера /5/, разработанная для большого магнитного альфа-спектрографа Объединенного института ядерных исследований. Одна из особенностей спектрографа состоит в том, что альфа-частицы пересекают фокальную поверхность под углом около 45° , другая заключается в цилиндрической форме фокальной поверхности спектрографа. В связи с этим был выбран вариант камеры с одной анодной нитью, натянутой зигзагообразно и обладающей высоким удельным сопротивлением.

Для экспериментальной проверки и отработки как конструкции камеры, так и метода в целом была сделана камера с плоскими поверхностями анода и катода. Два ряда тефлоновых столбиков крепятся на нижний катодный электрод. На верхнюю часть изоляторов натягивается зигзагообразно проволока анодного электрода. Второй катод сделан из лавсановой пленки, на которую напылен алюминий. Пленка прижимается к корпусу камеры крышкой с входным окном размером 19x3 см. С анодной нити снимается сигнал, пропорциональный координате. Суммарный сигнал снимается с катодной пластины. После усиления и формирования сигналы с обоих электродов подаются на двухмерный анализатор с цифровыми окнами, функционирующий на основе электронной вычислительной машины "Минск-2".

На рис. 6 приведен энергетический спектр альфа-частиц, излучаемых при распаде изотопа ^{238}Pu . Спектр получен с помощью описанной пропорциональной камеры, помещенной на место фотопластинок в фокальной поверхности альфа-спектрографа. Достигнутая ширина спектральной линии $/E_{\alpha 0} = 5499,2 \text{ кэВ}/$ на полувысоте составляет 8,6 кэВ. Она близка к значению, полученному при регистрации этого спектра на фотопластинке.

ВЫВОДЫ

Среди различных направлений развития методики многонитяных пропорциональных камер, особенно в физике средних и низких энергий, важное место занимает аналоговый съем информации с камер. Он не только упроща-

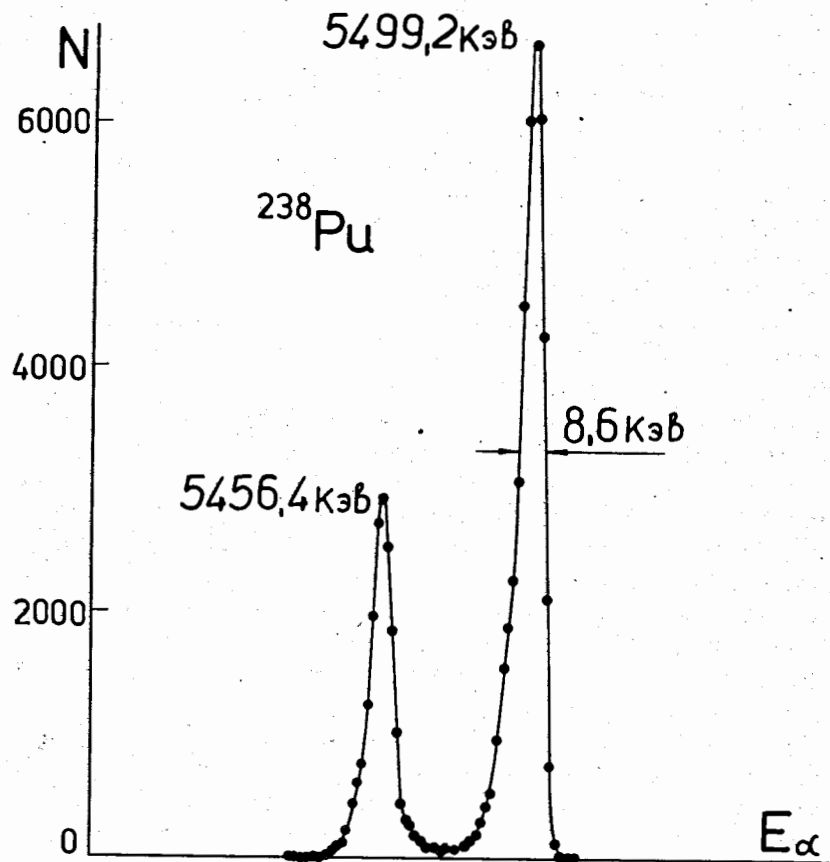


Рис. 6. Энергетический спектр альфа-частиц, излучаемых при распаде изотопа ^{238}Pu . Получен с помощью МПК, помещенной на место фотопластинок в альфа-спектрографе.

ет электронную схему камеры, но и открывает новые возможности МПК. Цикл работ /1-5/, включенных в диссертацию, посвящен исследованиям возможностей и применению потенциометрического съема информации в камерах.

1. Экспериментально показана возможность измерения координат заряженных частиц при помощи МПК с потенциометрическим съемом информации, в которой, в отличие от ранее изученных конструкций, сигналы снимаются с концов единой нити, обладающей большим удельным сопротивлением и натянутой зигзагообразно по всей рабочей площади камеры.

Такая схема наиболее проста и технологична. Она позволяет избежать ряда конструктивных осложнений, характерных для камер со многими отдельными нитями. Обеспечиваемая схемой точность измерения координат равна рабочему интервалу нити /или расстоянию между соседними нитями/.

