

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ИОНИЗАЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ В СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЕ СПЕКТРОМЕТРА РИСК

А.В.Банников, Я.Бэм, Л.С.Вертоградов, Я.В.Гришкевич,
А.К.Джавришвили*, З.В.Крумштейн, Т.А.Ломтадзе*,
Ю.П.Мереков, В.И.Петрухин, К.Пишка, Э.Г.Цхададзе*,
К.Шафарик, Г.А.Шелков

Описывается процедура извлечения информации об ионизационных потерях частиц из полученных на измерительном автомате АЭЛТ-2/160 данных о микроструктуре треков в стримерной камере спектрометра РИСК. В качестве параметра, учитывающего нестациональности систем стримерной камеры и параметров фотоматериала, предлагается использовать среднюю величину диаметра стримеров на треке, измеряемую непосредственно на фотоплёнке. Наблюдается различие ионизационных потерь π^- -мезонов и антипротонов с импульсом 38 ГэВ/с в согласии с теоретическими оценками. Достигнутая точность измерения ионизации близка к теоретически возможной.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Primary Ionization Measurement of Relativistic Particles in the RISK Spectrometer Streamer Chamber

A.V. Bannikov et al.

Procedure of ionization information extraction from the data on streamer chamber track microstructure in RISK spectrometer streamer chamber obtained on the automatic measuring system based on AELT-2/160 cathode ray tube is described. The possibility of using average value of streamer diameter on a track measured directly on a film is proposed. It is used as a parameter making allowance for instabilities of streamer chamber systems and of photographic material parameters. The difference is observed between ionization losses of 38 GeV/c π^- -mesons and antiprotons which agrees with theoretical estimates. The accuracy achieved

* Институт физики АН ГССР, Тбилиси

ved of the ionization measurement is near to the theoretical limit.

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

Введение

Принципиальная возможность идентификации релятивистских частиц путем измерения первичной ионизации в стримерной камере была экспериментально доказана^{/1/} в 1968 г. За прошедшее время был выполнен ряд методических работ^{/2-5/}, подтверждающих эту возможность. Среди них выделяется работа^{/5/}, выполненная в ЦЕРНе в 1977 г., в которой реальность идентификации релятивистских частиц была продемонстрирована для большой стримерной камеры 2,7x1,5x0,5 м в условиях, типичных для экспериментов на интенсивных пучках частиц - укороченное до ~1 мкс время памяти /путем введения добавки электроотрицательного газа/ и, как следствие этого, не 100%-эффективность регистрации центров первичной ионизации. В эксперименте^{/3,6/} стримерная камера использовалась для поиска свободных кварков с дробным зарядом. Проблемы идентификации частиц в этом случае проще, чем в случае частиц равных зарядов, так как ионизационные потери пропорциональны квадрату заряда частиц. До сих пор, однако, нет ни одной работы, в которой бы указанная способность стримерной камеры использовалась для идентификации релятивистских частиц равных зарядов в каком-либо конкретном эксперименте. Это объясняется, в первую очередь, сложностью задачи, поскольку разность ионизационных потерь релятивистских частиц не превышает ~20% и для их идентификации требуется обеспечить точность измерения порядка нескольких процентов. Для решения этой проблемы необходимо, во-первых, обеспечить долговременную стабильность параметров работы всех систем стримерной камеры, во-вторых, разработать методы массового измерения и обработки фильмового материала, существенно отличающиеся от традиционных методов.

Как и в работах^{/3,6/}, для измерения ионизации на фильмо-вом материале спектрометра РИСК^{/7/} был выбран измерительный автомат на базе электронно-лучевой трубки - в нашем случае АЭЛТ-2/160^{/8/}. Ряд особенностей этих приборов, и в первую очередь, возможность переменного направления сканирования, которое может быть всегда выбрано перпендикулярным к следу частицы /для АЭЛТ-2/160 это пока только принципиальная возможность/, делают их наиболее пригодными для измерения микроструктуры треков, а именно в ней и заключена информация об ионизационных потерях частиц.

В работе ^{9/} были исследованы основные характеристики АЭЛТ при измерении फिल्मового материала спектрометра РИСК. Цель настоящей работы - выработка процедуры извлечения из этих данных информации об ионизационных потерях частиц.

