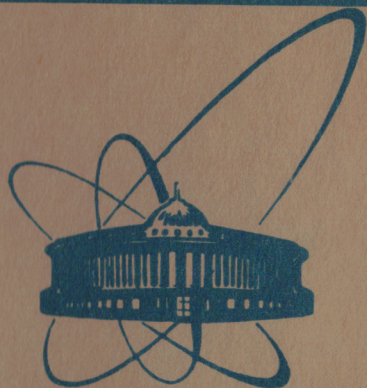


82-216



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3178/82

12/7-82

13-82-216

Д.А.Абдушукуров, Ю.В.Заневский, С.А.Мовчан,
З.Нетушилова, В.Д.Пешехонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ЛАВИННОЙ КАМЕРЫ

1982

1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время возрос интерес к предложенным ранее Шарпаком и его сотрудниками многоступенчатым лавинным камерам. Эти координатные детекторы могут использоваться при высоких потоках заряженных частиц, применяться в качестве детектора гамма-излучения, а также для регистрации черенковского излучения [1-4]. Для изучения особенностей работы таких детекторов мы провели исследование некоторых характеристик многоступенчатой лавинной камеры /МСЛК/.

2. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ЛАВИННОЙ КАМЕРЫ

2.1. Конструкция детектора

Детектор представляет собой многопроволочную пропорциональную камеру /МПК/, расположенную в едином газовом объеме с рядом проволочных электродов В, С, D /рис. 1/, на которые подается необходимые электрические потенциалы.

Электроды выполнены в виде сетки с ячейкой $0,5 \times 0,5 \text{ мм}^2$ из проволоки диаметром 50 мкм. Катоды пропорциональной камеры К и электрод D намотаны проволокой диаметром 100 мкм с шагом 1 мм. Анодная плоскость А МПК намотана проволокой диаметром 20 мкм с шагом 2 мм. Катоды расположены на расстоянии 5 мм от анодной плоскости. Расстояние между электродами К и В - 5 мм, между электродами В и С -

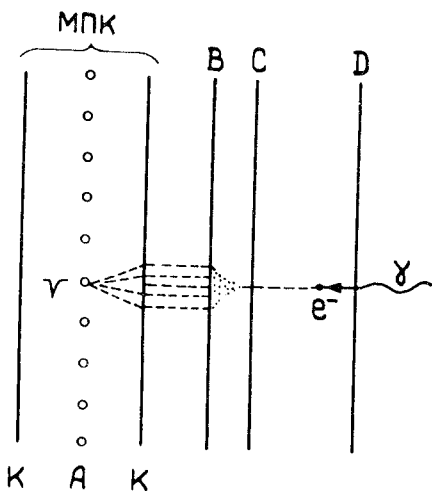


Рис. 1. Схема многоступенчатой лавинной камеры. МПК - многопроволочная пропорциональная камера с катодными /К/ и анодным /А/ электродами. В, С, и D - дополнительные электроды.

3 мм. Расстояние между электродами С и D равно 12 мм, однако его можно изменять.

Чувствительная площадь детектора - $60 \times 60 \text{ мм}^2$.

2.2. Принцип действия детектора

В результате взаимодействия γ -квантов с атомами газа в конверсионном промежутке CD образуются электроны, которые под действием существующего там электрического поля переходят в промежуток предварительного усиления BC. Это приводит к появлению там электрического заряда величиной q . При движении этого заряда в сильном однородном электрическом поле происходит изменение значения тока, задаваемое выражением

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{q\omega}{d} e^{a\omega t},$$

где ω - скорость дрейфа электронов; d - межэлектродное расстояние промежутка; a - коэффициент Таунсенда. Отсюда видно, что величина заряда Q , который собирается у электрода В через время $t = \frac{d}{\omega}$, равна

$$Q = \frac{q(e^{a\omega t} - 1)}{a\omega}.$$

Промежуток ВК служит для передачи заряда в чувствительный объем МПК. Регистрируемый многопроволочной пропорциональной камерой заряд можно определить как $Q^* = fG_1G_2q$, где G_1 - величина предварительного усиления в промежутке BC; G_2 - собственное газовое усиление МПК. Коэффициент f определяет долю заряда, прошедшего через электрод В в дрейфовый промежуток ВК из промежутка предварительного усиления. В работе [1] показано, что при $E_2 < 0,3E_1$ /где E_1 и E_2 - напряженности электрического поля в промежутках BC и ВК соответственно/ выполняется соотношение $f \sim \frac{E_2}{E_1}$.

