

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-92-263

В. Д. Аксиненко, Ю. Н. Волков, Н. С. Глаголева,
Э. В. Козубский, Б. А. Кулаков, А. Т. Матюшин,
В. Т. Матюшин, О. Ю. Мандрик, Я. Мирковски¹,
С. В. Мухин, Н. Н. Нургожин², Л. С. Охрименко,
З. Павловски¹, А. Пиатковски¹, И. С. Саитов,
В. Цудни¹

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПО ДИАМЕТРУ
СТРИМЕРОВ, ОБРАЗОВАННЫХ РЕЛЯТИВИСТСКИМИ
ОДНОЗАРЯДНЫМИ ЧАСТИЦАМИ
В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ

¹ИРЭ ВПИ ПР (Варшава)

²ИФВЭ АН Республики Казахстан

В ходе изучения вопроса об измерении ионизационных потерь заряженных частиц в стримерной камере нами были получены распределения стримеров по их диаметрам на следах однозарядных релятивистских частиц в стримерных камерах СКМ-200^{/1/} и ГИБС^{/2/}, а также построены такие распределения по данным работы^{/3/}, и сделана попытка из анализа этих распределений получить сведения о некоторых специфических характеристиках механизма образования стримеров на следах частиц. Результаты данного анализа и их сравнение со следствиями модели^{/4/} развития стримеров, основанной на учете электростатической энергии, накопленной лавиной, и составляют содержание данной статьи. Частично эти результаты опубликованы ранее в^{/5/}.

Для измерений были отобраны следы максимальной длины заведомо релятивистских однозарядных частиц, расположенные вблизи средней плоскости камеры. Результаты измерений после пересчета в масштаб камеры представлены на рис. 1а,б,в, где каждая гистограмма представляет собой результаты измерений на одном следе. Это сделано для того, чтобы исключить влияние изменений условий образования стримеров от снимка к снимку, в особенности флуктуаций амплитуды высоковольтных импульсов питания камеры. Несмотря на неизбежное сопутствующее обеднение статистики стримеров оказалось возможным провести качественный анализ этих распределений.

Кроме того, из данных, опубликованных в работе^{/3/}, было получено распределение по диаметрам стримеров на следах электронов с энергией в диапазоне 1,3-2,26 МэВ, приведенное на рис. 1 г.

Одним из свойств этих распределений является большой разброс размеров стримеров на каждом из представленных следов, который не может быть объяснен только флуктуациями, возникающими в процессе развития стримеров, а следовательно, зависит от условий образования лавины, что, в первую очередь, требует учета развития лавины от сгустков (кластеров) вторичных электронов, образованных при термализации δ -электронов (первичных электронов с энергией, достаточной для образования хотя бы еще одной электронной пары). Кластером мы здесь называем сгусток вторичных электронов на треке частицы, образованный одним первичным электроном, так как для следа однозарядной релятивистской частицы вероятность случайного сближения нескольких одиночных первичных электронов в сгусток мала.

Для анализа экспериментальных результатов была привлечена модель^{/4/} развития стримера, основанная на учете электростатической энергии, накопленной лавиной. Одним из следствий этой модели является пропорциональность объема стримера числу электронов в нем. Отсюда появляется возможность связать

Общественный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

диаметр стримера с числом первичных электронов в кластере, инициировавшем данный стример. Предполагая отсутствие корреляции между числом электронов в кластере (кратностью кластера) и коэффициентом газового усиления в лавинах, образованных каждым отдельным электроном кластера, можно считать величину d^3 (d -диаметр стримера) приближенно пропорциональной кратности кластера.

Естественно, что приведенные выше соображения справедливы только для δ -электронов, инициирующих один стример, и несправедливы для высокоэнергичных, инициирующих цепочку стримеров. Однако частота появления таких δ -электронов очень мала, т.к. для камер, наполненных неонем, при атмосферном давлении пробег δ -электронов даже с энергией порядка нескольких десятков кэВ, остается по величине меньше, чем возможный диаметр стримера, а число таких δ -электронов составляет менее одного процента от их общего количества.