Исходные данные и метод обработки

Исходным материалом для данной работы служила информация о микроструктуре ~200 треков пучковых π^- -мезонов и антипротонов с импульсом 38 ГэВ/с. Частицы пересекают стримерную камеру в горизонтальной плоскости на 2 см выше оси камеры. Диаметр пучка на входе в камеру 2,5 см, угловая расходимость ± 2 мрад. Частицы выделялись и идентифицировались шестью сцинтилляционными и тремя газовыми пороговыми черенковскими счетчиками. Для усиления количества света от стримеров в оптических каналах использовались двухкаскадные электронно-оптические преобразователи /ЭОП/ с коэффициентом усиления ~100. Разрешение оптической системы на пленке составляло ~20 пар линий на мм, фактор уменьшения ~60, следовательно, разрешение в пространстве ~3 мм. При таком разрешении измерение микроструктуры треков с небольшой плотностью / < 3 стримеров/см/ реальнее. Количество центров первичной ионизации, производимых в рабочем газе стримерной камеры РИСК /70% Ne + 30% He/ π^- -мезонами с импульсом 38 ГэВ/с, существенно больше ~13 см⁻¹. Уменьшая с помощью добавки электроотрицательного газа /SF₆/ время памяти стримерной камеры при фиксированной величине задержки высоковольтного импульса относительно момента прохождения частицы через стримерную камеру, можно уменьшить эффективность регистрации центров первичной ионизации до необходимого уровня.

На измерительном автомате ОИЯИ АЭЛТ-2/160 в режиме сканирования с малым шагом /20 мкм/ измерялся फिल्मовый материал двух первых /из четырех/^{10/} стереопрооекций, охватывающих начальную по пучку половину стримерной камеры. Для исключения на первом этапе обработки эффектов, вызванных нелинейными искажениями на краях поля зрения ЭОП, анализировались результаты, полученные для участков треков, регистрируемых центральной частью ЭОП данного стереовида / ~50 см/. Таким образом, ионизация измерялась на длине трека, равной одному метру /2·0,5 м/. Данные, полученные на АЭЛТ, фильтровались /отбрасывались фоновые отсчеты, лежащие в стороне от траектории частицы/ и предварительно обрабатывались по процедуре, описанной в работе ^{11/}. В результате этой обработки для каждого трека на магнитную

ленту записывалась информация о всех "темных" объектах /сгустках/ трека /координаты начала и конца сгустка вдоль трека и максимальный размер сгустка в поперечном направлении/, а также информация о всех стримерах, "извлеченных" из сгустков /координаты центра и диаметр стримера/. Проверка повторяемости результатов, получаемых в ходе обработки, была выполнена в работе^{/9/} по данным многократных измерений одного и того же трека. Показано, что основные величины, характеризующие микроструктуру треков, измеряются с точностью ~ 3%.

Основная задача настоящей работы состояла в извлечении из этого материала информации об ионизационных потерях частиц без привлечения каких-либо дополнительных данных, и в первую очередь, данных об амплитуде импульса высоковольтного питания стримерной камеры. Во всех предыдущих работах по измерению ионизации в стримерных камерах вводились ограничения или поправки на величину высоковольтного импульса. Но точное в течение длительного /многосуточного/ периода измерение амплитуды высоковольтного сигнала - технически трудная задача. Кроме того, на получаемый результат влияют и другие причины /непостоянство характеристик фотопленки, режима проявления и т.д./. Поэтому, несмотря на высокие характеристики аппаратуры спектрометра РИСК, в качестве параметра, чувствительного ко всякого рода аппаратурным нестабильностям, предлагается использовать средний диаметр стримера, измеряемый непосредственно на фотопленке для каждого трека или даже его части.

Выбрав средний диаметр стримера в качестве параметра, учитывающего влияние аппаратуры на измерение ионизации, необходимо было обеспечить максимально возможную в данных условиях точность его определения. Традиционное для процедур автоматической обработки разбиение изображения трека частицы на сгустки и просветы^{/5/} дает неполную информацию о диаметре стримеров. В реальных условиях соседние стримеры сливаются в сгустки, поэтому при использовании сгустка в качестве единицы информации на треке уменьшается статистическая обеспеченность оценки величины диаметра стримеров. Для уменьшения влияния эффекта объединения в работе^{/10/} был предложен простой алгоритм "вырезания" стримеров из сгустков, принцип работы которого понятен из рис.1. По данным о ~100 треках, усредненных в пределах одного вида /вида 3/, средние значения диаметра сгустка /стримера/ равны $85,2 \pm 0,2$; $177,5 \pm 0,1$ мкм на фотопленке со среднеквадратичным разбросом $16,7$ / $11,5$ / мкм. Из приведенных данных следует, что применение процедуры "вырезания" позволяет повысить точность измерения диаметра в ~1,5 раза.

