

4490

Экз. чит. зала

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P1 - 4490



А.В.Бурдули , Д.Д.Джалагания , Н.И.Костанашвили ,
Г.И.Лебедевич , Д.С.Набичвришвили , В.А.Ярба

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

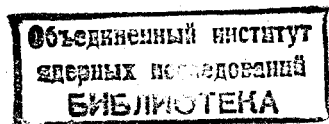
К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ ЧАСТИЦ,
ВЫБЫВАЮЩИХ ИЗ ДЕТЕКТОРА
ВСЛЕДСТВИЕ РАССЕЯНИЯ

1969

P1 - 4490

А.В.Бурдули*, Д.Д.Джалагания*, Н.И.Костанашвили*,
Г.И.Лебедевич*, Д.С.Набичвришвили*, В.А.Ярба

К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ ЧАСТИЦ,
ВЫБЫВАЮЩИХ ИЗ ДЕТЕКТОРА
ВСЛЕДСТВИЕ РАССЕЯНИЯ



* Тбилисский государственный университет.

При регистрации частиц детекторами, когда по зафиксированному числу случаев надо судить о количестве частиц, образованных в первичных взаимодействиях, возникает вопрос о частицах, не достигших места регистрации. Требуется знание поправок, учитывающих долю незарегистрированных по разным причинам случаев.

Нами проведена работа по определению поправки на выбывание частиц из детектирующей системы вследствие рассеяния на всем пути от места входа частицы с энергией E_1 в детектор до ее остановки. При работе с детекторами малых поперечных размеров к потерям частиц могут привести рассеяния даже на малые углы. В этом случае поправка в основном будет определяться кулоновским взаимодействием. Ее можно получить на основании известной функции распределения пространственных и угловых отклонений частиц при прохождении ими толщины t . В системе координат с началом в точке входа частицы в вещество, ось x которой совпадает с первоначальным направлением движения, вероятность наблюдения проекций отклонения y и угла вылета θ_y в плоскости XU получена Ферми [1]. Распределение имеет вид

$$F_t(y, \theta_y) = \frac{\sqrt{3}}{2\pi} \frac{\omega^2}{t^2} e^{-\omega^2 \left(\frac{\theta_y^2}{t} - \frac{3y\theta_y}{t^2} + \frac{3y^2}{t^3} \right)} \quad (1)$$

Здесь $\omega = \frac{2r\beta}{E_s}$, r — импульс частицы, β — ее скорость, E_s — постоянная, равная ≈ 21 Мэв, t — пройденная толщина вещества в радиационных единицах. При изменении $r\beta$ всю пройденную частицей толщину вещества надо разбить на малые интервалы, в которых $r\beta$ можно считать постоянным, и к ним применить функцию распределения (1).

Выражение (1) получено для кулоновского взаимодействия в определенных приближениях, пригодных в случае рассеяния высокоэнергичных частиц при прохождении ими больших толщин вещества. Поэтому возникают сомнения в возможности его применения в расчетах в случае медленных частиц. Кроме того, надо учесть также ядерное рассеяние, роль которого с энергией будет расти.

Ввиду указанных трудностей, возникающих при расчете поправки, нами экспериментально измерены значения отклонений π -мезонов определенных энергией от своих первоначальных направлений при прохождении ими толщин эмульсии до остановки. Эти отклонения вызваны как кулоновским, так и ядерным взаимодействиями. Полученные данные дают возможность определения поправки на рассеяние для π -мезонов до энергий, соответствующих остаточным пробегам ≈ 3 радиационных единиц.

В работе была использована эмульсионная камера размерами $10 \times 10 \times 6$ см³, облученная в пучке π^+ -мезонов с энергией 80 Мэв на синхротроне ОИЯИ в Дубне.

В центральной части камеры под микроскопом была просмотрена зона остановок π -мезонов с пробегом $R_\pi \geq 8$ см. Регистрировались π^+ -мезоны по характерному виду $\pi \rightarrow \mu$ -распада, затем они прослеживались от остановки до их входа в эмульсионную камеру. На следе измерялись координаты точки остановки, а затем через каждый сантиметр от нее — координаты и углы, определяющие направление следа. Измерения проводились относительно координатной сетки маркировки 1×1 мм², нанесенной на слой фотоэмульсии. Точность измерения координат была не хуже 10 мкм, углов — 0,5°. Всего было прослежено 413 π -мезонов.