2.3. Механизм предварительного усиления

Электроны при движении в электрическом поле могут приобрести энергию, превышающую значение потенциалов ионизации (I) или потенциалов возбуждения (E) атомов и молекул окружающего газа. Для того чтобы имело место так называемое предварительное усиление в промежутке BC, в качестве рабочей газовой смеси для МСЛК применяется смесь инертного газа (А) с несколькими процентами высокомолекулярной газовой добавки (В). Потенциал ионизации молекул В должен быть меньше потенциала возбуждения основной газовой компоненты А.

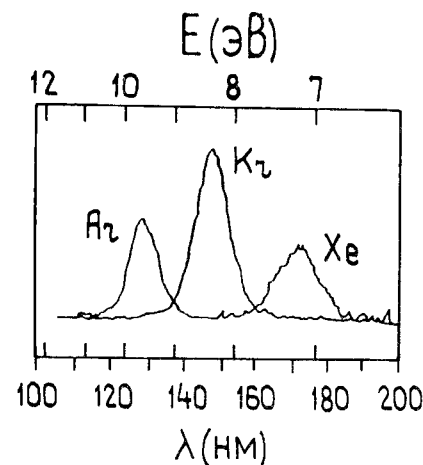
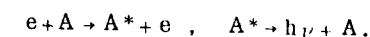
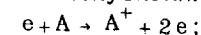
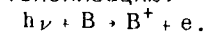


Рис. 2. Спектры испускания некоторых инертных газов.

В результате неупругих столкновений электронов с молекулами газа происходит их ионизация или возбуждение, снимаемое в основном путем испускания фотонов:



На рис. 2 приведены спектры испускания для аргона, криптона и ксенона [2]. Фотоны, энергия которых превышает потенциал ионизации молекул газовой добавки, вызывают их фотоионизацию:



Мы проверили работу МСЛК для смеси аргона /I = 15,8 эВ/ с ацетоном /I = 9,7 эВ/, пропаном /I = 11,1 эВ/, бензолом /I = 9,2 эВ/ и толуолом /I = 8,8 эВ/.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Режим работы детектора

Характеристики детектора исследовались при помощи γ -источника ^{55}Fe и β -источников ^{144}Ce , а также ^{14}C и ^{32}P . При работе с γ -излучением величина конверсионного промежутка CD составляла 12 мм, при работе с β -излучением конверсионный промежуток отсутствовал или величина его была равна ~1 мм. В промежутке создавалось электрическое поле, обеспечивающее передачу заряда в BC. В предусилительном промежутке напряженность электрического поля E_1 достигало величины до 10 кВ/см.

На рис. 3 приведена зависимость центра тяжести распределения анодных сигналов МПК по амплитудам (A) от напряженности поля в дрейфовом промежутке E_2 и от отношения величин $\frac{E_2}{E_1}$. При этом величины напряжения U_a , подаваемого на анод МПК, и напряженности E_1 были постоянными. Видно, что при величине отношения $E_2/E_1 > 0,2$ передача заряда из предусилительного промежутка в объем МПК осуществляется практически без дополнительных потерь. При всех дальнейших измерениях напряженность поля дрейфового промежутка $E_2 \geq 2 \text{ кВ/см}$.

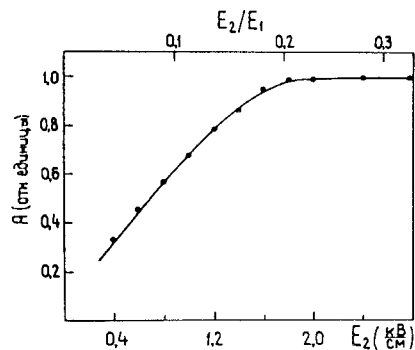


Рис. 3. Средняя амплитуда анодных сигналов МПК в зависимости от отношения напряженностей электрических полей в дрейфовом промежутке E_2 и промежутке предварительного усиления E_1 . Газ - аргон и 2% ацетона, U_a - постоянно, $E_1 = 8,7$ кВ/см.