Из данных работы^{6/}, посвященной детальным расчетам образования лавин в газоразрядных детекторах, следует, что для кратностей больше двух распределение кластеров по кратности приблизительно пропорционально распределению δ -электронов по кинетической энергии. Сравнение отличий от пропорциональности этих двух распределений с точностями экспериментальных данных на рис.1 позволяет в нашем случае пренебречь этими отличиями.

Исходя из изложенных выше соображений, в основу анализа было положено сравнение экспериментальных данных с интегральным распределением передаточной энергии электронам однозарядной частицей в индивидуальных столкновениях с атомами газов в минимуме ионизации. Соответствие между шкалой "диаметр в кубе" и энергетической шкалой устанавливалось путем подбора нормировочного коэффициента, дающего наилучшее согласие расчета с экспериментом в жесткой части спектра, где указанные выше предположения вполне справедливы.

Для стримерных камер с непосредственным фотографированием треков (рис. 1 а-в) характерно значительное расхождение между распределением стримеров по кубу диаметров и энергетическим спектром δ -электронов в мягкой его части, что находит естественное объяснение в наличии порога регистрации стримеров. На рис. 1 а,б значение полной плотности стримеров, равное $2,0 \text{ см}^{-3}$, соответствует части энергетического спектра с $\epsilon > 100 \text{ эВ}$. Эффективный энергетический порог в 100 эВ , в свою очередь, соответствует эффективному порогу по кратности около трех электронов на кластер. Порог по кратности вычислялся путем деления значения энергетического порога на величину средней энергии, затрачиваемой на образование одной пары ион-электрон в неоне ($36,4 \text{ эВ}$). Соответствующие эффективные пороги на рис.1в равны 145 эВ и $4,0$ электрона на

кластер. Приведенные значения кратности кластеров, естественно, относятся к случаю достаточно чистого газа в камере, когда прилипанием электронов за время задержки между моментами прохождения частиц и подачей высоковольтного импульса можно было пренебречь. В общем случае регистрируемая кратность кластера определяется числом электронов, оставшихся к моменту подачи высоковольтного импульса.

Таким образом, в стримерных камерах, результаты для которых представлены на рис.1а-в, стримеры образованы в основном не одиночными первичными электронами, а кластерами из нескольких электронов.

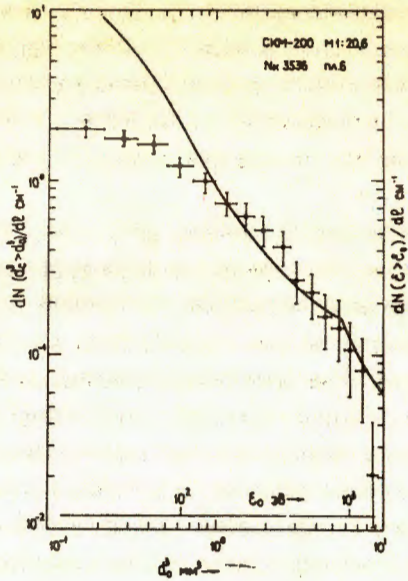
Данные, представленные на рис.1 г, получены в специальных условиях методических исследований. При этом был реализован режим с эффективным порогом регистрации около одного электрона на кластер^{13/}. Однако практически все стримерные камеры, используемые в экспериментальных установках, имеют достаточно большие размеры, работают в условиях регистрации широкого спектра частиц по энергии и вряду с ионизирующей способностью, различающейся на несколько порядков. Следы продуктов ядерных взаимодействий и энергичных δ -электронов не могут быть зарегистрированы без перегрузки по свету существующими регистрирующими устройствами. Оптимизация режима регистрации в этих условиях вынуждает повышать эффективный порог регистрации до кратностей, значительно превышающих единицу.

