

ԵՐԵՎԱՆԻ ԲՐԵՇԵՆԻ ԲՆՈՒՅՐՏՈՒՄ
ԵՐԵՎԱՆՍԿԻ ՓԻԶԻԿԵՍԿԻ ԻՆՏԻՏՈՒՏ

ЕФИ-302(27)-78

М 49 09436

Ա.Տ.ԱԼԵՔՏԱՆՅԱՆ, Թ.Լ.ԱՏԱԿԻԱՆԻ, Ի.Բ.ՎԱՐԴԱԶԱՐՅԱՆ,
Ա.Օ.ԳԱՏՔԱՐՅԱՆ, Վ.Ա.ԻՎԱՆՈՎ, Գ.Կ.ՄԵԳՐԱԲՅԱՆ,
Դ.Դ.ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Բ.Ն.ՓԻՒՒՏԵԼԵՎ, Կ.Կ.ՓՐՈՒՅՐՈՎԱ

ՕՓՐԵԴԵԼԵՆԻԵ ԶՆԵՐԴԻՅ ԷԼԵԿՏՐՈՆՈ-ՓՈՒՈՆՆՅ
ԼԻՎՆԵՅ ՉԵՐԵՆԿՈՎՍԿԻՄ ՏՔԵՏՐՈՄԵՏՐՈՄ ՓՈԼՈՒՒ
ՓՈԼՈՒՑՆԵՅ Վ ՏՈՒԵՏԱՆԻՅ Տ ԻՏԿՐՈՎՅՄԻ
ԿԱՄԵՐԱՄԻ

ԱՐՄՏ

ԵՐԵՎԱՆ



ԵՐԵՎԱՆ

1978

УДК. 539 .I.07

А.С.АЛЕКСАНИН, Т.Л.АСАТИАНИ, И.Б.ВАРТАЗАРЯН,
А.О.ГАСПАРЯН, В.А.ИВАНОВ, Г.К.МЕГРABЯН, Г.Г.МКРТЧЯН,
Р.Н.ЛИХТЕЛЕВ, К.К.ПРОХОРОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ
ЛИВНЕЙ ЧЕРЕНКОВСКИМ СПЕКТРОМЕТРОМ ПОЛНОГО
ПОГЛОЩЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ

Приводятся экспериментальные данные о зависимости энерговыделения в черенковском спектрометре полного поглощения от толщины свинцового конвертора ($0 + 2,5$ рад.ед.) в сэндвиче из искровых камер, помещенных перед ним. Существуют прямые корреляции между числом треков в искровых камерах и флуктуациями энерговыделения в черенковском спектрометре. Учет этих корреляций приводит к уменьшению энергетического разброса импульсов черенковского спектрометра. В статье представлены эмпирические формулы зависимости энерговыделения от толщины конвертора с учетом указанных корреляций для электронов и фотонов в области энергии $1 + 4$ Гэв.

Ереванский физический институт
Ереван 1978

EΦM-302(27)-78

A.S.ALEKSANYAN, T.L.ASATIANI, I.V.VARTAZARYAN,
A.O.GASPARYAN, V.A.IVANOV, G.K.MEGRABYAN, G.G.MKRTCHYAN,
R.N.PIKHTELEV, K.K.PROKHOROVA

THE DETERMINATION OF ELECTRON-PROTON SHOWERS ENERGY
WITH THE CHERENKOV TOTAL ABSORPTION SPECTROMETER
TOGETHER WITH SPARK CHAMBERS

The data on the energy deposition in the Cherenkov total absorption spectrometer are given as a function of plumbum converter thickness ($0 + 2,5$ rad.un.) in a sandwich of spark chambers placed before the converter. Direct correlations exist between the number of tracks in spark chambers and the fluctuations in energy deposition in the Cherenkov spectrometer. The allowance for the correlations results in the decrease in the energy spread of Cherenkov spectrometer pulses. The empirical formulae for the energy deposition are given as a function of the converter thickness with due regard for these correlations for electrons and protons at energies (1 - 4) GeV.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1978

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ФФИ-302(27)-78

А.С.АЛЕКСАНИАН, Т.Л.АСАТИАНИ, И.Б.ВАРТАЗАРЯН,
А.О.ГАСПАРЯН, В.А.ИВАНОВ, Г.К.МЕГРАБЯН, Г.Г.МКРТЧЯН,
Р.Н.ПИХТЕЛЕВ, К.К.ПРОХОРОВА.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ
ЛИВНЕЙ ЧЕРЕНКОВСКИМ СПЕКТРОМЕТРОМ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ
В СОЧЕТАНИИ С ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ

Ереван 1978

© *Ереванский физический институт, 1978*

УДК. 539 .I.07

А.С.АЛЕКСАНИН, Т.Л.АСАТИАНИ, И.Б.ВАРТАВАРЯН,
А.О.ГАСПАРЯН, В.А.ИВАНОВ, Г.К.МЕГРАБЯН, Г.Г.МКРТЧЯН,
Р.Н.ПИХТЕЛЕВ, К.К.ПРОХОРОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИЙ ЭЛЕКТРОННО-ФОТОННЫХ
ЛИВНЕЙ ЧЕРЕНКОВСКИХ СПЕКТРОМЕТРОМ ПОЛНОГО
ПОГЛОЩЕНИЯ В СОЧЕТАНИИ С ИСКРОВЫМИ КАМЕРАМИ

Приводятся экспериментальные данные о зависимости энерговыделения в черенковском спектрометре полного поглощения от толщины свинцового конвертора ($0 + 2,5$ рад.ед.) в сэндвиче из искровых камер, помещенных перед ним. Существуют прямые корреляции между числом треков в искровых камерах и флуктуациями энерговыделения в черенковском спектрометре. Учет этих корреляций приводит к уменьшению энергетического разброса импульсов черенковского спектрометра. В статье представлены эмпирические формулы зависимости энерговыделения от толщины конвертора с учетом указанных корреляций для электронов и фотонов в области энергии $1 + 4$ Гэв.

Ереванский физический институт
Ереван 1978

EQM-302(27)-78

A.S.ALEKSANYAN, T.L.ASATIANI, I.V.VARTAZARYAN,
A.O.GASPARYAN, V.A.IVANOV, G.K.MEGRABYAN, G.G.MKRTCHYAN,
R.N.PIKHTELEV, K.K.PROKHOROVA

THE DETERMINATION OF ELECTRON-PROTON SHOWERS ENERGY
WITH THE CHERENKOV TOTAL ABSORPTION SPECTROMETER
TOGETHER WITH SPARK CHAMBERS

The data on the energy deposition in the Cherenkov total absorption spectrometer are given as a function of plumbum converter thickness ($0 + 2,5$ rad.un.) in a sandwich of spark chambers placed before the converter. Direct correlations exist between the number of tracks in spark chambers and the fluctuations in energy deposition in the Cherenkov spectrometer. The allowance for the correlations results in the decrease in the energy spread of Cherenkov spectrometer pulses. The empirical formulae for the energy deposition are given as a function of the converter thickness with due regard for these correlations for electrons and protons at energies (1 - 4) GeV.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1978

Традиционно, для измерения координат и направления ливня, вызванного электронами или фотонами используются блоки искровых камер прослоенных конверторами Pb, Cu, Fe и т.п. [1]. Энергия же частицы определяется, либо черенковскими спектрометрами полного поглощения, либо ливневым спектрометром, расположенными за блоком искровых камер. При определении энергии только по числу треков в искровых камерах можно достичь (в случае большого числа зазоров) энергетического разрешения $\sim 30\%$ при $E_e \sim 3 + 4$ Гэв [2], тогда как черенковский спектрометр полного поглощения позволяет определить энергию с точностью $\Delta E/E \simeq 10\%$ в этой области энергий [3]. При координатных измерениях, связанных с регистрацией редких многофотонных событий (π^0 , $2\pi^0$, ω и т.д.), для получения достаточной эффективности регистрации необходимо использовать относительно толстые конверторы ($\sim 1,5 + 2$ рад.ед.), что сильно ухудшает энергетическое разрешение спектрометров и приводит к систематическим ошибкам в спектре эффективных масс.

Целью настоящей работы явилось исследование амплитуды импульса с черенковского спектрометра в зависимости от толщины свинцового конвертора, помещенного перед ним, и возможности

привлечения информации с искровых камер для уменьшения ошибки в энергии, определяемой черенковским спектрометром.