Для каждого следа в точках измерения, соответствующих одному и тому же значению остаточного пробега, вводилась система координат, ось x которой совпадала с направлением следа в данной точке, ось

У всегда находилась в плоскости эмульсии, а положительное направление оси z определялось положением камеры при экспозиции. Координаты дальнейшего хода частицы до остановки были пересчитаны в эти системы. Таким образом, были определены траектории π -мезонов в фотоэмульсии для восьми значений начальной энергии (23,4; 35,2; 45,0; 53,8; 61,9; 69,3; 76,4 и 83,9 Мэв) при перпендикулярном падении их на поверхность эмульсионной камеры.

Для каждого остаточного пробега R , были определены значения проекций отклонения частиц Δy и Δz от первоначального направления в точках остановки в плоскостях XY и XZ . Круговая симметрия, которая подтвердилась сравнением распределений отклонений по Δy и Δz , дала возможность объединить эти результаты. Полученные на основе ≈ 800 случаев для каждого остаточного пробега гистограммы проекций отклонений Δh приведены на рис. 1. Гистограммы нормированы на одинаковую площадь. Сплошные кривые соответствуют распределениям Гаусса. Как видно из рисунка, они хорошо описывают экспериментальные данные. На гистограммах не наблюдается заметного возрастания больших отклонений, вызванных ядерным рассеянием (так называемых "хвостов"). Таким образом, в рассмотренном интервале энергий рассеяние π -мезонов обусловлено в основном кулоновским взаимодействием. Тогда, если пробеги и отклонения выразить в радиационных единицах, полученные результаты можно применить и в случае других веществ^{1/}.

Зависимость среднеквадратичных значений проекций отклонения σ от остаточного пробега π -мезона R , выраженных в радиационных единицах, приводится на рис.2. Экспериментальные точки хорошо аппроксимируются кривой

$$\sigma = 0,0099 + 0,11t - 0,0036t^2 \quad (2)$$

Полученные экспериментальные данные можно использовать для определения поправки на рассеяние π -мезонов в сплошных детекторах, когда они являются одновременно и тормозящей средой (например, эмульсионная камера). В определенных условиях их можно использовать и в случае детекторов, прослоенных фильтрами.

Пусть на площадь $EFLK$ (рис.3) камеры $ABCDD'C'B'A'$ перпендикулярно к ней равномерно падают π -мезоны. Регистрирующим объемом, в котором фиксируются остановки частиц, является параллелепипед $MNPRR'P'N'M''$, а остальная часть камеры - средой из того же материала, что и регистрирующая часть. В объеме $MNPRR'P'N'M''$ могут останавливаться π -мезоны, падающие как на площадь $MNPR$, так и в другие точки поверхности $EFLK$ и заходящие в объем $MNPRR'P'N'M''$ из окружающего его объема.

Найдем поправку K , указывающую, во сколько раз число падающих на площадь $MNPR$ частиц больше числа зарегистрированных остановок в плоскости $M'N''P'R''$, отстоящей от нее на расстоянии остаточного пробега π -мезонов R_1 .

Как было показано выше, отклонения π -мезонов с остаточными пробегами до ≈ 3 радиационных единиц от первоначального направления при прохождении ими толщины вещества до остановки распределены по Гауссу со значениями σ , определяемыми формулой (2). Тогда при однородной плотности облучения поправка будет равна:

$$k = \frac{\text{площадь } MNPR}{2\pi\sigma^2 \iiint \exp\left\{-\frac{(y-y')^2 + (z-z')^2}{2\sigma^2}\right\} dy dz dy' dz'} \quad (3)$$

Здесь y и z - координаты положения π -мезона в плоскости входа частиц в камеру, а y' и z' - в плоскости регистрации остановок. Границы интегрирования определяются соответствующими площадями в этих плоскостях. Это выражение можно интегрировать численно с помощью известных таблиц интеграла вероятности. Для камеры, приведенной на рис.3, оно приводится к виду

$$k = \frac{1}{[\langle\Phi\rangle \left| \frac{L_y - R_y}{\sigma} \right| + \langle\Phi\rangle \left| \frac{M_y - E_y}{\sigma} \right| - 1] [\langle\Phi\rangle \left| \frac{F_z - M_z}{\sigma} \right| + \langle\Phi\rangle \left| \frac{N_z - E_z}{\sigma} \right|]} \quad (4)$$

Здесь L_y , M_y , R_y и E_y - значения y -координат, а F_z , M_z , N_z и E_z - z -координат соответствующих точек; $\langle\Phi\rangle$ - среднее значение интеграла вероятности $\Phi(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^t e^{-t^2/2} dt$ в указанных пределах.

