

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

13-85-418

А.Д.Волков, В.М.Гребенюк, Б.Ж.Залиханов,  
Е.В.Комиссаров, В.З.Сердюк, В.В.Сидоркин,  
И.С.Филимонов\*, Я.Яни

РЕГИСТРАЦИЯ КЛАСТЕРОВ ИОНИЗАЦИИ  
С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ  
ДРЕЙФОВОЙ КАМЕРЫ

Направлено в журнал "Приборы и техника  
эксперимента"

---

\* Московский государственный университет

1985

## ВВЕДЕНИЕ

В стандартных дрейфовых камерах пространственная дисперсия, определяющая координатную точность, имеет вид <sup>/1/</sup> :

$$\sigma^2 = A^2 + (\Delta x_{i\text{on}})^2 + (\Delta x_{\text{diff}})^2.$$

Член  $(\Delta x_{\text{diff}})^2$  обусловлен диффузией электронов в процессе дрейфа

$$(\Delta x_{\text{diff}})^2 = B \cdot \frac{2Dx}{\mu E}.$$

$D$  - коэффициент диффузии при нормальном давлении,  $\mu$  - подвижность электронов,  $E$  - электрическое поле,  $x$  - длина дрейфа.

Коэффициент  $B$  учитывает статистические эффекты в процессе диффузии облака из  $n$  электронов <sup>/1/</sup>

$$B = \frac{1}{2 \ln n} \sum_{m=k}^{\infty} \frac{1}{m^2},$$

$k$  - число первых электронов, по прибытии которых электроника измеряет время дрейфа всего облака,  $n$  - число электронов, которые могут быть в числе первых  $k$ .

Если временная привязка осуществляется к первому электрону, то

$$B = \frac{1}{2 \ln n} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m^2} = \frac{1}{2 \ln n} \frac{\pi^2}{6};$$

$$\Delta x_{\text{diff}} = \frac{\pi}{2 \sqrt{3 \ln n}} \sigma_0 \sqrt{x}, \quad \sigma_0 = \sqrt{\frac{2D}{\mu E}}.$$

Член  $(\Delta x_{\text{diff}})^2$  дает основной вклад при длине дрейфа  $\geq 5 \div 10$  мм.

При небольшой длине дрейфа основной вклад в  $\sigma^2$  дает член  $(\Delta x_{i\text{on}})^2$ , обусловленный флуктуациями плотности первичной ионизации. Влияние этого фактора на дисперсию связано с тем, что дрейфовая камера измеряет время прибытия кластеров с минимальным временем дрейфа, а положение последних относительно трека частицы подвержено статистическим флуктуациям. Максимальный вклад  $(\Delta x_{i\text{on}})^2$  дает при  $x = 0$ , при этом он равен <sup>/2/</sup> :

$\Delta x_{i\text{on}} = 1/2\bar{n}$ , где  $\bar{n}$  - среднее число кластеров ионизации на единицу длины пути,  $\bar{n} \sim 10 \div 40$  1/см при  $P = 1$  атм.

Постоянный член  $A$  не зависит от давления, но различен для разных газовых смесей. Наименьшее значение  $A = 20$  мкм было найдено для смеси  $C_2H_4 - C_3H_8$  /3:1/. Этот член, как предполагается в работе<sup>/2/</sup>, обусловлен спектром первичных электронов, флуктуациями лавины при газовом усилении или разрешением электроники.

С целью улучшения точностных характеристик уже при атмосферном давлении был предложен новый тип дрейфовой камеры - камера с растянутым временем (time expansion chamber)<sup>/3/</sup>. Основная трудность при регистрации кластеров состоит в том, что среднее расстояние между ними мало - 200-300 мкм. Для того, чтобы увеличить временной интервал между кластерами и сделать возможной их регистрацию, в камере вводится резкая граница в виде проволочной сетки между областью дрейфа электронов и областью газового усиления. Электрическое поле и газовая смесь в дрейфовой области подбираются так, чтобы обеспечить малое значение скорости дрейфа - 5 мкм/нс. Область газового усиления представляет собой пропорциональную камеру с довольно узким зазором /расстояние между катодной и сигнальной плоскостями 1,5 мм/ и малым диаметром сигнальной проволоки  $\varnothing_d = 7$  мкм/.