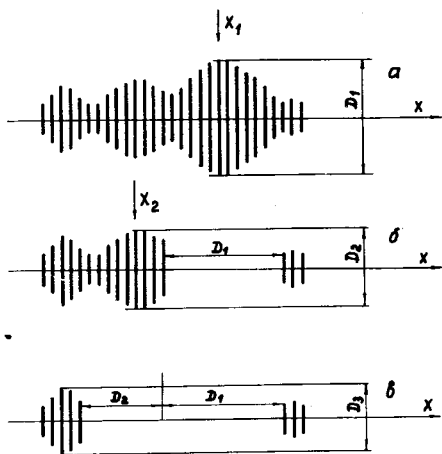
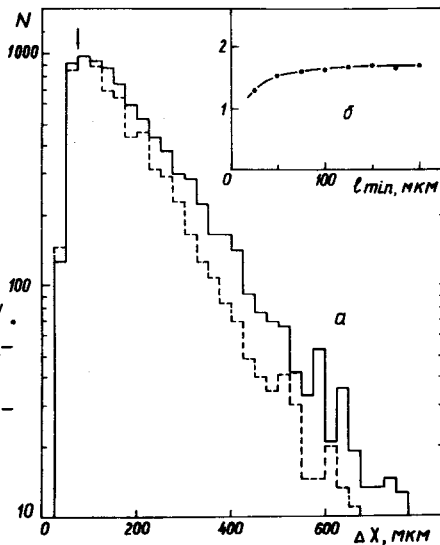


Рис. 1. Схематическое изображение принципа работы процедуры "разрезания" сгустка на стримеры: а, б, в - последовательные этапы; D_i, X_i - диаметр и координата по оси X i -го вырезанного стримера.

Рис. 2. Распределения расстояний между центрами соседних "вырезанных" стримеров для треков π^- -мезонов /пунктир/ и антипротонов /сплошная линия/ с импульсом 38 ГэВ/с /а/. В распределениях просуммированы данные о ~60 треках длиной 50 см. Зависимость величины ионизации (I) для π^- -мезонов, определяемой по формуле /1/, от величины параметра ℓ_{\min} /б/.



Результаты

Принципы извлечения информации об ионизационных потерях частицы из данных обработки фильмового материала трековых детекторов подробно изложены в работах ^{/12, 13/}. Величина среднего расстояния между краями соседних стримеров (ℓ) связана с первичной ионизацией частицы /числом центров первичной ионизации на единице длины трека/ простой формулой

$$I = (\ell - \ell_{\min})^{-1}, \quad /1/$$

где ℓ_{\min} - величина, определяемая, в основном, пространственным разрешением детектора. Согласно этой формуле величина ионизации /1/ не зависит от диаметра стримеров на треке, поэтому ее рекомендуется использовать для первых оценок. На рис. 2а приведены гистограммы распределений расстояний между центрами соседних "вырезанных" стримеров для всей измеренной статистики π^- -мезонов /пунктир/ и антипротонов /сплошная линия/. На рис. 2б приведена зависимость иони-

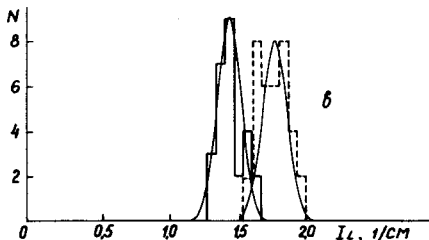
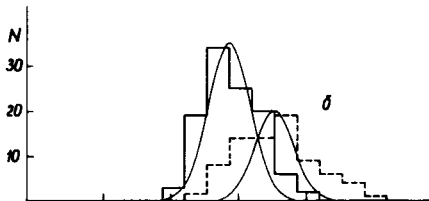
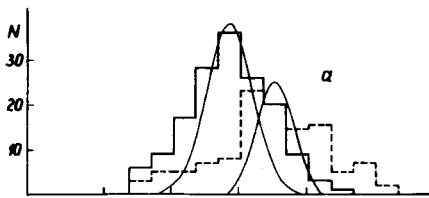


Рис.3. Гистограммы распределений величины ионизации (I_L), определенной методом скважности для треков длиной 50 см π^- -мезонов /пунктир/ и антипротонов /сплошная линия с импульсом 38 ГэВ/с. Плавные кривые - распределения Пуассона для $N = 70$ - ожидаемого числа центров первичной ионизации /а/. То же после введения коррекции на величину среднего диаметра стримеров на трекке /б/. То же для трека длиной 2м /см. текст/. Распределения Пуассона для $N = 280$ /в/.