Для регистрации сигналов с МПК применялись усилители типа 2А-06 с дискриминатором Д-201¹⁵. Коэффициент усиления по напряжению $K_y = 300$ при уровне шумов, приведенных к входу, $U_{ш} \approx 15$ мкВ. Порог дискриминатора был равен 80 мВ. Координатная информация снималась с ортогонально намотанных катодов МПК при помощи линий задержки.

3.2. Эффективность и временное разрешение

Детектор продувался газовой смесью аргона с 2% ацетона. На рис. 4 приведены счетные характеристики анодных сигналов МПК при различных значениях напряженности электрического поля в предусилительном промежутке в зависимости от величины U_a . Регистрировались γ -кванты с энергией 5,9 кэВ от источника ^{55}Fe . Кривая 1 получена при низкой напряженности E_1 , при этом коэффициент предварительного усиления $G_1 = 1$. При $E_1 = (8 \div 10)$ кВ/см величина G_1 существенно возрастает, что в десятки раз увеличивает плато счетных характеристик /кривые 2-4/. Видно, что плато достигает величины 700 В.

Эффективность регистрации заряженных частиц с минимальными ионизационными потерями в детекторе проверялась при помощи источника ^{144}Ce . На рис. 5 представлена эффективность детектора в зависимости от величины анодного напряжения МПК при различной напряженности поля предусилительного промежутка. Для зависимостей, показанных на рис. 5а, конверсионный промежуток в детекторе отсутствует. Видно, что при достаточно высоких значениях E_1 детектор с эффективностью около 98 регистрирует β -частицы, величина плато составляет 100-200 В. Отметим, что величина G_1 для первичных электронов, образованных в разных точках по толщине предусилительного промежутка, различна. Введение конверсионного промежутка величиной около 1 мм, в среднем в нем образуется около 7 первичных электронов, приводит

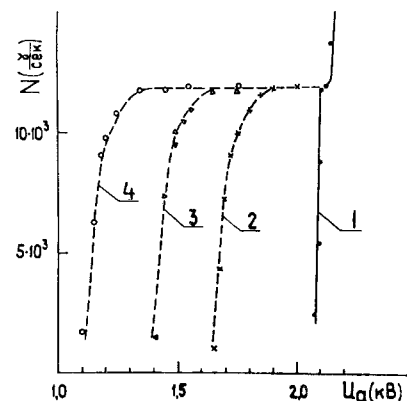


Рис. 5. Эффективность детектора при регистрации β -излучения в зависимости от напряжения на МПК. Величина E_1 равна 8,3 кВ/см - кривые 1; 9,0 кВ/см - кривые 2; 9,7 кВ/см - кривые 3; 10 кВ/см - кривые 4: а/ детектор без конверсионного промежутка CD; б/ величина промежутка $CD \approx 1$ мм.

Рис. 4. Счетные характеристики детектора при регистрации γ -излучения в зависимости от напряжения на МПК. Величина E_1 равна 0,1 кВ/см - кривая 1; 8,3 кВ/см - кривая 2; 9 кВ/см - кривая 3 и 9,7 кВ/см - кривая 4.

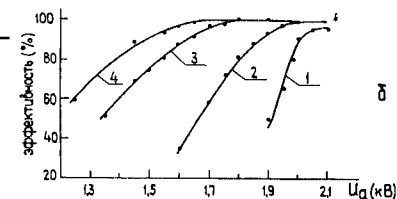
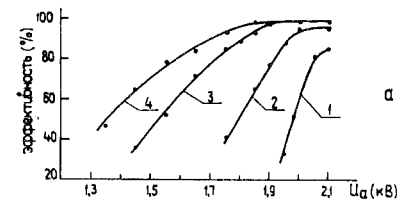
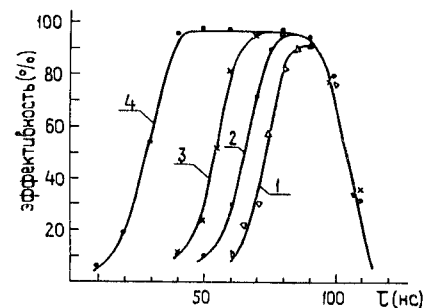


Рис. 6. Эффективность в зависимости от задержки (τ) между анодным сигналом детектора и импульсом "Строб", разрешающим регистрацию сигналов, $U_a = 1,92$ кВ. $E_1 = 9,6$ кВ/см. Длительность сигнала "Строб" - 30, 40, 50 и 80 нс - кривые 1-4 соответственно.