Отмечена возможность снизить необходимое удельное сопротивление проволоки и тем самым уменьшить влияние монтажных емкостей рабочих нитей путем использования на выходе камеры усилителей тока, обладающих малым входным сопротивлением.

2. Предложен метод непосредственного определения координат центра тяжести пучка заряженных частиц /без предварительного определения профиля пучка/ и непрерывного наблюдения изменения этих координат во времени как при малых, так и при больших интенсивностях пучка. Для этой цели используются МПК, потенциометрические схемы которых выполнены как на сосредоточенных, так и на распределенных сопротивлениях.

Рассмотрен способ измерений координат центра тяжести пучка с применением мостовой схемы.

Метод обеспечивает высокую точность измерений, результаты которых не зависят от колебаний интенсивности пучка, коэффициента газового усиления и выходных усилителей благодаря использованию отношения токовых сигналов.

3. Показано, что при наклонном к плоскости электродов падении заряженных частиц, когда захватываются

рабочие объемы нескольких нитей, точность определения координат места пролета частиц в МПК с потенциометрическим съемом информации значительно выше, чем при отвесном падении.

Произведен расчет ошибки измерения координаты в зависимости от числа рабочих интервалов нитей, через которые проходит наклонный трек. Эта ошибка составляет менее $\pm 0,1$ величины рабочего интервала при пересечении треком двух интервалов и менее $\pm 0,05$ - при пересечении трех интервалов.

4. Исследован метод измерения координат частиц в МПК при помощи потенциометрического съема сигналов с катодного электрода. Показано, что в этом случае для треков, перпендикулярных плоскостям электродов, можно достичь точности измерения координат значительно лучшей, чем расстояние между нитями электрода.

Сделаны расчеты распределения наведенных на катодных нитях токов, а также расчеты ошибки измерения координат в реальной камере.

Показана возможность нормального функционирования камеры с изолятором из тефлона без общепринятых охранных электродов, что значительно упрощает конструкцию камеры.

5. Разработана координатная МПК для автоматизированного измерения спектров в большом магнитном альфа-спектрографе Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Камера установлена на место фотопластинок в фокальной плоскости спектрографа и с ней проведены измерения координат частиц, падающих на камеру под углом около 45° к плоскостям электродов. Полученная при распаде изотопа ^{238}Pu альфа-линия / $E_{\alpha 0} = 5499,2$ кэВ/ имеет ширину 8,6 кэВ. Это значение близко к полученному при регистрации спектра на фотопластинке.

Использование МПК в работах на спектрографе во много раз ускоряет получение экспериментальных данных и открывает принципиально новые возможности, недоступные для метода фотопластинок. Экспериментаторы могут контролировать процесс набора данных и управлять им, а также производить временные измерения. Последнее, в частности, облегчает регистрацию пиков с сильно

различными интенсивностями и разделению линий спектра, близких по энергиям, но различных по интенсивностям. Появляется возможность проведения точных исследований, требующих большой статистики.

6. Предложено устройство, позволяющее простым и быстрым способом измерять одновременно энергию и координаты гамма-квантов или электронов в области энергий выше 5 ГэВ. Для этой цели используется МПК с потенциометрическим съемом сигналов, с помощью которой на выходе из конвертора измеряются координаты центра тяжести электронно-фотонного ливня, созданного быстрой первичной частицей в этом конверторе. Одновременно производится измерение полных ионизационных потерь электронов ливня в камере, позволяющее определить энергию первичной частицы. Использование двух или более МПК непосредственно за конвертором и на некотором расстоянии от него дает возможность дополнительно определять траекторию первичной частицы.

Литература

1. В.А. Бирюков, В.Г. Зинов, А.Д. Конин. ЖЭТФ, 58, 104 /1970/; Препринт ОИЯИ, P13-4627, Дубна, 1969.
2. В.А. Бирюков, В.Г. Зинов, А.Д. Конин. ПТЭ, 2, 36 /1971/; Препринт ОИЯИ, P13-5298, Дубна, 1970.
3. В.А. Бирюков, В.Г. Зинов, А.Д. Конин. ПТЭ, 6, 65 /1971/; Препринт ОИЯИ, P13-5628, Дубна, 1971.
4. В.А. Бирюков, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.Н. Пономарев. ПТЭ, 5, 40 /1972/; Препринт ОИЯИ, P13-6425, Дубна, 1972.
5. В.А. Бирюков, В.М. Вахтель, Н.А. Головкин, В.Г. Зинов, А.Д. Конин, С.И. Орманджиев. Препринт ОИЯИ, P13-7755, Дубна, 1974.
6. В.Г. Зинов. Авт. свид. 241553, Бюлл. ОИПОТЗ, 14 /1969/.
7. G. Charpak, R. Bouclier, T. Bressani, J. Favier, S. Zupancic, Nucl. Instr. and Meth., 62, 262 (1968); 65, 217 (1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
27 марта 1974 года.