Учет флуктуаций кратности кластеров первичных электронов, инициировавших стримеры, позволяет, кроме того, дать объяснение различиям в экспериментальных значениях коэффициента диффузии электронов в работах^{1,2,3,8-12/}. В этих работах для определения коэффициента диффузии фактически использовалось соотношение

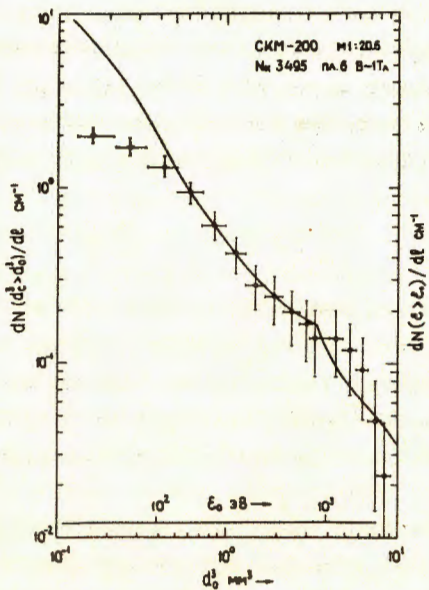
$$\sigma = 2Dt \quad \text{и} \quad D = \frac{\sigma^2}{2t}, \quad (1)$$

где σ -экспериментально измеряемое среднеквадратичное отклонение центра стримера от траектории заряженной частицы (диффузия стримеров), D -коэффициент диффузии электронов в газе камеры, t -время задержки подачи высоковольтного импульса после прохождения заряженной частицы, т.е. использовалось предположение, что все стримеры инициированы одиночными первичными электронами.

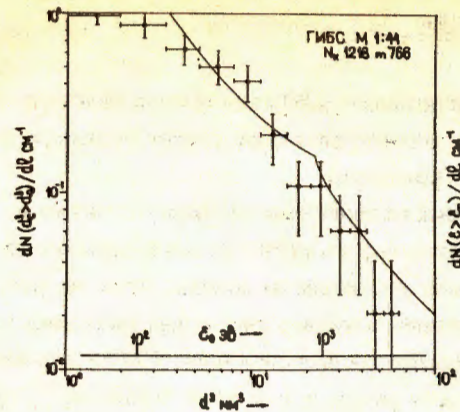
Однако, как было показано выше, значительная часть стримеров неизбежно имеет кратность кластера, превышающую единицу. Для них среднеквадратичное отклонение σ будет определяться смещением центра кластера вследствие диффузии электронов, входящих в него, т.е.



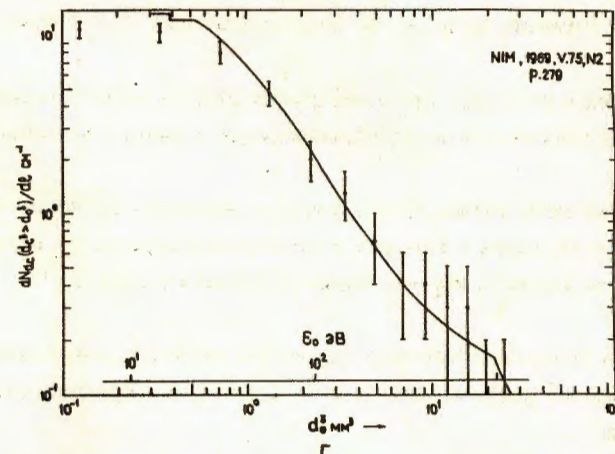
а



б



в



г

Рис.1. Интегральные распределения плотностей стримеров $dN(d_c^3 > d_0^3)/dl$ на следах релятивистских τ -мезонов:

а-камера СКМ-200^[1] без магнитного поля;

б-камера СКМ-200^[1] с магнитным полем около 1Тл;

в-камера ГИБС^[2] с магнитным полем около 1Тл;

г-распределение плотностей стримеров на следах релятивистских электронов по данным для камеры^[3] без магнитного поля.

Сплошные линии—теоретические распределения $dN(\epsilon > \epsilon_0)/dl$ передач энергии в неупругих столкновениях однозарядной релятивистской частицы с атомами неона в минимуме ионизации при нормальных условиях^[7].

$$\sigma = \frac{2Dt}{m} = 2D_c t, \quad (2)$$

где $D_c = \frac{D}{m}$ — коэффициент диффузии центра кластера, определявшийся в цитируемых работах, соответствующий центру стримера; m — число электронов в кластере (кратность кластера).

