

РАЗВИТИЕ НАКЛОННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КАСКАДОВ
В ИОНИЗАЦИОННОМ КАЛОРИМЕТРЕ

А. Д. Ерышкин, А. К. Кулчицкий

УДК 539.1.08

Экспериментально показано, что форма электромагнитного каскада в свинцовом ионизационном калориметре изменяется с углом падения на конвекционные камеры так, как если бы через камеру проходил коллимированный пучок частиц, и это поведение справедливо вплоть до углов 60° .

Изучение энергетического спектра и формы каскадов, образующихся мюонами высокой энергии в ионизационном калориметре со свинцовым поглотителем /1/, позволило предположить, что на развитие каскадов с энергией выше I Тэв значительное влияние оказывает угловое распределение частиц в каскаде. Эффект заключается в том, что значительная часть всех каскадов с $E \gg I$ Тэв имела такую форму, как если бы каскад развивался по мере увеличения толщины свинца более быстро по сравнению с каскадами меньшей энергии. Этот эффект мог бы быть объяснен в рамках обычных представлений о развитии электромагнитных каскадов в веществе, если предположить, что с изменением наклона оси каскада ионизация в камерах из-за существования углового распределения каскадных частиц изменяется быстрее, чем в θ . Тогда из-за того, что угловое распределение каскадов по мере увеличения энергии становится все более анизотропным /1/, их средний угол θ увеличивается с энергией, каскады большей энергии развивались бы более быстро.

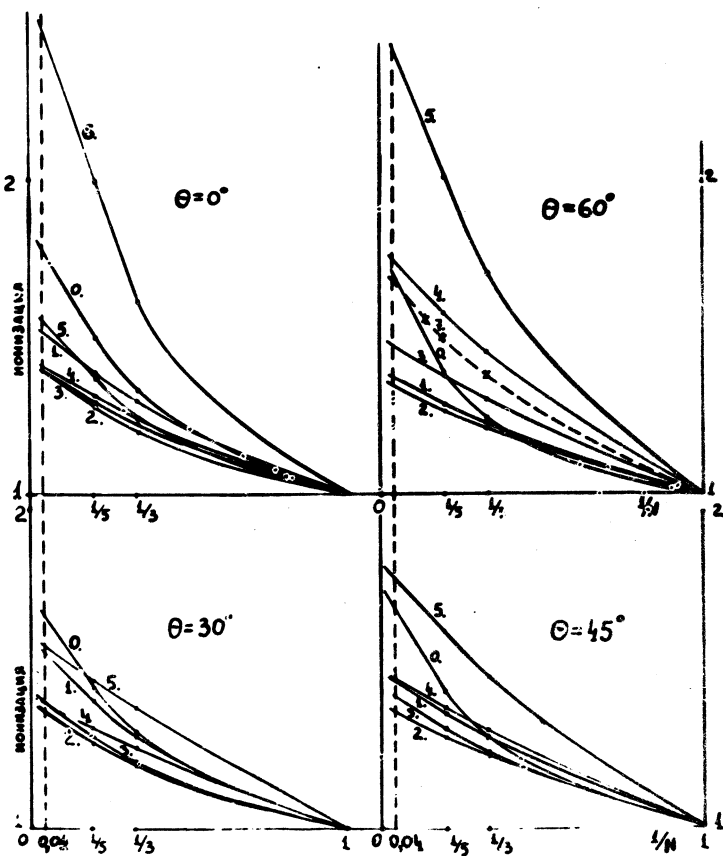
Вопрос о том, как изменяется форма электромагнитного каскада с изменением угла прохождения через камеру ионизационного калориметра, впервые исследовался в /2/. Однако, во-первых, в эксперименте /2/ использовалась короткая ионизационная камера (длина

0,7 м), для которой могла занижаться роль частиц, идущих вдоль камеры, в формировании ионизации, во-вторых, измерения были выполнены лишь для угла $\theta = 40^\circ$, где эффекты отклонения от закона все скрыты ошибками измерений.

Для проверки зависимости формы электромагнитных каскадов от угла θ нами были выполнены измерения на электронном синхротроне ФИАН. Измерения проводились для углов θ от 0 до 60° . В эксперименте использовались медные ионизационные камеры прямоугольного сечения $110 \times 55 \text{ мм}^2$ длиной 3 м. Импульс с ионизационных камер подавался на усилитель УШ-2 и затем на цифровой вольтметр В-4/6. Все показания приводились к одному коэффициенту усиления. Измерения проводились в пучке электронов с энергией 500 Мэв. Поскольку интенсивность пучка заметно меняется от цикла к циклу, все измерения нормировались к показаниям монитора, установленного на внутреннем кольце синхротрона. Каждая точка на каскадных кривых определялась как среднее по 10 измерениям, что дает точность определения ионизации $\sim 3\%$. Фоновый импульс, измеряемый ионизационными камерами в отсутствие пучка электронов, составлял 0,8 % ионизации, измеряемой в максимуме каскадной кривой.