Нами рассчитана поправка для эмульсионной камеры, когда $EL = 40$ мм, $MR = 20$ мм, $AB = 20$ мм, $EF = 12$ мм, $MN = 3$ мм и $LR = KP = FN = EM$ (рис. 3). Зависимость поправки на рассеяние от энергии π -мезона приводится на рис. 4. Ошибки обусловлены неточностью в определении среднеквадратичных отклонений σ . Кривая проведена по методу наименьших квадратов. Указан коридор ошибок.

Используемые в расчетах распределения проекций отклонений π -мезонов получены для "бесконечной" среды. Поэтому необходимым условием применимости выражения (3) в расчетах поправки k является требование, чтобы толщина вещества, окружающего детектирующий объем, которая состоит из того же материала, что и сам объем, была бы большой по сравнению со среднеквадратичными отклонениями, испытанными частицами при прохождении ими толщин вещества до остановки.

С целью проверки достаточной "бесконечности" окружающей среды в случае рассмотренной нами эмульсионной камеры была определена поправка на рассеяние еще и другим способом, дающим возможность учета конечных размеров камеры. Для этого была использована траектория прослеженных в эксперименте следов π -мезонов в системе координат, в которой они падают перпендикулярно к поверхности камеры. Для каждой частицы данной начальной энергии была определена вероятность регистрации P_1 путем следующих рассуждений: пусть данная частица падает перпендикулярно в каждую точку поверхности камеры $EFKL$ (рис.3). При таком облучении в случае бесконечной среды семейство параллельных следов образует некий объем, основаниями которого являются площади облучения и остановки. При ограниченных размерах этих площадей для бесконечной среды вероятность P_1 определится отношением площади остановок, попавшей в регистрирующий объем камеры, к площади $MNPR$. Определяя для каждого прослеженного в эксперименте случая с начальной энергией E_1 вероятности p_1 и усредняя их, можно получить среднюю вероятность наблюдения. Поправка k является величиной, обратной средней вероятности регистрации. Она должна совпадать с поправкой, приведенной на рис. 4а.

При ограниченных размерах среды из площади остановок π -мезонов в регистрирующем объеме камеры надо вычесть ту часть площади,

образующие следы которой при прохождении через камеру вышли из нее, так как при переходе в менее плотную среду (плексиглас, воздух) вероятность рассеяния уменьшается и частицы обратно в камеру не войдут. Уменьшение площади наблюдения из-за конечности среды при рассмотренной геометрии камеры оказалось незначительным.

Поправка, вычисленная нами указанным образом для разных остаточных пробегов π -мезонов приводится на рис. 4б. Приведенные ошибки — статистические. Кривая также получена методом наименьших квадратов. На рисунке приводится коридор ошибок. Сравнение рис. 4а и 4б показывает совпадение вычисленных поправок в пределах ошибок.

Таким образом, при использовании детекторов с малыми размерами, когда поправка на рассеяние значительна, эту поправку можно считать с хорошей точностью, если тормозящая среда, окружающая детектор, по своим поперечным размерам не меньше среднеквадратичных отклонений частиц в ней. Поправку можно определить с помощью выражения (4) с применением зависимости (2).

Полученные значения поправки нами были использованы в эксперименте по измерению спектров π^+ -мезонов, образованных при взаимодействии протонов с энергией 660 Мэв с протонами /2/.

Авторы благодарят М.И. Подгорецкого и Н.Н. Ройнишвили за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. Б. Росси, К. Грейзен. Взаимодействие космических лучей с веществом. ИЛ, 1948, стр. 42.
2. Ю.А. Батусов, Н.И. Костанашвили, Г.И. Лебедевич, Д.С. Набичвришвили, В.А. Ямба. Препринт ОИЯИ, Р1-4491, Дубна, 1969; направлено в ЯФ.

Рукопись поступила в издательский отдел

16 мая 1969 года.