зации, определенной по формуле /1/, от величины ℓ_{\min} . Из рисунка видно, что, начиная с $100 \div 120$ мкм, данные в пределах ошибок не зависят

от величины ℓ_{\min} . Средняя величина ионизационных потерь π^- -мезонов и антипротонов $[\ell_{\min} = 100 \text{ мкм}]$, усредненная по данным для ~ 120 треков,

$$I_{\pi} = (1,67 \pm 0,03) \text{ см}^{-1}, I_p = (1,40 \pm 0,02) \text{ см}^{-1} \quad /2/$$

$$\Delta I/I = (I_{\pi} - I_p) / I_{\pi} = (16 \pm 2)\% .$$

Теоретические оценки ионизационных потерь^{/14/} в газе стримерной камеры спектрометра РИСК /30% He + 70% Ne/ дают для тех же величин

$$(I_{\pi})_{\text{теор.}} = 13,00 \text{ см}^{-1}, (I_p)_{\text{теор.}} = 11,00 \text{ см}^{-1}, \quad /3/$$

$$\Delta I/I = 15,4\% .$$

Из этих данных следует, что в стримерной камере можно видеть различие ионизационных потерь π^- -мезонов и антипротонов с импульсом 38 ГэВ/с в согласии с теоретическими оценками. В то же время необходимо еще раз отметить, что результаты получены на основе усреднения данных о ~ 120 полуметровых треках, т.е. для трека "длиной" 60 м, что существенно превышает реально измеряемые длины треков $2 \div 4$ м.

На рис.3а приведены гистограммы распределений величины ионизации (I_L), определенной методом скважности:

$$I_L = -\ln L / (\ell_{\min} + D), \quad /4/$$

где L - скважность трека, $L = 1/x \cdot \sum (\ell - \ell_{\min})$, X - длина трека, ℓ и ℓ_{\min} - те же, что и в формуле /1/, D - средний диаметр стримеров на треке. Ионизация определялась для участков треков /вид 3/ π^- -мезонов /пунктир/ и антипротонов /сплошная линия/ длиной 50 см:

$$I_{\pi} = (1,73 \pm 0,03) \text{ см}^{-1}, \quad \sigma_{\pi} = (0,41 \pm 0,03) \text{ см}^{-1},$$

$$I_p = (1,42 \pm 0,02) \text{ см}^{-1}, \quad \sigma_p = (0,33 \pm 0,02) \text{ см}^{-1},$$

где σ - среднеквадратичный разброс распределения. Согласно этим оценкам, совпадающим в пределах ошибок с приведенными ранее оценками /2/, на полуметровом участке трека должно быть, в среднем, около семидесяти регистрируемых центров первичной ионизации. Плавные кривые на рис.3а,б - распределения Пуассона для этой величины / $N = 70$ /. Относительная величина среднеквадратичного разброса для экспериментально полученных распределений $\sim 24\%$, что вдвое больше ожидаемого из распределения Пуассона / $\sim 12\%$ /. Из этих данных видно, что идентификация отдельных коротких треков невозможна. На рис.4 приведены зависимости средних величин ионизации, определенных по методу скважности, (I_L), от среднего диаметра (D) стримеров на 50 см треке. Светлые точки - данные для π^- -мезонов, темные - для антипротонов. Из рисунка видно, что каждая группа данных хорошо аппроксимируется линейной зависимостью. Углы наклона аппроксимирующих прямых в пределах ошибок совпадают. Это позволяет ввести коррекцию величины ионизации на значение среднего диаметра стримеров /привести все данные к единому диаметру/ в виде

$$I^* = I - K(D - D_0),$$

где I и D - измеренные на данном треке величины ионизации и среднего диаметра стримеров, D_0 - нормировочная константа, определяющая, к какому значению диаметра пересчитываются данные. Величина постоянна для данного оптического канала /вида/ спектрометра и равна средней величине диаметра стримеров на данном виде. K - коэффициент, равный тангенсу угла наклона прямой, аппроксимирующей зависимость I от D . Для ионизации, определяемой методом скважности, $K = /0,16 \pm 0,02/ \text{ мкм}^{-2}$.

На рис.3б приведены гистограммы тех же, что и на рис.3а, распределений после приведения данных к единому значению среднего на треке диаметра стримеров. Распределения "сузились": $\sigma_{\pi} \sim \sigma_p = /15 \pm 1/ \%$ и приблизились к теоретической величине $\sigma \approx 12\%$. Дальнейшее существенное улучшение разрешения возможно только за счет увеличения измеряемой длины трека частицы.