к увеличению эффективности детектора и позволяет уменьшить значение необходимых анодных напряжений /рис. 5б/.

Кривые задержанных совпадений анодных сигналов детектора и импульса "Строб", разрешающего регистрацию сигналов, показаны на рис. 6. Видно, что временное разрешение детектора /полная ширина на полувысоте/ около 40 нс. При этом измерении конверсионный промежуток отсутствовал.

3.3. Газовое усиление детектора

Коэффициент газового усиления детектора можно определить следующим образом: $K = fG_1G_2$. Величина коэффициента предварительного усиления G_1 определялась экспериментально для различных газовых смесей. На рис. 7 приведены типичные зависимости величины G_1 от напряженности поля в предусилительном промежутке для смеси аргона с 1,6% ацетона /кривая 1/ и 3% ацетона /кривая 2/. Взаимосвязь между величинами напряженности поля в предусилительном промежутке и напряжением, подаваемым на анод МПК, представлена на рис. 8. Все точки приведенных зависимостей отвечают постоянному значению K , обеспечивающему величину центра тяжести амплитудного распределения анодных сигналов, равную 200 мВ.

Зависимости коэффициента предварительного усиления от величины E_1 для газовых смесей аргона с ~2% бензола /кривая 1/ и аргона с ~1,9% толуола /кривая 2/ показаны на рис. 9.

Использование пропана в качестве высокомолекулярной добавки удобно из-за возможности предварительного приготовления бинарной газовой смеси. На рис. 10 приведены величины G_1 в зависимости от E_1 для смеси аргона с 1,5% и 2% пропана - кри-

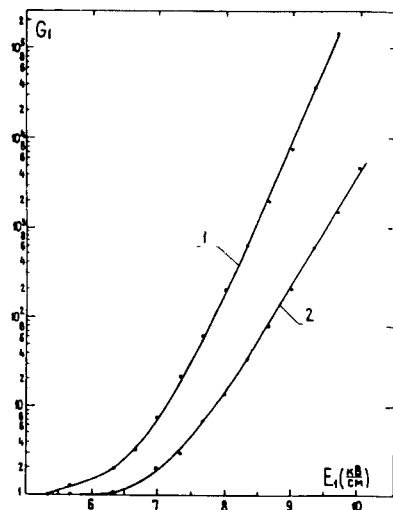


Рис. 7. Коэффициент предварительного усиления в зависимости от напряженности электрического поля. Газовая смесь аргона с 1,6% ацетона /кривая 1/ и 3% ацетона /кривая 2/.

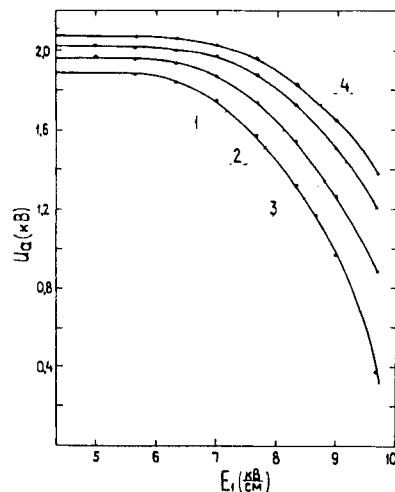


Рис. 8. Зависимости, указывающие на соотношение величин U_a и E_1 , при которых газовое усиление детектора постоянно. Газовая смесь аргона с 1,6%; 2,1%; 2,6%; 3% ацетона - соответственно кривые 1÷4.

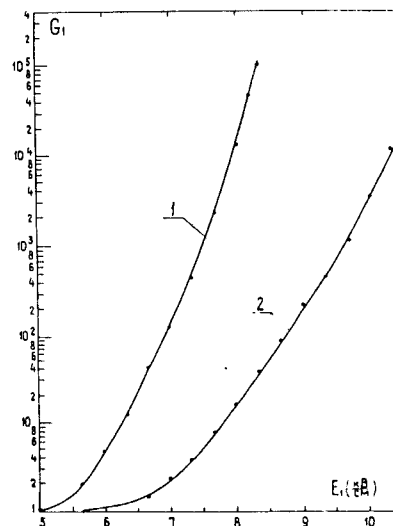


Рис. 9. Коэффициент предварительного усиления в зависимости от напряженности электрического поля. Кривая 1 - аргон с 1,9% бензола, кривая 2 - аргон с 1,9% толуола.

