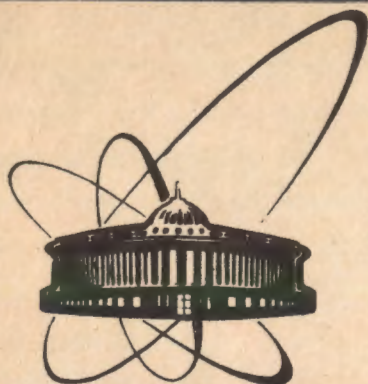


91-522



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-91-522

Н. А. Калинина*, Р. Ледницкий, Д. М. Хазинс

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ
ОБЛАСТИ ГЕНЕРАЦИИ БЫСТРЫХ ПРОТОНОВ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

*Филиал НИИЯФ МГУ, Дубна

1991

Измерение корреляций частиц с близкими импульсами в настоящее время является практически единственным способом изучения пространственно-временных размеров области генерации частиц. При исследовании корреляций протонов /1-5/ на пузырьковых камерах был обнаружен эффект усиления протонных корреляций с ростом импульсов вторичных протонов. Результаты этих работ указывают на то, что среднеквадратичный радиус области испускания быстрых протонов меньше среднеквадратичного радиуса ядер мишени. Однако методикой пузырьковых камер трудно осуществить набор статистического материала, необходимого для получения надежных количественных результатов. Выполнение аналогичных исследований в электронном эксперименте позволит статистически надежно определить размеры области генерации быстрых протонов. Подобные исследования могут быть выполнены на установке "Позитроний"^{16/}, предназначенной для регистрации пар заряженных частиц с малыми относительными импульсами. Установка позволяет регистрировать вторичные протоны с импульсами до 2,5 ГэВ/с, образующиеся при взаимодействии протонного пучка с энергией 70 ГэВ/с с ядрами пленочной мишени, установленной в прямолинейном промежутке ускорителя У-70.

В настоящей работе исследована чувствительность корреляционных функций быстрых протонов к размерам области их генерации и показана возможность измерения этих функций на установке "Позитроний" в диапазоне импульсов вторичных протонов, вдвое превышающем диапазон импульсов, доступный методике пузырьковых камер.

Для вычисления корреляционных функций протонов в данной работе использовался метод расчета корреляций частиц с учетом их взаимодействия в конечном состоянии, развитый в [7].

По определению величина двухчастичной корреляции есть:

$$b(p_1, p_2) = W(p_1, p_2) - 1, \quad (1)$$

где $W(p_1, p_2)$ - вероятность генерации частиц с 4-импульсами p_1, p_2 в точках $x_1(\vec{r}_1, t_1)$, $x_2(\vec{r}_2, t_2)$.

В общем виде корреляционная функция наблюдаемых частиц есть усреднение величины двухчастичной корреляции по пространственно-временному распределению точек эмиссии частиц $w(x_1, x_2)$:

$$B(p_1, p_2) = \langle b(p_1, p_2) \cdot w(x_1, x_2) \rangle. \quad (2)$$

В [7] полагается, что частицы испускаются независимо из сферически симметричной области с гауссовским распределением, имеющим параметры r_0, τ_0 . Среднеквадратичный радиус области генерации частиц при этом будет $\langle r^2 \rangle^{1/2} = \sqrt{3} r_0$.

В случае сферически симметричной области генерации частиц корреляционная функция (2), как показано в [7], зависит только от трех переменных q_t, q_0 и \vec{v} , переменные q_0 и v связаны соотношением $q_1 = q_0/v$.

Итак: $B(p_1, p_2) = B(q_t, q_0, \vec{v}), \quad (3)$

где $q = p_1 - p_2 = (\vec{q}, q_0)$ - разность 4-импульсов протонов, \vec{v} - скорость пары, q_t и q_1 - компоненты \vec{q} , перпендикулярные и параллельные направлению скорости \vec{v} соответственно.

Величина двухчастичной корреляции (1) для протонов с близкими импульсами и углами вылета обусловлена эффектом тождественности протонов и эффектом ядерного и кулоновского взаимодействия протонов в конечном состоянии.

Как показано в работах [7, 8], определяющим для величины протонных корреляций является эффект взаимодействия в конечном состоянии. В результате совместного действия ядерного и кулоновского взаимодействий протонов их корреляционная функция будет иметь максимум при импульсе одного из протонов в с.ц.м. пары $k^* = 20$ МэВ/с. В интересующей нас области малых относительных импульсов ($k^* \leq 100$ МэВ/с) преобладает S-волновое взаимодействие, поэтому ядерное взаимодействие протонов в конечном состоянии определяется через S-волновую амплитуду pp-взаимодействия, искаженную кулоновским полем. В приближении эффективного радиуса эта амплитуда определяется через длину рассеяния и эффективный радиус pp-взаимодействия: $f_0 = 7,8$ Фм, $d_0 = 2,8$ Фм [7]. Эффект взаимодействия в конечном состоянии, а значит и величина максимума корреляционной функции протонов, растут с уменьшением расстояния \vec{r} между точками генерации протонов и разности t во времена их испускания.