В области газового усиления скорость дрейфа составляет 50 мкм/нс, при этом коэффициент растяжки времени равен 10. Параметры пропорциональной камеры выбраны так, чтобы анодный сигнал был способен разделить индивидуальные кластеры первичной ионизации. В камере такого типа можно независимо производить измерение положения нескольких кластеров и фитированием через эти точки восстанавливать истинную координату реального трека<sup>/4/</sup>. Этим, во-первых, подавляется вклад члена  $(\Delta x_{1\text{оп}})$ . Кроме того, измерение центра тяжести пространственного распределения дает точность<sup>/2/</sup>  $\sigma = \sigma_0 / \sqrt{m \cdot n}$ , где  $m$  - число электронов в кластере,  $n$  - число кластеров. При этом значительно уменьшается вклад диффузии по сравнению со стандартным методом.

Реально в такой методике может быть достигнуто улучшение координатной точности в 2-3 раза при атмосферном давлении<sup>/5/</sup>. Сложность камеры такого типа состоит в высоких требованиях, предъявляемых как к конструкции /малый диаметр, узкий зазор/, так и к регистрирующей электронике. Необходимы быстродействующие усилители, чувствительные к одиночным электронам, входящим в процессе дрейфа с трека частицы в детектирующую область. Здесь, кроме того, возникает трудность, связанная с тем, что сигнальная проволока подвержена сильному влиянию высокочастотных помех и наводок по питанию.

Основное физическое ограничение на эффективность регистрации кластеров связано с длительностью сигнала в детекторе. Длительность светового сигнала обусловлена процессами возбуждения электронами атомов и молекул газа и временем высвечивания последних; таким образом при работе в режиме пропорционального усиления исключается вклад ионной компоненты, которая является доминирующей при регистрации электрического сигнала.

В работе<sup>/7/</sup> была показана возможность детектирования кластеров ионизации, в том числе и одиночных электронов, с помощью плоскопараллельного счетчика с растянутым временем со световым съемом сигнала. Было показано, что время высвечивания в газовой смеси  $Ar + CH_4(5\%) + CO_2(5\%) + N_2(7,5\%)$  при атмосферном давлении равно - 1 нс. Это позволило регистрировать кластеры не только для заряженных частиц, но и для  $\gamma$ -квантов низких энергий /-1 кэВ/.

В работах<sup>/8,9,10/</sup> показана возможность создания проволочного детектора с регистрацией светового сигнала при помощи световодов со спектросмещающими добавками. Детектор такого типа обладает большой эффективной площадью при небольшом числе фотоумножителей, и приемлем для реальных экспериментов в физике высоких энергий.

Цель данной работы состоит в исследовании возможности регистрации кластеров ионизации с помощью электролюминесцентной дрейфовой камеры, построенной по такому принципу, для получения дополнительной информации о координате частицы.

## КОНСТРУКЦИЯ КАМЕРЫ

В настоящей работе исследовалась электролюминесцентная дрейфовая камера с растянутым временем. Геометрия камеры показана на рис.1. Сигнальные проволоки из золоченого вольфрама имеют диаметр 20 мкм. Камера состоит из 4 дрейфовых ячеек, ограниченных потенциальными проволоками. Для отделения области дрейфа от области формирования сигнала введены проволочные сетки, выполненные, как и полеформирующие электроды, из бериллиевой бронзы диаметром 100 мкм. Максимальная длина дрейфа составляет 18 мм. На расстоянии 4 мм от катодной плоскости параллельно сигнальной проволоке расположен световод из полиметилметакрилата со сместителем спектра ВВQ, в оптическом контакте с которым с двух торцов установлены фотоумножители.

Световод представляет собой пластину размерами  $4 \times 12 \times 750$  мм<sup>3</sup>. Измерения проводились с помощью коллимированного источника электронов  $^{90}Sr$ . Схема стенда представлена на рис.2. Пучок электронов формировался двумя щелевыми коллиматорами. За камерой устанавливался сцинтилляционный счетчик, который просматривался двумя фотоумножителями типа ФЭУ-85 для подавления собственных шумов ФЭУ, и вырабатывал стартовый сигнал. Камера непрерывно продувалась смесью  $Ar(85\%)$  и  $CH_4(15\%)$ . При напряжении между разделительной сеткой и сигнальной проволокой 1550 В камера работала в пропорциональном режиме. Длительность светового сигнала от одиночного электрона при использовании фотоумножителей ФЭУ-85 либо ХР1020 составила 5-7 нс по основанию. Это связано с временем высвечивания в используемой газовой смеси и согласуется с результатами, полученными в работах<sup>/7,9/</sup>.