Ионизационные камеры помещались в полости толщиной 800 мм между поглотителем и отражателем из свинца. Полная ионизация в полости измерялась одной ионизационной камерой, перемещаемой внутри полости. Измерения проводились в четырех положениях камеры относительно оси пучка, аналогично /2/. Полученные кривые зависимости величины ионизации от числа камер N в полости показаны на рис. 1 в координатах I/N . Поскольку ширина одной камеры равна 12,5 см, то полная ионизация в полости размером $3 \times 3 \text{ м}^2$ определялась для $N = 25$ путем экстраполяции кривых к положению $I/N = 0,04$. Для проверки правильности экстраполяции выполнено дополнительное измерение ионизации на расстоянии 360 мм от оси пучка при угле $\theta = 60^\circ$. Результат, показанный на этом же рисунке пунктирной линией, подтверждает правильность нашей экстраполяции.

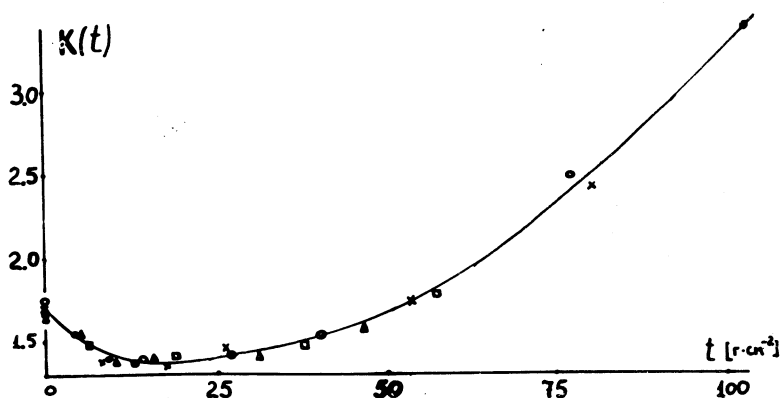
По экспериментальным кривым (рис. 1) был построен коэффициент K перехода от ионизации, измеренной на оси пучка, к полной ионизации в полости. Зависимость этого коэффициента от толщины поглотителя $K(t)$ для различных углов θ показана на рис. 2. Как легко видеть из рисунка, величина $K(t)$ практически не зависит от угла



Р и с. I. Экстраполяционные кривые для различных углов θ .
 N - число камер, измеряемых ионизацию. 0 - I - камера разном-леия
на оси пучка электронов. Цифры около кривых указывают толщину
поглотителя: $0 - 0 \text{ г/см}^2$; $1 - 4,37 \text{ г/см}^2$; $2 - 8,76 \text{ г/см}^2$;
 $3 - 13,2 \text{ г/см}^2$; $4 - 26,55 \text{ г/см}^2$; $5 - 40,14 \text{ г/см}^2$; $6 - 76,77 \text{ г/см}^2$;
 $7 - 17,63 \text{ г/см}^2$

θ и в пределах ошибок измерения может быть аппроксимирована единой зависимостью, показанной на рисунке сплошной линией.

Измерение каскадных кривых в свинце проводилось одной ионизационной камерой, расположенной на оси пучка. Полная ионизация

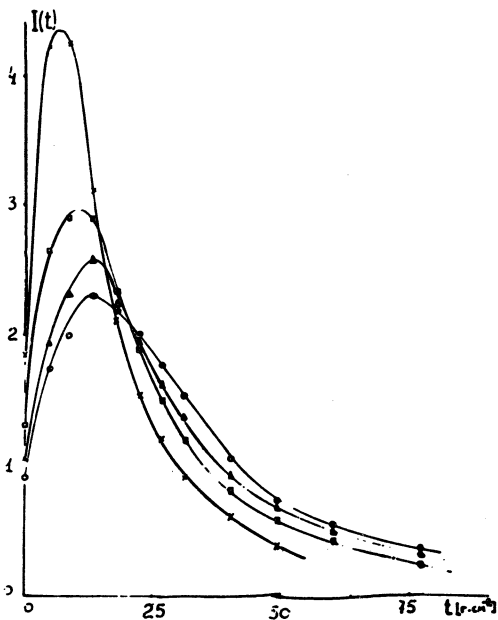


Р и с. 2. Значения экстраполяционного коэффициента $K(t)$, измеренные для разных углов θ : $\circ - \theta = 0^\circ$; $\Delta - \theta = 30^\circ$; $\square - \theta = 45^\circ$; $\times - \theta = 60^\circ$. Сплошная линия - единая аппроксимация для всех θ

в полости определялась с помощью аппроксимационной кривой $K(t)$, единой для всех углов θ . При вычислении ионизации под данной толщиной поглотителя и при данном угле θ вводились поправки на фоновый импульс и на изменение величины переходного эффекта свинец - медь в зависимости от возраста каскада и толщины медных стенок ионизационных камер, согласно /2/. Результаты измерения каскадных кривых для различных углов θ показаны на рис. 3.