Экспериментальная установка приведена на рис. I. Коллимированный γ - лучок попадал на тонкий конвертор перед магнитом - М. Электроны выделялись с помощью двух сцинтилляционных счетчиков C_4 и C_5 размерами $1 \times 1 \times 0,5$ см³, расположенными на расстоянии $\sim 4,5$ м и попадали в ливневой детектор, состоящий из 4-х искровых камер с зазором 15 см площадью $0,5 \times 1,0$ м² и черенковского счетчика полного поглощения размерами $50 \times 50 \times 30$ см³. Экспериментальная аппаратура и результаты проведенных исследований были использованы при анализе реакции фоторождения π^0 - мезонов на He^4 [4].

Конверторы переменной толщины устанавливались в зазоры между камерами, после первой камеры, которая служила для определения направления первичного электрона. Энергия электронов варьировалась в интервале $1 + 4$ Гэв и имела энергетический разброс $\sim 2\%$. Для каждой суммарной толщины конвертора (3,6, 9 и т.д. вплоть до 50 мм) при определенной энергии электронов снималось ~ 200 кадров, что обеспечивало статистическую ошибку определения среднего числа частиц в ливне $\sim 7\%$.

Информация об амплитуде с черенковского счетчика в двоичном коде фотографировалась на один и тот же кадр совместно с ливнем от электрона. Подробная информация позволяет использовать данные полученные при калибровках на электронном пучке для оценки энергетических разрешений от фотонов, когда фотон конвертируется в электрон-позитронную пару в любом из 3-х конверторов. Для каждой позиции определялось число частиц в ливне (N) после соответствующей толщины конвертора.

Среднее число в максимуме каскадных кривых хорошо согласуется с расчетами Мессада и др. [5], вычисленными при граничной энергии вторичных электронов ≥ 10 Мэв, в предположении, что все вторичные частицы вылетают в переднюю полусферу. Известно, что эта величина является одной из наименее флуктуирующих величин в каскадной теории, поэтому хорошее согласие экспериментальных и теоретических результатов указывает на то, что ливневая эффективность искровых камер близка к 100%.

Развитие электромагнитного ливня в веществе, кроме тормозного излучения и рождения пар, сопровождается потерями энергии за счет комптон-эффекта и потерями на столкновения электронов, энергии которых выше критической. Кроме того заряженные частицы любых энергий в ливне теряют энергию за счет ионизационных потерь, которые зависят от числа частиц в ливне и толщины конвертора. Поэтому энерговыведение в черенковском спектрометре будет зависеть как от первичной энергии (E_0) электрона, так и от толщины конвертора (t - рад.ед.) помещенного перед ним. Пренебрежение этим фактом при $t \geq 1$ рад.ед. может привести к значительной систематической ошибке в энергии измеряемой черенковским спектрометром полного поглощения. Полученные нами экспериментальные значения средней амплитуды импульса в зависимости от t и E_0 приведены на рис.2. Видно, что при каждой толщине конвертора зависимость амплитуды (A_N) от E_0 выражается линейной функцией:

$$A_N = \alpha(t) E_0 + \beta(t),$$

где A_N - центры амплитудного распределения импульсов регистрирующей электроники; E_0 - энергия налетающего пучка электронов. По экспериментальным точкам нами получена эмпиричес-

кая формула, для определения энергий электрона при разных t для области изменения энергий $E_0 = (1 + 4)$ Гэв и $t = (0+2)$ рад. ед.

$$E_0 = E' + 0,056t(1 + tE') \quad [\text{ГэВ}], \quad (I)$$

где E' -измеренная энергия, соответствующая калибровке прибора при $t = 0$. Здесь и в дальнейшем энергия выражается в $|\text{ГэВ}|$, а параметр t в $|\text{рад.ед.}|$. Для наглядности на рис.3 приведено относительное изменение энергии E'/E_0 в зависимости от толщины конвертора t для различных энергий. Видно, что при $t \sim 2$ рад.ед. систематическое уменьшение амплитуды достигает $\sim 20 + 25\%$, тогда как энергия, вычисленная по формуле (I), равна энергии начального электрона (точки X - на рис.3) с точностью $\sim 2\%$ во всей области изменения $t \approx (0+ 2,5$ рад.ед.).

Наряду с изменением центров амплитудных распределений происходит значительное ухудшение энергетических разрешений при увеличении t до 2 рад.ед.

Флуктуации в числе частиц и их угловом расхождении в начале развития ливня вносят существенный вклад в энергетические разрешения и, естественно, информация о числе частиц в зазорах искровых камер может быть использована для поправок к энергии, измеряемой черенковским спектрометром.