Рис.1. Конструкция электролюминесцентной дрейфовой камеры: 1 - сигнальная проволока / $\phi$  20 мкм/, 2 - потенциальная проволока / $\phi$  100 мкм/, 3 - катодная проволока / $\phi$  100 мкм/, 4 - разделительная сетка / $\phi$  100 мкм/, 5 - спектросмещающий световод, 6, 7 - фотоумножители ФЭУ 1 и ФЭУ 2; 8 - входное майларовое окно.

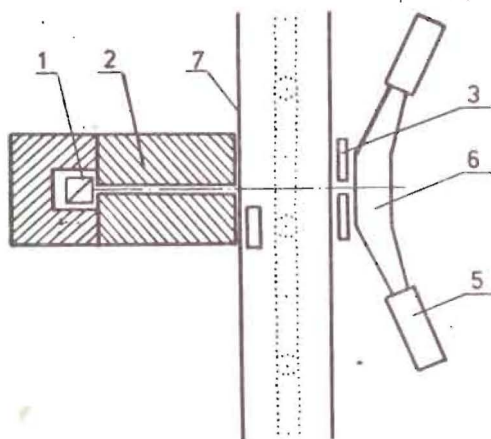
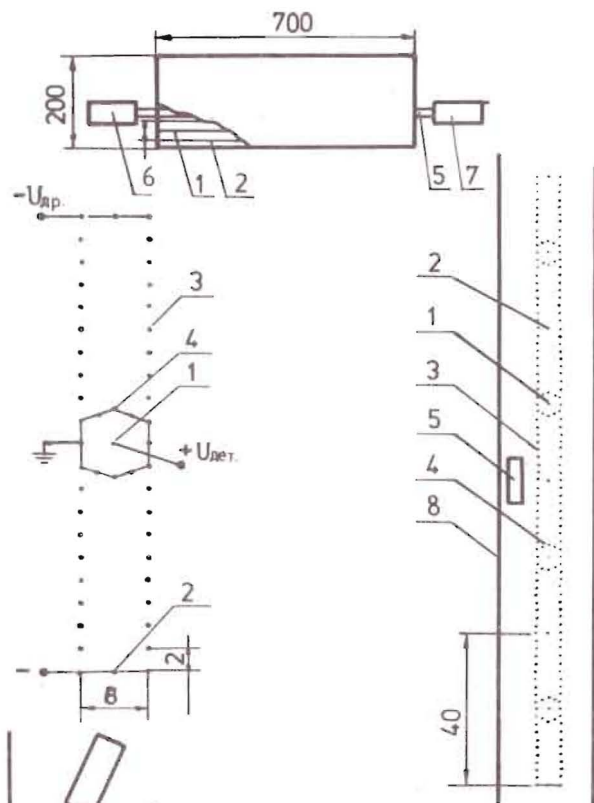


Рис.2. Схема экспериментального стенда при измерениях с  $\beta$ -источником  $^{90}\text{Sr}$ . 1 -  $\beta$ -источник  $^{90}\text{Sr}$ , 2, 3 - свинцовый щелевой коллиматор, 4, 5 - фотоумножители ФЭУ3 и ФЭУ4, 6 - стартовый сцинтилляционный счетчик, 7 - электролюминесцентная дрейфовая камера.

#### ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения проводились двумя независимыми методами: 1/ С помощью быстрого счетчика КС 005 /быстродействие 150 МГц/. 2/ С помощью анализатора формы импульсов АФИ-16<sup>11/</sup>. В обоих методах использовалась одна и та же блок-схема электроники /рис.3/. Стартовый сигнал вырабатывается схемой совпа-

дений СС1, на которую подаются сигналы с фотоумножителей ФЭУ3 и ФЭУ4 сцинтилляционного счетчика. С выхода СС1 сигнал формируется по длительности  $\tau = 1250$  нс/ и подается на схему совпадений СС2, которая выполняет функцию отбора событий для анализа. На входы СС2 подаются также проинтегрированные и сформированные сигналы с анодной проволоки и с фотоумножителя ФЭУ1, установленного в оптическом контакте со световодом камеры. Сигнал с выхода СС2 формируется по длительности и через переменную линию задержки подается на вход управления регистрирующего блока /счетчика либо АФИ-16/. Сигнал со второго фотоумножителя, установленного на камере ФЭУ2, формируется быстрым компаратором  $\tau_{\text{мин}} = 8 \div 10$  нс/ и подается на вход анализатора.