Необходимые для расчета корреляционных функций (3) значения переменных $q_t, q_1 = q_0/v$ и \vec{v} , заданные в системе покоя источников протонов, для данной установки определялись с помощью моделирования распределений регистрируемых протонных пар. Предполагалось, что источники протонов покоятся в лабораторной системе координат. На установке "Позитроний" протонные пары образуются на пленочной углеродной мишени, установленной в прямолинейном промежутке ускорителя, к которому под углом $8,4^\circ$ к направлению протонного пучка подсоединен вакуумный канал установки, не имеющий перегородок с камерой ускорителя. Длина вакуумного канала $l_k = 40$ м, диаметр канала перед входом в магнит $d_k = 0,28$ м. Магнитный

спектрометр расположен за вакуумным каналом установки. Установка позволяет регистрировать пары протонов в узком телесном угле ($\Omega = 3.5 \cdot 10^{-5}$ ср) с импульсами до 2,5 ГэВ/с.

Моделирование распределений регистрируемых протонных пар было выполнено в следующих предположениях. Вероятность генерации пары определялась в предположении независимого рождения каждого из протонов пары, т. е. не учитывалась корреляция, обусловленная динамикой рождения пары. При этом использовался аналитический вид инвариантного одночастичного инклюзивного сечения рождения протонов ^{/о/ *}

$$\frac{E d\Omega}{dp} = A s^\alpha \exp(-B m_\perp^2),$$

где $m_\perp = \sqrt{m_p^2 + p_\perp^2}$, E , m_p , p_\perp - энергия, масса и поперечная составляющая импульса протона, s - квадрат инвариантной полной энергии, A, α, B - подгоночные параметры.

Точки выхода протонов из вакуумного канала разыгрывались равномерно по сечению выходного окна канала, что допустимо ввиду малости телесного угла установки. Аппаратурное разрешение было введено в алгоритм моделирования как разброс разыгранных значений импульсов протонов по нормальному закону с дисперсией $\sigma_p = 1\%$. Распределение регистрируемых протонных пар по интересующим нас переменным (q_t, q_1, \vec{v}) были промоделированы в лабораторной системе координат для трех

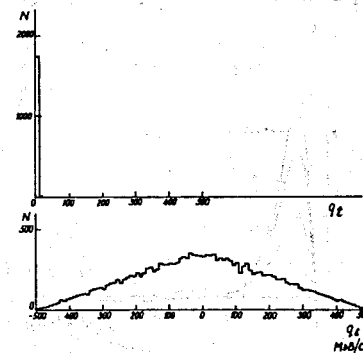
* Аналитический вид сечения получен в результате аппроксимации экспериментальных данных в интервале энергий

$\sqrt{s} = 23 \pm 63$ ГэВ/с и $p_\perp = 0,1 \pm 0,5$ ГэВ/с.

диапазонов импульсов вторичных протонов: $p_1, p_2 = 0,5 \pm 1,0$ ГэВ/с, $p_1, p_2 = 1,0 \pm 1,5$ ГэВ/с и $p_1, p_2 = 2,0 \pm 2,5$ ГэВ/с.

На рис. 1 приведены распределения протонных пар по величинам q_t и q_1 для диапазона импульсов вторичных протонов $p_1, p_2 = 1,0 \pm 1,5$ ГэВ/с ^{**}

Рис. 1. Распределение регистрируемых установкой "Позитроний" протонных пар по величинам q_t и q_1 для диапазона импульсов вторичных протонов $p_1, p_2 = 1,0 \pm 1,5$ ГэВ/с.



Эти распределения показывают, что регистрируемые на установке "Позитроний" протонные пары имеют пренебрежимо малые компоненты q_t по сравнению с компонентами q_1 . Корреляционные функции $B(s, q_t, q_0, \vec{v})$ поэтому рассчитывались при $q_t = 0$ и представлялись в виде $B(s, k^*)$, т. к. величины q_t, q_0 и \vec{v} связаны соотношением

$$-q_t^2 = 4k^{*2} = q_1^2 + \left(\frac{q_0}{\gamma v}\right)^2,$$

где $\frac{q_0}{\gamma v} = q_1^*$ - параллельная скорости пары \vec{v} компонента вектора \vec{q} в с.ц.и. пары, γ - лоренц-фактор пары.