Анализ этих кривых показывает, что ионизация в камерах в пределах 3%-ной ошибки измерений изменяется с углом, как $\sec \theta$ вплоть до углов $\theta = 60^\circ$. Форма каскадной кривой для каскадов, развивающихся под углом θ в камерам $I(t, \theta)$, совпадает с формой каскада, развивающегося в направлении, перпендикулярном камерам $I(t, 0^\circ)$, если величину ионизации уменьшить, а глубину t увеличить в $\sec \theta$ раз, т.е. $I(t \cdot \sec \theta, \theta) = I(t, 0^\circ) \sec \theta$ (рис. 4).

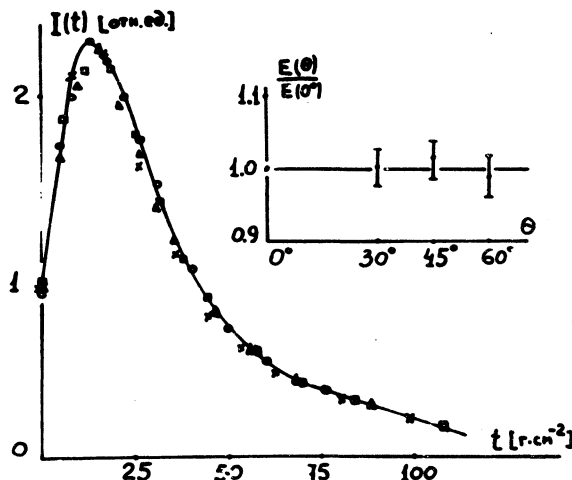
На вставке к рис. 4 показано отношение площадей под каскадными кривыми для различных θ к площади каскадной кривой, измеренной при $\theta = 0^\circ$. Поскольку площадь под каскадной кривой характери-



Р и с. 3. Каскадные кривые для разных углов θ : $\circ - \theta = 0^\circ$;
 $\Delta - \theta = 30^\circ$; $\square - \theta = 45^\circ$; $\times - \theta = 60^\circ$

зует энергию электронов, падающих на поглотитель, по изменению данного отношения можно судить о разнице в измеренной под разными углами энергии каскада. Из рисунка видно, что это отношение практически постоянно и равно ≈ 1 . Отклонения не превышают 1,5% и не являются систематическими. Этот факт свидетельствует о том, что измеренная с помощью ионизационных камер энергия электромагнитного каскада не зависит от угла падения каскада на камеру. А это означает, что системы типа ионизационного calorиметра правильно определяют энергию электромагнитных каскадов вплоть до углов $\theta \sim 60^\circ$.

Полученный результат говорит о том, что угловое распределение частиц обычных электромагнитных каскадов внутри конических камер является весьма узким. Это может объясняться влиянием переход-



Р и с. 4. Приведенные каскадные кривые для разных углов θ :
 о - $\theta = 0^\circ$; Δ - $\theta = 30^\circ$; \square - $\theta = 45^\circ$; \times - $\theta = 60^\circ$. На вставке -
 соотношение площадей под каскадными кривыми для разных углов θ .

ного эффекта свинец - медь, который обрезаает маловысокие электроны, идущие под углом к оси каскада и делает пучок частиц в камерах почти коллимированным. Следовательно, для объяснения наблюдаемого в I/t эффекта изменения формы каскадных кривых с энергией необходимо предполагать угловое распределение частиц более широкое, чем в обычных электромагнитных каскадах.

Авторы глубоко благодарны коллективу лаборатории электронов высоких энергий, в частности, Петухову В. А., Писареву В. В., Якименко М. Н., Александрову Д. А. за поддержку и сотрудничество, без которых наш эксперимент не был бы осуществлен.

Поступила в редакцию
 25 мая 1973 г.

Л и т е р а т у р а

1. А. Д. Ерыкин, А. К. Куличенко, С. С. Мазниченко, С. К. Мачавармани, Э. А. Мешков. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 1751 (1972).
2. И. Н. Фетисов. Препринт ФИАН № 88, 1968 г.