Для экспериментального изучения корреляции между числом частиц в блоке искровых камер и энергией, выделяемой в черенковском счетчике, строились двумерные распределения: число частиц - энергия. Исследования показали, что корреляции между числом частиц и энергией наиболее ярко выражены, если учитывать сумму частиц во всех отсеках, а не число частиц после

прохождения суммарного слоя конвертора. Для нахождения эмпирической зависимости подобных корреляций от толщины конвертора для различных энергий использовались данные о суммарном числе частиц после 1-го конвертора (0,5 рад.ед.), 2-х конверторов (1 рад.ед.), 3-х конверторов (1,5 рад.ед., 2 рад.ед., 3 рад.ед.).

На рис.4а приведено типичное двумерное распределение для суммы частиц в 3-х искровых камерах при $E_0 = 2\text{Гэв}$ и $t = 1,5$ рад.ед.

Поправки к энергии, измеряемой черенковским счетчиком, можно искать в виде

$$\Delta E = (N - \overline{N(E_0, t)}) \cdot f(E_0, t), \quad (2)$$

где N - суммарное число частиц в искровых камерах, а $\overline{N(E_0, t)}$ - среднее число частиц, зависящее от толщины конвертора и энергии E_0 , вычисленной по формуле (1). Фитирование экспериментальных значений $\overline{N(E_0, t)}$ в области изменения t от 0 до 2.5 рад.ед. в нашем случае удовлетворительно описывается формулой:

$$\overline{N(E_0, t)} \approx (4,5\sqrt{E_0} \cdot t^2 \cdot e^{-t/4} + 1). \quad (3)$$

Функция $f(E_0, t)$ в формуле (2), учитывающая корреляции между числом треков в искровых камерах и изменением энергии так же определялась из экспериментальных данных:

$$f(E_0, t) = 0,012 t^{0,4} \cdot \ln 9 E_0.$$

Энергия, выделенная в черенковском счетчике для каждого случая, определенная как $E = E_0 + \Delta E$ не изменяет центров амплитуды

литудных распределений так как знак поправки ΔE зависит от величины $(N - \bar{N})$ в формуле (2), в то время как ширина амплитудного распределения уменьшается (рис.4б). На рис.5 приведены энергетические разрешения спектрометра без учета поправок к энергии и с ними в зависимости от толщины конвертора. Видно, что учет корреляции числа частиц в блоке искровых камер позволяет значительно уменьшить разброс в энергиях при увеличении t . Очевидно, что энергетические разрешения так же зависят и от углового расхождения ливневых частиц после конвертора. Практически учет углов всех треков ливня в искровых камерах представляется нам нецелесообразным.

Таким образом, экспериментальные данные по известным значениям E' , t и N позволяют вычислить истинную энергию налетающего электрона:

$$E = E_0 + [N - (4,5\sqrt{E_0} \cdot t^2 \cdot e^{-t/4} + 1)] \cdot 0,012 \cdot t^{0,4} \cdot P_n \cdot 9E_0. \quad (4)$$

Рассмотрим теперь изменения в формуле (4), когда налетающей частицей является фотон, который конвертирует в электрон-позитронную пару в одном из конверторов. Естественно, энергию фотона можно вычислить, как сумму энергий электрона и позитрона проходящих после конверсии слой вещества толщиной t' рад.ед.

Из выражения (I) видно, что энерговыделение в черенковском счетчике от электрона (E'_e), проходящего слой t' , и фотона той же энергии (E'_γ) будет отличаться:

$$E'_\gamma \approx E'_e - 0,056 t'$$

Тогда энергию фотона можно вычислить по формуле:

$$E_{\gamma} \approx E'_{\gamma} (1 + 0,056 t'^2) + 0,011 t',$$

где E'_{γ} есть энергия, соответствующая калибровке прибора при $t' = 0$ на электронном пучке.