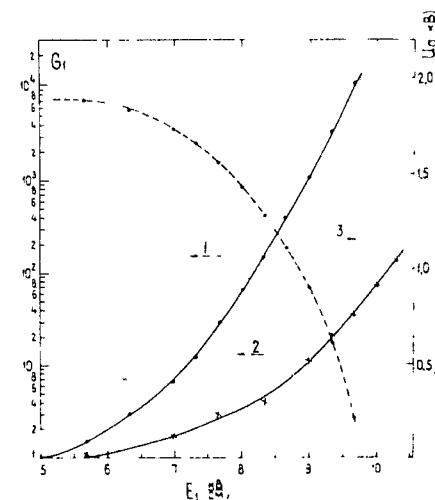


Рис. 10. Коэффициент предварительного усиления в зависимости от напряженности поля - сплошные линии. Зависимость, указывающая на соотношение величин E_1 и U_a , при которых газовое усиление детектора постоянно - пунктирная линия. Газовая смесь аргона с 1,5% пропана - кривые 1 и 3, аргона с 2% пропана - кривая 2.

вые 1 и 2 соответственно. Пунктирная кривая 3 показывает взаимосвязь между величинами E_1 и U_a для смеси аргона и 1,5% пропана. Средняя амплитуда сигнала с анода МПК для всех точек этой зависимости ~200 мВ.

Из зависимостей рис. 7-10 видно, что величина предварительного усиления в промежутке ВС может достигать значения 10^4 - 10^5 , при этом высоковольтное напряжение, подаваемое на пропорциональную камеру, может быть снижено до нескольких сотен вольт. Следует отметить, что при величинах $G_1 \geq 1000$ наблюдаются редкие искровые пробои по площади в предусилительном промежутке.

3.4. Пространственное разрешение

Как было показано в работе^{/4/}, величина пространственного разрешения МСЛК мало отличается от величины пространственного разрешения многопроволочных пропорциональных камер.

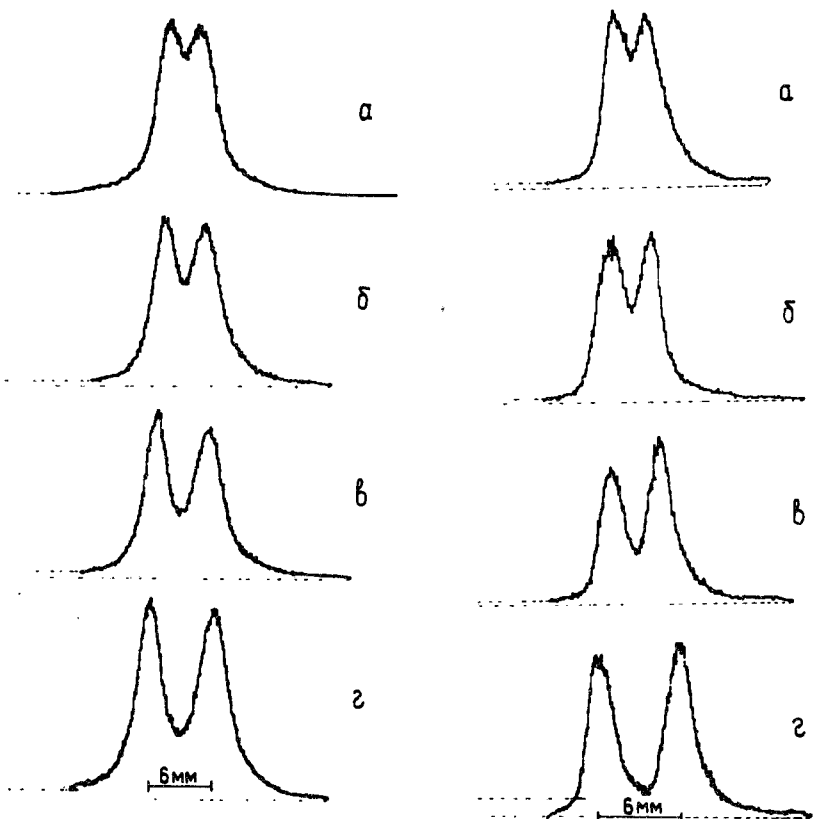


Рис.11. Проекция β -активных пятен ^{32}P диаметром ~ 2 мм. Расстояние между краями пятен 1; 1,5; 3; 4 мм - соответственно проекции а, б, в, г. Газ - аргон и $\sim 2\%$ ацетона. $E_1 \approx 10$ кВ/см, $U_a = 1,9$ кВ.