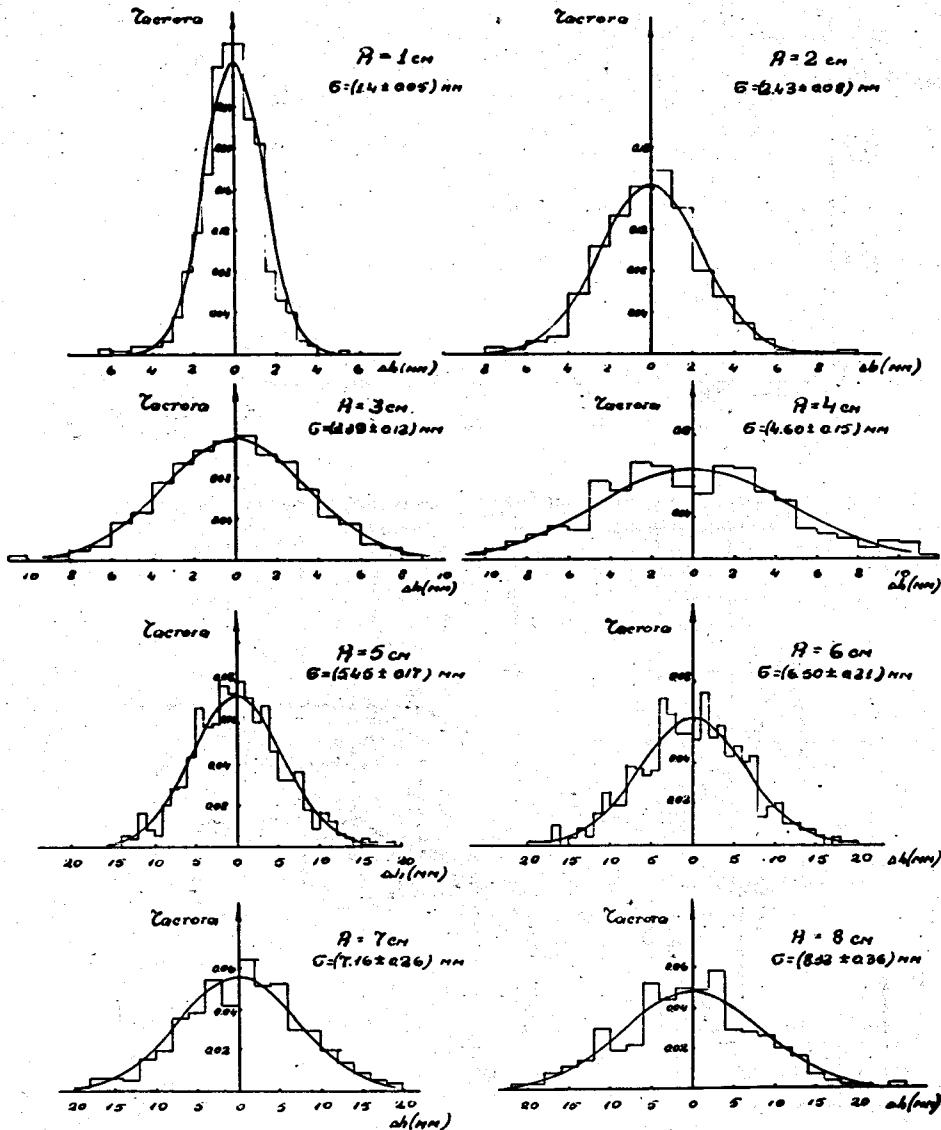


Рис.1. Распределения проекций отклонений π -мезонов от первоначального направления при прохождении ими толщин фотоэмульсии, равных остаточным пробегам.

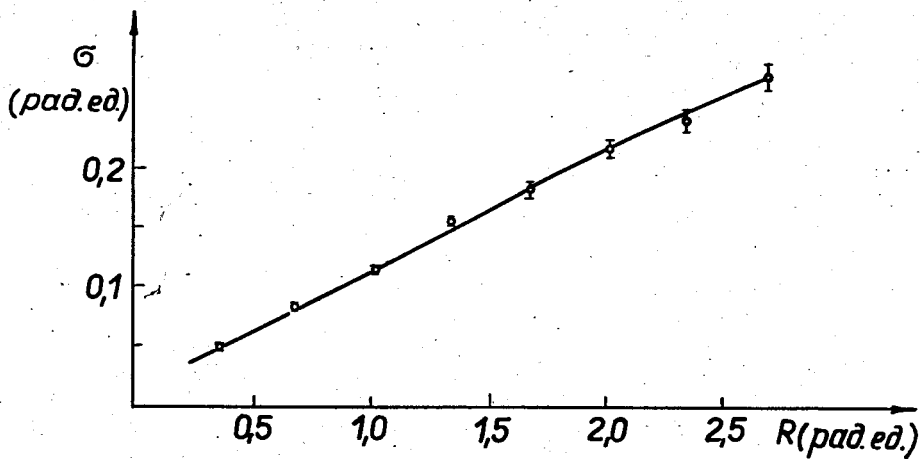


Рис.2. Зависимость среднеквадратичных значений проекций отклонения σ от остаточного пробега π -мезонов.