При переходе к фотонам нелинейные члены по E_0 в формуле (4) нужно выразить через сумму энергий электрона и позитрона после конверсии γ - кванта. Можно принять, что энергия γ - кванта распределяется между электроном и позитроном примерно равно-вероятно от 0 до $E_0/2$. Численные коэффициенты будут иметь различные значения в зависимости от распределения энергии между электроном и позитроном. В связи с этим и корреляции между числом частиц в искровых камерах и измеряемой энергией должны быть менее выражены в случае фотонов по сравнению с электронами той же энергии. При наиболее вероятных значениях коэффициентов энергии фотона можно вычислить по формуле:

$$E_{\gamma} = E_{\gamma 0} + [N + (5,8\sqrt{E_{\gamma 0}} \cdot t'^2 \cdot e^{-t'/4} + 2)] \cdot 0,012 \cdot t' \cdot \ln 5 E_{\gamma 0}.$$

Следует заметить, что все приведенные зависимости получены для конкретного случая ("сэндвич" свинец по 0,5 рад.ед. плюс искровые камеры). Например, в случае медных конверторов значение энергии вычисленное по формуле (I) получается выше измеренных на 3 + 4 % и значение численных коэффициентов зависит от критической энергии вещества. Так же при $t \approx 2.5$ рад.ед. ход зависимости от t может быть существенно иной.