Рис.12. Проекция пятен ^{14}C диаметром ~ 2 мм. Расстояние между краями пятен 0,5; 1; 2; 4 мм - соответственно а, б, в, г. Газовая смесь - аргон и $\sim 2\%$ ацетона. $E_1 = 10$ кВ/см, $U_a = 1,9$ кВ.

Мы проверили возможность применения МСЛК для пространственной локализации близко расположенных β -активных пятен ^{6,7}, которые помещались на расстоянии около 1 мм от проволочного электрода С /рис.1/.

На рис.11 показаны проекции на одну из координат детектора пятен диаметром ~ 2 мм. Расстояние между краями пятен составляет 1; 1,5; 3 и 4 мм. Радионуклид ^{32}P . Распределения получены с помощью амплитудного анализатора.

На рис.12 приведены подобные распределения для радионуклида ^{14}C . Расстояния между краями пятен /диаметром ~ 2 мм/ составляют 0,5; 1; 2 и 4 мм. Радиоактивности пятен имеют близкое значение.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проверена работа многоступенчатой лавинной камеры при использовании в качестве рабочего газа смеси аргона с добавками ацетона, бензола, толуола, пропана. Показано, что можно получить дополнительное газовое усиление в промежутке предварительного усиления до 10^5 . При этом в случае регистрации частиц с минимальными ионизационными потерями можно значительно понижать напряжение, подаваемое на анод пропорциональной камеры детектора, или чувствительность электронной регистрирующей аппаратуры.

МСЛК можно применять для локализации радиоактивных зон тонкослойных хроматограмм. Способность разрешения двух соседних зон составляет $\sim 0,5$ мм /расстояние между зонами/ для ^{14}C , ^{34}S и около 1 мм для ^{32}P .

В заключение авторы благодарят Ю.Г.Федулова, А.Б.Иванова, М.Н.Михайлову, В.А.Белякова и Н.П.Волкова за помощь в изготовлении детектора и проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Breskin A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1979,161, p.19.
2. Charpak G. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 164, p.419.
3. Melchart G. et al. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1980, vol.NS-27, No.1, p.124.
4. Breskin A. et al. CERN-EP/80-74, Geneva, 1980.
5. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, 18-11346, Дубна, 1978.
6. Zanevsky Yu.V. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1978, 153, p.445.
7. Petersen G. et al. CERN-EP/80-39, Geneva, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 марта 1982 года.

Абдушукуров Д.А. и др.

13-82-216

Исследование характеристик многоступенчатой лавинной камеры

Описана многоступенчатая лавинная камера. Приводятся рабочие характеристики детектора, полученные на стенде с помощью β - и γ -источников. Работа камеры проверялась при использовании в качестве рабочего газа аргона с добавкой паров ацетона, бензола, толуола, пропана в количестве 1-3%. Показано, что в детекторе возможно получение предварительного усиления до 10^5 . При использовании детектора для локализации β -радиоактивности ^{14}C , ^{34}S , ^{32}P возможно разделение зон, удаленных друг от друга на расстояние 0,5-1 мм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Abdushukurov D.A. et al.

13-82-216

Investigation of Characteristics of Multistep Avalanche Chamber

Multistep avalanche chamber is described. The detector performance characteristics obtained on a stand by means of β - and γ -sources are presented. The chamber operation was checked using argon as a working gas with (1-3)% admixtures of acetone, benzene, toluole, propane vapours. It is shown that it is possible to obtain preliminary gain up to 10^5 . When using the detector to localize β -radioactivity of ^{14}C , ^{34}S , ^{32}P it is possible to separate zones removed from each other to a 0.5-1 mm distance.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.