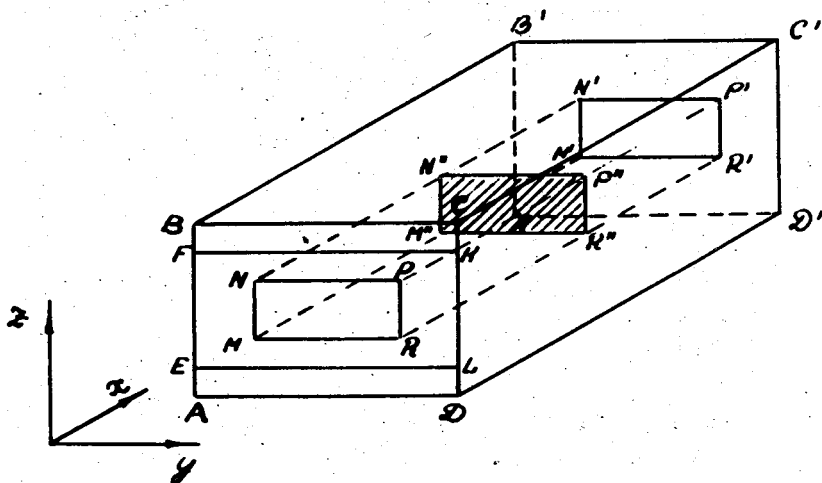


Рис.3. Схема детектора.

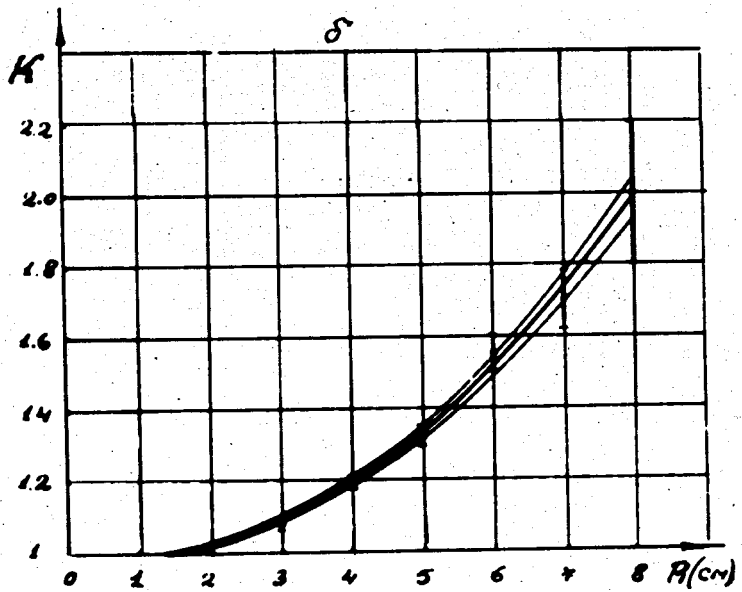
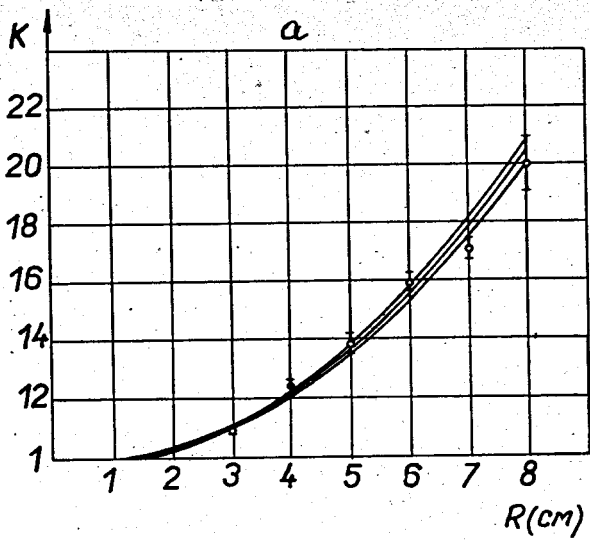


Рис.4. Поправка на рассеяние в случае эмульсионной камеры указанных в тексте размеров а) при допущении "бесконечности" детектора; б) с учетом конечных размеров детектора.