При измерениях, выполненных счетчиком КС-005, он был оборудован устройством управления, которое блокировало его входы до тех пор, пока информация о предыдущем событии не передавалась в память ЭВМ. После этого содержимое счетчика очищалось, блокировка снималась, и он был готов принять новое событие, т.е. сосчитать количество кластеров за время действия сигнала управления. Длительность сигнала управления составляла  $\sim 1,5$  мкс. Увеличение ее в 10 раз не приводило к изменениям результатов. Уменьшение, в особенности при малых дрейфовых полях, приводило к потере информации. Измерения проводились как от коллимированного источника электронов  $^{90}\text{Sr}$  /рис.2/, так и на космическом излучении. В последнем случае камера располагалась горизонтально, а стартовый сигнал вырабатывался совпадениями двух узких сцинтилляционных счетчиков размерами  $500 \times 20 \times 15 / \text{мм}^3$ , установленных по разные стороны камеры, параллельно анодной проволоке.

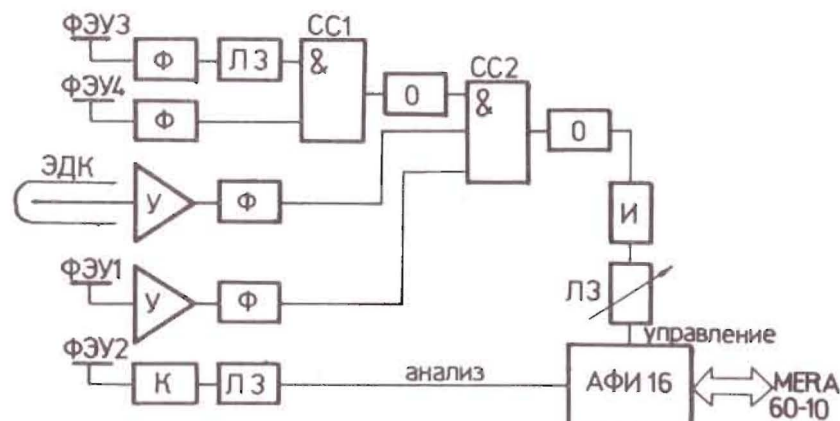


Рис.3. Блок-схема электроники для изучения временной структуры кластерного сигнала. У - усилитель, Ф - формирователь, О - одновибратор, СС1, СС2 - схемы совпадений, ЛЗ - линия задержки, И - инвертор, АФИ-16 - анализатор формы импульсов.

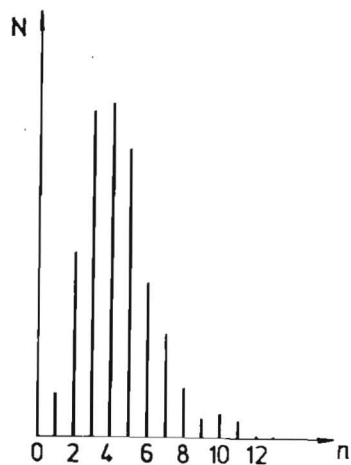
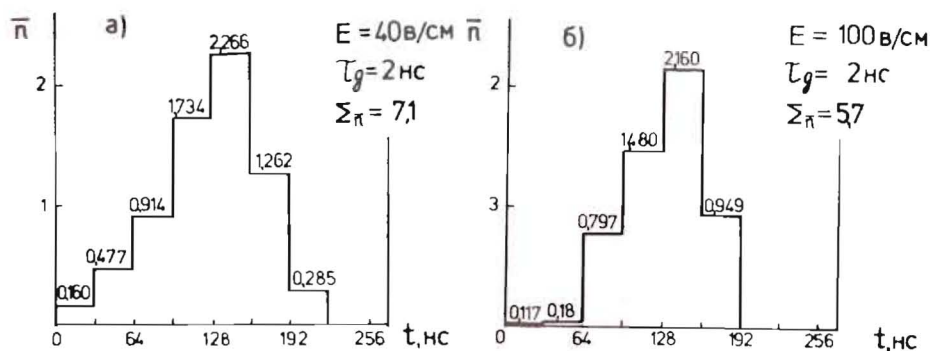


Рис.4. Распределение числа кластеров, измеренное с помощью счетчика КС-005,  $E_{др} \sim 50$  В/см,  $\bar{n} = 4,438$ .