** Соответствующие распределения для других диапазонов импульсов вторичных протонов аналогичны приведенным на рис. 1.

Полученные в результате моделирования в лабораторной системе средние значения скоростей протонных пар для заданных диапазонов импульсов вторичных протонов равны соответственно: $v=0,65$; $v=0,8$; $v=0,9$. Зависимость корреляционных функций протонов от скорости протонных пар приведена на рис. 2.

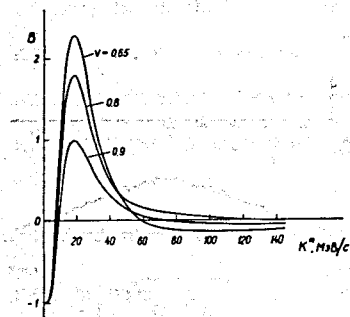


Рис. 2. Корреляционные функции протонных пар со скоростями: $v=0,65$; $v=0,8$; $v=0,9$, вычисленные в предположении $r_0=1,5$ Фм, $\tau_0=1,0$ Фм.

Чувствительность корреляционных функций протонов к пространственно-временным размерам области их генерации была исследована для скорости протонных пар $v=0,8$. Рис. 3а,б характеризует эту чувствительность: а) к пространственному размеру области генерации протонов $-r_0$ (при временном размере области генерации $-\tau_0=1,0$ Фм), б) к временному размеру области генерации протонов τ_0 (при $r_0=1,5$ Фм). Результаты, приведенные на рис. 3 а,б, показывают сильную зависимость корреляционных функций быстрых протонов от пространственного размера области их генерации.

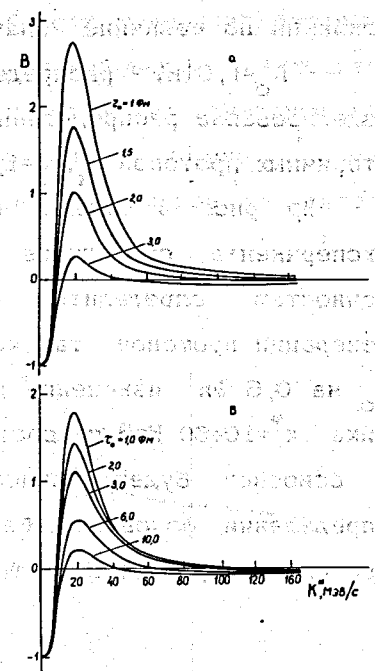
Корреляционная функция с параметром $r_0=1,5$ Фм на рис. 3а описывает корреляции протонов, среднеквадратичный радиус области генерации которых примерно равен среднеквадратичному

радиусу ядра углерода:
 $\langle r^2 \rangle^{1/2} \approx \langle r^2 \rangle^{1/2} = 2,52 \pm 0,003$ Фм $^{10/}$

Рис. 3. Зависимость корреляционных функций быстрых протонов:

- а) от величины параметра r_0 , при $\tau_0=1,0$ Фм,
- б) от величины параметра τ_0 , при $r_0=1,5$ Фм.

Вычисления выполнены для значения скорости пар протонов $v=0,8$.



Необходимо отметить, что для $r_0 > 1,0$ Фм используемый приближенный метод расчета корреляций $^{17/}$, основанный на представлении потенциала в виде прямоугольной ямы, как показано в работе $^{11/}$, завышает вероятность генерации протонов, но не более чем на 10%-15% относительно аналитического решения уравнения Шредингера и слабо зависит от выбора формы нуклон-нуклонного потенциала. С уменьшением размеров области генерации протонные корреляции становятся чувствительными к форме ядерного потенциала.

На рис. 4 приведены ожидаемые на установке "Позитроний" распределения пар вторичных протонов с учетом корреляций, полученные в предположении, что пространственный размер области генерации протонов характеризуется различными, но

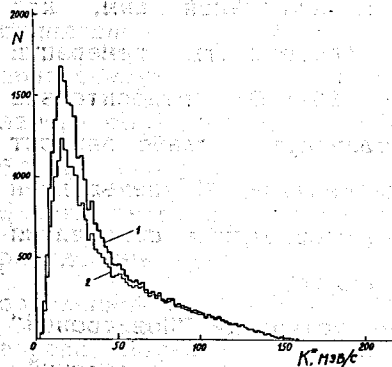
близкими по величине значениями параметра r_0 ; распределение 1 - $r_0=1,0\Phi\text{м}$, распределение 2 - $r_0=1,5\Phi\text{м}$; $\tau_0=1,0\Phi\text{м}$. Моделирование распределений выполнено для диапазона импульсов вторичных протонов $p_1, p_2=1,0\div 1,5$ ГэВ/с.