На рис. 2 представлена зависимость экспериментально определенных значений D_c от эффективного порога регистрации по кратности, который вычислялся нами описанным выше способом из данных этих же работ о плотности стримеров. Сплошной линией показана расчетная зависимость при $D \approx 2000 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ (для неона) в отсутствие магнитного поля. Видно хорошее согласие расчета с экспериментом для всех работ, в том числе и работы ^{/9/}, где применялась особо тщательная очистка неона от примесей ($D \approx 3000 \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$) и $m \approx 1$. В нижней части рисунка пунктирной линией даны результаты расчета D_c в магнитном поле 1 Тл и соответствующие экспериментальные значения, полученные в работах ^{/2/} и ^{/11/}.

Таким образом, реальные значения коэффициента диффузии одиночных электронов должны получаться из экспериментальных данных в соответствии с формулой (2).

Следует отметить также, что кратность кластера проявляется и в амплитудном спектре сигналов в камерах с пропорциональным дрейфом электронов. Качественно эта картина хорошо иллюстрирована в работе ^{/13/}.

Выводы:

1. Большой разброс диаметров стримеров является неизбежным эффектом, который обусловлен вкладом электронных кластеров, образованных отдельными δ -электронами.

Более того, практически все стримерные камеры, используемые в экспериментальных установках, имеют эффективный порог регистрации по кратности кластера, значительно превышающий единицу, т.е. стримерный след в них образуется в основном δ -электронами, так как низкий порог приводит к перегрузке регистрирующих устройств по свету стримеров от энергичных δ -электронов и вторичных продуктов взаимодействий.

Приведенные экспериментальные данные о регистрации стримеров на следе частицы, т.е. о регистрации надпороговой части спектра локальных ионизационных потерь энергии в индивидуальном столкновении частицы с атомами газа камеры, не противоречат предположению о том, что фактически стримерная камера — это линейный усилитель ионизации, т.к. число электронов в стримере пропорционально кратности кластера.

2. Наблюдаемая на следе плотность стримеров однозначно определяется эффективным энергетическим порогом регистрации. Наличие эффективного порога регистрации по кратности должно учитываться при измерении коэффициента диффузии электронов по фотографиям стримеров.

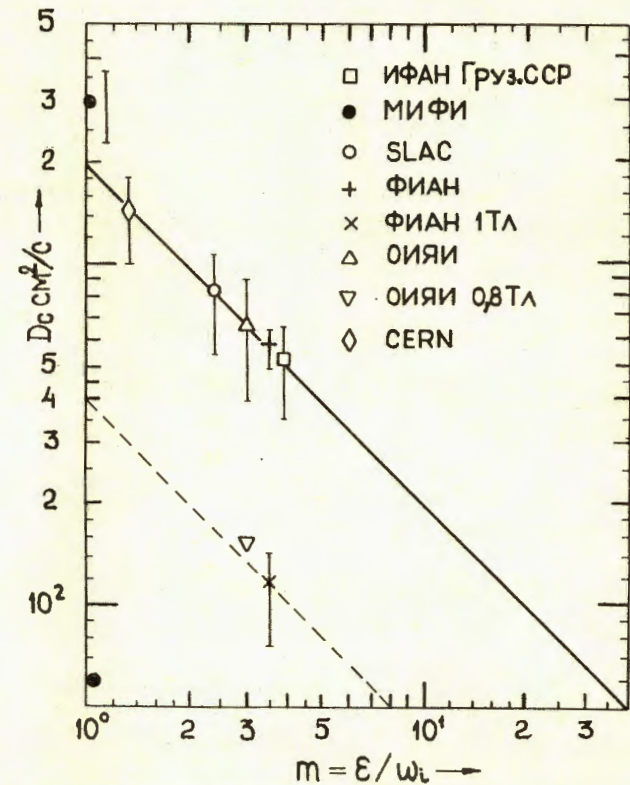


Рис. 2. Зависимость коэффициента диффузии D_c стримеров от кратности кластеров, инициирующих стримеры Δ , \square , \bullet , \circ , $+$, \diamond , — по данным работ ^{/1,3,9,10-12/} соответственно для камер без магнитного поля; ∇ , \times — по данным работ ^{/1,11/} соответственно для камер с включенным магнитным полем.