Рис.5. Временная структура кластерного сигнала при дрейфовом поле 40 В/см /а/, 100 В/см /б/. Измерения на АФИ-16, время дискретизации - 2 нс.



На рис.4 показан один из примеров распределения числа кластеров при значении дрейфового поля  $\sim 50$  В/см от коллимированного источника электронов. Аналогичные результаты были получены при измерениях на космическом излучении.

При относительном изменении положения сцинтилляционных счетчиков в плоскости камеры, наблюдалось некоторое увеличение среднего числа кластеров, однако низкая скорость счета на космике не позволила детально исследовать эффект.

Организация наклонного трека от источника  $^{90}\text{Sr}$  также некорректна, так как электроны претерпевают многократное рассеяние в газе и на стенках камеры, поэтому такую проверку следует проводить на ускорителях.

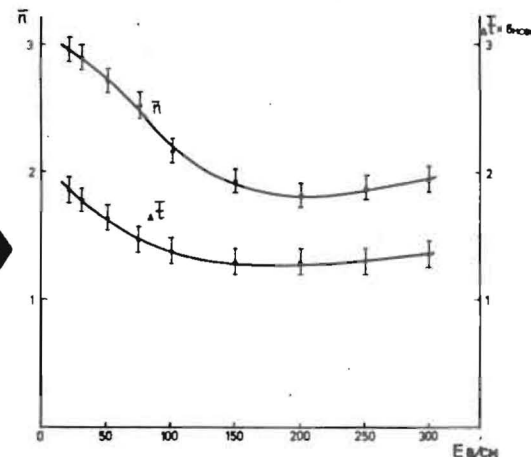
Более полную информацию о временной структуре кластерного сигнала дают измерения, выполненные с помощью АФИ-16. Блок АФИ-16 представляет собой устройство для измерения амплитудной и временной структуры быстрого сигнала /частотный спектр исследуемого сигнала 150-200 мГц/ общей длительностью до 90 нс.

В основу работы прибора положен принцип запоминания сигнала в 16 точках, равномерно расставленных во времени, с последующим измерением встроенным АЦП  $^{11/}$ . Время дискретизации, определяющее цену 1 канала во временной шкале, можно было менять в пределах 2, 3, 4, 5 и 6 нс, при этом анализируемый в сигнале диапазон составлял от 32 до 96 нс.

Для исследования полной структуры кластерного сигнала в управление дискретным образом вводилась задержка, равная полному диапазону по времени, перекрываемому прибором при выбранном режиме работы. Спектры в каждом временном диапазоне набирались по фиксированному числу запусков, равному 4000. Информация из буферной памяти АФИ-16 обрабатывалась на мини-ЭВМ МERA 60-10.

Программа выявляет локальные максимумы над пьедесталом в "оцифрованной осциллограмме" сигнала, и идентифицирует их с числом кластеров. Программа позволяет вывести на цифрочек либо на дисплей форму сигнала, а также гистограммы распределения числа кластеров и временного интервала между кластерами в выбранном для анализа временном интервале. На рис.5 показана зависимость среднего числа кластеров по интервалам, на которых проводились измерения, от времени.

Рис.6. Зависимость среднего числа кластеров ионизации и среднего интервала между ними от дрейфового поля. Время дискретизации АФИ-16 - 6 нс, первые 96 нс структуры сигнала.



Время дискретизации при этом составляло 2 нс. Рис.5а соответствует дрейфовому полю 40 В/см, а рис.5б - полю 100 В/см. Среднее число кластеров, просуммированное по всем временным интервалам, в первом случае равно  $\bar{n} = 7,1$  или  $\approx 11,8$  1/см, во втором -  $\bar{n} = 5,7$  или  $9,5$  1/см.

На рис.6 показаны зависимости среднего числа кластеров и среднего интервала между ними от дрейфового поля в диапазоне полей от 20 до 300 В/см при времени дискретизации 6 нс. При этом анализировались только первые 96 нс структуры кластерного сигнала. В графиках наблюдается минимум при дрейфовых полях  $\sim 200$  В/см, который соответствует максимуму, достигаемому скоростью дрейфа при этих значениях полей, что находится в согласии с существующими экспериментальными данными для исследуемого сигнала.