Из рис. 4 видно, что на небольшой для электронного эксперимента статистике можно с высокой статистической точностью определить пространственный размер области генерации протонов, так как при изменении величины параметра r_0 на $0,5\Phi\text{м}$ изменение интеграла в области корреляционного пика ($k^*=10\div 60$ МэВ/с) составляет $\approx 20\%$. Точность эксперимента в основном будет зависеть от систематических ошибок в определении фонового (без учета корреляций) распределения протонных пар и от эффективности установки.

Рис. 4. Моделирование распределений числа протонных пар с учетом корреляций для диапазона импульсов вторичных протонов $p_1, p_2=1,0\div 1,5$ ГэВ/с.

Распределения 1, 2 получены в предположении, что пространственный размер области генерации протонов характеризуется параметрами:

1 - $r_0=1,0\Phi\text{м}$, 2 - $r_0=1,5\Phi\text{м}$; при $\tau_0=1,0\Phi\text{м}$.



Возможность изучения размеров области генерации быстрых протонов с ростом их импульсов показывают результаты, приведенные на рис. 5 а, б, в. Здесь показаны ожидаемые на установке распределения протонных пар по величине k^* без учета и с учетом корреляций для трех диапазонов импульсов вторичных протонов.

Рис. 5. Моделирование распределений числа регистрируемых протонных пар в диапазонах импульсов вторичных протонов:

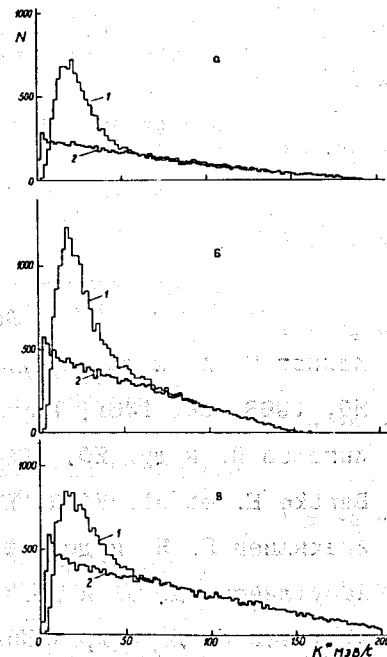
а) $p_1, p_2=0,5\div 1,0$ ГэВ/с,

б) $p_1, p_2=1,0\div 1,5$ ГэВ/с,

в) $p_1, p_2=1,5\div 2,5$ ГэВ/с.

1 - распределения с учетом корреляций промоделированы в предположении, что размер области генерации протонов характеризуется параметрами: $r_0=1,5\Phi\text{м}$ (что соответствует $\langle r^2 \rangle^{1/2} \approx \langle r^2 \rangle_{12}^{1/2}$) и $\tau_0=1,0\Phi\text{м}$.

2 - распределения без учета корреляций.



Результаты, приведенные на рис. 5, показывают, что для всех диапазонов импульсов вторичных протонов распределения с учетом и без учета корреляций сильно отличаются друг от друга по форме и имеется значительный корреляционный эффект.

Поскольку результаты работ /1-5/ указывают на то, что размер области генерации быстрых протонов меньше среднеквадратичного радиуса ядра мишени, то в эксперименте на установке "Позитроний" с углеродной мишенью следует ожидать еще большей величины корреляционных эффектов, что позволит надежно определить на данной установке размеры области генерации быстрых протонов в широком диапазоне их импульсов.

Литература

1. Азимов С. А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, 36, 349; ЯФ, 1983, 38, 1461; Phys. Rev, 1984, 29D, 1304.
2. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1980, 32, 1357.
3. Bartke E. et al. JINR, E1-86-332, Dubna, 1986.
4. Агакишиев Г. Н. и др. ЯФ, 1988, 47, 1292.
5. Армутлийски Д. Д. и др. ОИЯИ, P1-86-765, Дубна, 1986.
6. Алексеев Г. Д. и др. ОИЯИ, P1-83-894, Дубна, 1983.
7. Lednicky R., Lyuboshitz V.L. JINR, E2-81-453, Dubna, 1981; ЯФ, 1982, 35, 1316.
8. Koonin S. E. Phys. Lett., 1977, 70B, p. 43.
9. Guettler K. et al., Phys. Lett. B, 1976, v. 64, p. 77.
10. Бобченко Б.М. и др. ЯФ, 1979, 30, 1553.
11. Гмитро М. и др. ОИЯИ, P2-86-352, Дубна, 1986.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 ноября 1991 года.