Литература.

1. Vardenga G.A., Volodin V.D. et al. In: 1973 Int. Conf. on Appl. Instr. for High Energy Physics, Frascati, Italy, 1973, Proc. p.157.
2. Аникина М.Х., Абдурахимов А.У., Авраменко С.А., Аксиненко В.Д. и др. Краткие сообщения ОИЯИ N1[34]-89, Дубна, 1989
3. Davidenko V., Dolgoshein B. and Somov S. Nucl. Instr. Meth. V.75, N2, p.277, 1969.
4. Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Нургожин Н.Н. Сообщение ОИЯИ P12-83-2328, Дубна, 1983
5. Аксиненко В.Д., Глаголева Н.С., Матюшин А.Т., Матюшин В.Т., Саятов И.С. Авторское свидетельство на изобретение N1599819 ОИПОТЗ, 1990, N38, с.280.
6. Larique F., Piuz F. Nucl. Instr. Meth., vol.175, N2, p.267, 1980.
7. Ermilova V.C., Kotenko L.P. and Merzon G.I. Nucl. Instr. Meth. 145, N3, p.555 (1977).
8. Чиковани Г.Е., Ройнишвили В.Н., Михайлов В.А. ЖЭТФ, т.46, вып.4, с.1238, 1964 .
9. Давиденко В.А., Долгошеин Б.А. и др. ЖЭТФ, т.57 вып.1.(7), с.84, 1969 .
10. Bulos F., Odian A. et al. SLAC Report, 74, 1967.
11. Дайон М.Н., Егоров О.К. и др. ПТЭ, 1970, N5, с.64.
12. Lecoq P., Marrion C. and Rohrbach F. CERN/EF/INSTR 78-2, 1978
13. Valenta A.H. et al. IEEE Trans. Nucl. Sci., 1979, v.26, p.73

Рукопись поступила в издательский отдел
23 июня 1992 года.

Аксиненко В.Д. и др.

P1-92-263

Исследование распределений по диаметру стримеров, образованных релятивистскими однозарядными частицами в стримерной камере

Получены распределения стримеров по их диаметрам на следах однозарядных релятивистских частиц в стримерных камерах SKM-200 и ГИЭС, а также построены такие распределения по литературным данным. Показано, что распределения куба диаметров стримеров соответствуют надпороговой части спектра передач энергии электронам атомов газа камеры такими частицами в индивидуальных столкновениях, а эффективный энергетический порог регистрации однозначно определяет плотность стримеров на следе частицы. Камера регистрирует стримеры, развившиеся, в основном, от группы электронов (электронных кластеров) следа, образованных одним первичным электроном до подачи высоковольтного импульса. Для больших камер эффективный энергетический порог регистрации ~ 100-150 эВ, что соответствует ~ 3-4 начальным электронам лавины (кратности кластера ~ 3-4), давшей начало регистрируемому стримеру. Объем стримера пропорционален числу электронов в нем, что соответствует результатам, полученным в модели развития стримера, основанной на учете электростатической энергии, накопленной лавиной.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Aksinenko V.D. et al.

P1-92-263

Investigation of Distributions of Streamer Diameters, Produced by Relativistic Single-Charged Particles in the Streamer Chamber

The distributions of streamer diameters on singly charged particle tracks for the streamer chambers SKM-200 and GIBS as well as for the published data are obtained. It is shown that the streamer diameter distributions correspond to the spectrum of energy transferred from a singly charged particle to chamber gas atomic electrons above the registration threshold, and the effective energy threshold of registration unambiguously determines streamer density on tracks. A streamer chamber registers streamers each of which developed mainly from a group of electrons (electron cluster) produced by an initial electron knocked out by the charged particle before a high voltage is applied. The effective energy threshold for large chambers is about 100-150 eV that corresponds to 3-4 electrons (cluster multiplicity ~ 3-4) initiating an avalanche giving a start for a streamer. The streamer volume is proportional to the number of electrons in it and what corresponds to the results obtained in the model of streamer development based on consideration of electrostatic energy accumulated in an avalanche.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1992