дованной газовой смеси  $Ar$  (85%) +  $CH_4$  (15%). С уменьшением дрейфового поля и, следовательно, скорости дрейфа, виден рост как среднего интервала между кластерами, так и среднего числа вследствие повышения эффективности их регистрации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследована возможность регистрации кластеров ионизации с помощью электролюминесцентной дрейфовой камеры с целью получения дополнительной информации о координате. Световой сигнал регистрируется световодом, содержащим переизлучатель спектра. Такой детектор приемлем для реальных экспериментов в физике высоких энергий, для которых нужны большие чувствительные площади. Измерения распределений числа кластеров проведены двумя методами: 1/ с помощью быстрого счетчика, 2/ с помощью электронного блока-анализатора формы импульсов с временем дискретизации 2 нс.

Исследована временная структура этих распределений, зависимость этой структуры, а также среднего числа и среднего интервала между кластерами от дрейфового поля.

Авторы признательны В.С.Киселеву, Л.К.Лыткину за полезные советы и обсуждения, В.Ю.Жукову за большую помощь в работе, а также Е.А.Севруку, Н.А.Лебедеву и Р.Е.Русакову за помощь при изготовлении камеры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Farr W. et al. NIM. 1978, 154, p.175.
2. Walenta A.H. et al. "Proc.Int.Conf. on Instrumentation for Colliding Beam Physics", Stanford, 1982, SLAC-25, UC-34d, p.34.
3. Walenta A.H. IEEE Trans.Nucl.Sci., 1979, NS-26, p.73.
4. Walenta A.H. NIM, 1983, 217, p.65.
5. Галактионов Ю.В. "Подготовка экспериментов для нового коллайдера ЛЭП в ЦЕРНе", /конспект лекций/, изд. МИФИ, М., 1984, с.61.
6. Sadoulet B. Preprint CERN-EP/82-41, 1982.
7. Siegmund O.H.W. et al. Nature, 1982, v.295, p.678.
8. Бунятов С.А. и др. В кн.: "Материалы III Рабочего совещания по нейтринному детектору ИФВЭ-ОИЯИ", изд. ОИЯИ, Р1,2,13-83-81, 1983, с.70.
9. Anderson D.F., Charpak G, Preprint CERN-EP/82-05, 1982.
10. Волков А.Д. и др. ОИЯИ, 13-85-417, Дубна, 1985.
11. Сазанский В.Я., Шейнгузихт А.А. Препринт ИЯИ 79-37, СО АН СССР, Новосибирск, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 мая 1985 года.

Волков А.Д. и др.  
Регистрация кластеров ионизации  
с помощью электролюминесцентной дрейфовой камеры

13-85-418

Исследована возможность регистрации кластеров ионизации с помощью электролюминесцентной дрейфовой камеры с целью получения дополнительной информации о координате. Световой сигнал регистрируется световодом, содержащим переизлучатель спектра, и фотоумножителями. Исследованы распределения числа кластеров, временная структура этих распределений, зависимость структуры, а также среднего числа и среднего интервала между кластерами от дрейфового поля. Измерения проводились двумя независимыми методами: 1/ с помощью быстрого счетчика; 2/ с помощью электронного блока анализатора формы импульсов с временем дискретизации 2 нс. Лучшее значение среднего числа кластеров ионизации в геометрии поперечного дрейфа при времени дискретизации 2 нс составило  $11,8 \text{ см}^{-1}$ .

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод М.И.Потапова

Volkov A.D. et al.  
Registration of Ionisation Clusters by Means  
of an Electroluminescent Drift Chamber

13-85-418

A possibility to registrate ionisation clusters by means of an electroluminescent drift chamber for obtaining additional information on the coordinate has been investigated. The light signal is detected by the spectrum shifter and photomultipliers. Distributions of the number of clusters, the time structure of those distributions, dependence of that structure, the mean gap between clusters on the drift field have been studied. The measurements have been performed by two independent methods: (i) using a fast counter; (ii) using the electron block of the pulse shape analyser with digitization time 2 ns. The best value of the mean number of ionisation clusters in the transversal drift geometry was  $11.8 \text{ cm}^{-1}$  for digitization time 2 ns.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1985