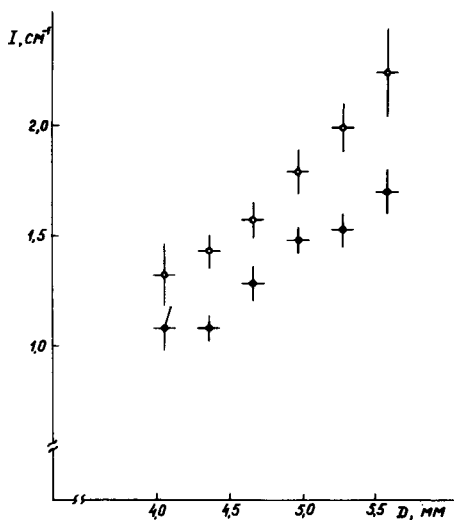


Рис.4. Зависимости средних величин ионизации (I_L), определенных методом скважности, от среднего диаметра (D) стримеров на 50 см треке для π^- -мезонов /светлые точки/ и антипротонов /темные точки/ с импульсом 38 ГэВ/с.

На рис.3в приведены гистограммы распределений величины ионизации, измеряемой на двухметровом треке /суммируются данные обработки вида 3 на четырех подряд идущих кадрах/. Плавные кривые - распределения Пуассона для средней величины $N = 280$.

Выводы

1. В стримерной камере спектрометра РИСК измерены ионизационные потери релятивистских частиц в области релятивистского роста ионизации. Наблюдается различие ионизационных потерь π^- -мезонов и антипротонов с импульсом 38 ГэВ/с, оно совпадает с теоретическими оценками.

2. Разработанная процедура измерения фильмового материала спектрометра РИСК на измерительном автомате АЗЛТ-2/160 в режиме сканирования с малым / ~ 20 мкм/ шагом позволяет с достаточной точностью измерять для прямолинейных треков их микроструктуру, в которой и заключена информация об ионизационных потерях частиц.

3. В качестве параметра, измеряемого непосредственно на фотопленке и учитывающего аппаратные нестабильности работы основных систем стримерной камеры, а также непостоянство характеристик фотопленки, предлагается использовать среднюю величину диаметра стримеров на треке. Использован способ "вырезания" стримеров из сгустков, позволяющий поднять статистическую обеспеченность определения среднего диаметра стримеров на треке.

4. Используемая процедура получения и коррекции данных об ионизационных потерях частиц из микроструктуры треков в стримерной камере позволяет достичь точности измерения ионизации, близкой к теоретически возможной /на 20% хуже/.

5. Относительная величина среднеквадратичного разброса уменьшается с увеличением измеряемой в стримерной камере длины трека и для длин треков ~ 2 м достигает величины $1/6 \div 8\%$.

6. Для продолжения этих работ на экспериментальном материале, полученном на спектрометре РИСК, необходимо использовать измерительное устройство, позволяющее сканировать в произвольном направлении - всегда перпендикулярном к траектории частиц.

Литература

1. Давиденко В.А., Долгошеин Б.А., Семенов В.К., Сомов С.В. ЖЭТФ, 1968, 55, с.426; Nucl.Inst.Meth., 1969, 67, p.325.
2. Kanofsky A., Schoen N. Rev.Sci.Instr., 1969, v.40, No.7, p.921.
3. Eggert K., Gurich W., Hermens K., Stolze C.
В трудах Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. ОИЯИ, Дубна, 1970, т.1, с.348.
4. Бом Г., Гласнек К.-П., Гришкевич Я.В. и др. РНЕ-80-8, ИФВЭ АН ГДР, Цойтен, 1980.
5. Eckardt V. et al. Nucl.Inst.Meth. 1977, 143, p.235.
6. Basile M. et al. Phys.Scr., 1981, v.23, p.754.;
Basile M. et al. Phys.Scr., 1981, v.23, p.743.
7. Андреев Е.М. и др. ЯФ, 1982, т.35, вып.3.
8. Баранчук М.К. и др. ОИЯИ, Р10-8861, Дубна, 1975;
Лапчик Э.Д., Шкунденков В.Н. ОИЯИ, Р10-80-872, Дубна, 1980.
9. Вертоградов Л.С., Степаненко В.А., Шелков Г.А. ОИЯИ, Р10-86-261, Дубна, 1986.
10. Андреев Е.М. и др. ОИЯИ, 13-8550, Дубна, 1975.
11. Шелков Г.А. ОИЯИ, Б1-10-86-131, Дубна, 1986.
12. Ломанов М.Ф., Чириков Б.В. ПТЭ, 1957, 5, с.22.
13. Gluckstern R.L. Nucl.Inst.Meth. 1966, 45, p.166.
14. Асосков В.С. и др. Труды ФИАН, М., 1982, т.140, с.19.

Рукопись поступила 2 июля 1986 года.