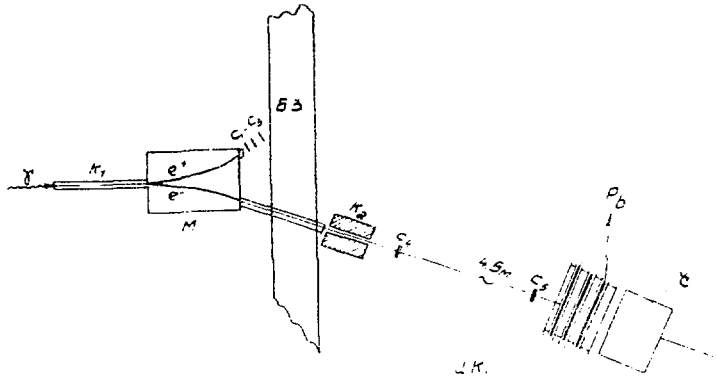


Рис.1

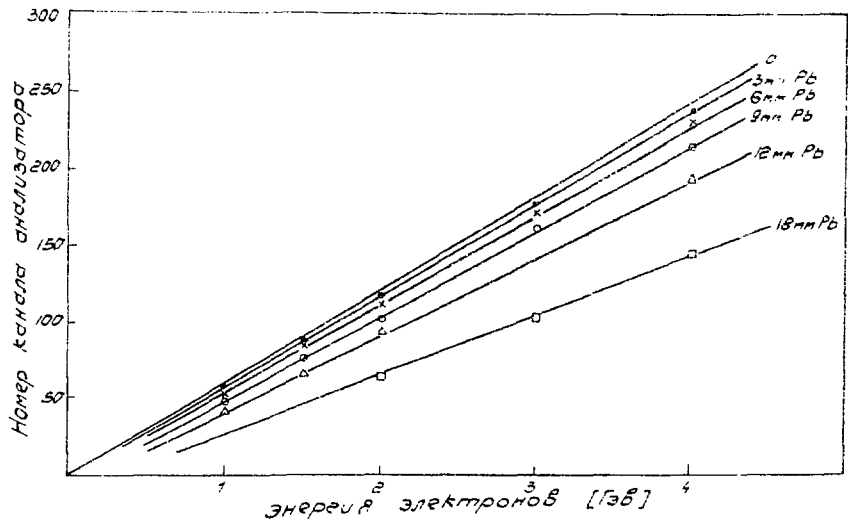


Рис.2

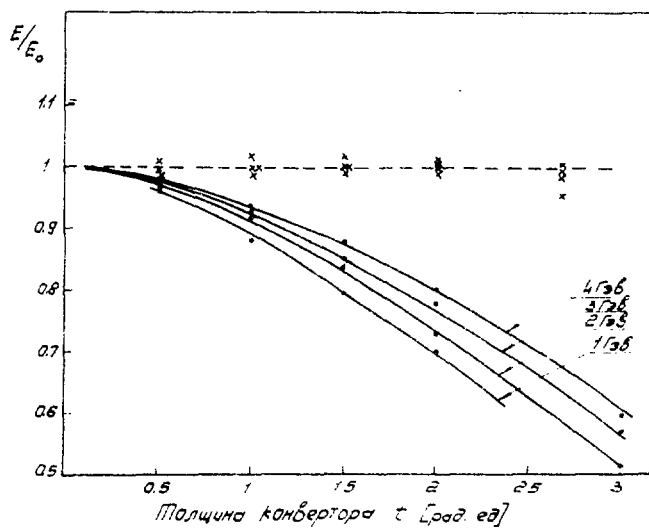


Рис.3

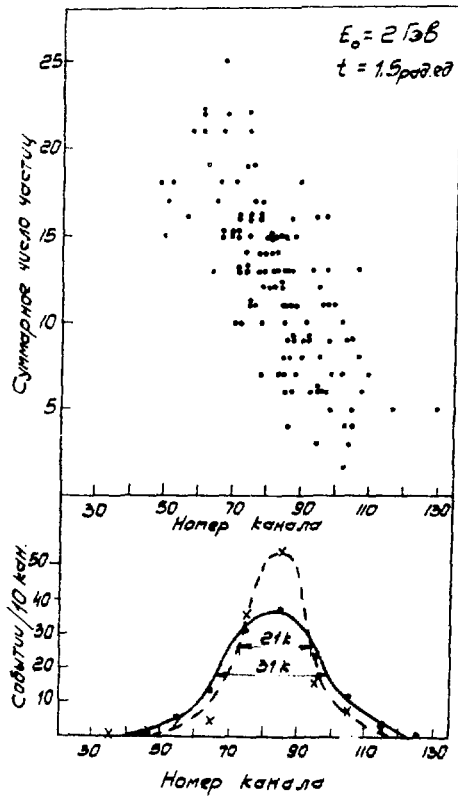


Рис. 4

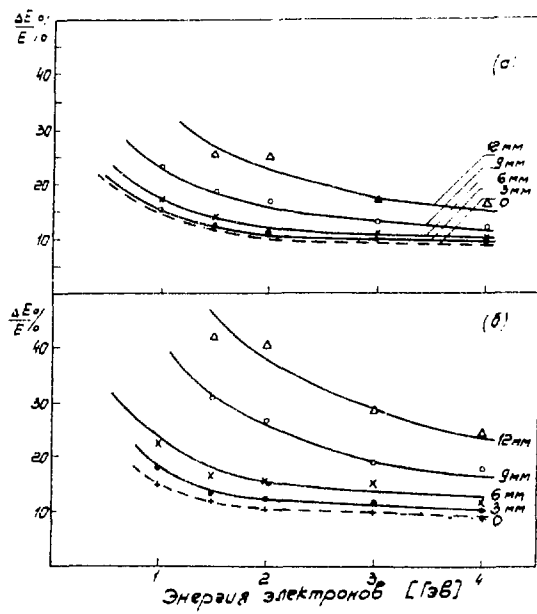


Рис.5

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис.1 Схема установки. K_1 , K_2 - коллиматоры, БЗ - бетонная защита, C_1-C_5 - сцинтилляционные счетчики, ИК - искровые камеры, \check{C} - черенковский счетчик полного поглощения.
- Рис.2 Зависимость центров амплитудных распределений импульсов с \check{C} - счетчика от энергии налетающего электрона для различных толщин Pb -конвертора, помещенного в зазорах блока искровых камер.
- Рис.3 Относительное изменение амплитуды импульса в зависимости от толщины конвертора для различных энергий (сплошные линии). X - значения отношения E'/E_0 для всех энергий, вычисленное по формуле (1).
- Рис.4 Двумерное распределение событий: число частиц в искровых камерах - измеренная энергия.
- Рис.5 а - Энергетическое разрешение черенковского спектрометра с учетом поправок к энергии;
б - энергетическое разрешение без учета поправок к энергии. Цифры у кривых - значения толщины Pb - конвертора, помещенного перед спектрометром.

ЛИТЕРАТУРА

1. I.Manuelli, A.Bigi, R.Carrara et al. *Phys.Rev.Lett.* 14, 408, 1965.
В.Н.Болотов, Л.М.Васильев, М.И.Грачев и др. Препринт ИФВЭ 7I-95, Серпухов, 197I.
2. В.А.Безус, А.М.Гальпер, В.В.Дмитриенко и др. ПТЭ, 3, 52, 1969 *R.Kayikawa Jour.Phys.Soc.Japan* 18, 10, 1963.
3. Р.Г.Аствацатуров, А.М.Баддин, С.Г.Басиладзе и др. ПТЭ, 5 2I, 1972.
4. Р.С.Абрамов, А.С.Алексанян, Н.Х.Арутюнян и др. Научное сообщение ЕФИ-195(4I)-76.
5. D.F.Crouford and H.Messel *Phys.Rev.* 128, 2352, 1962.

Рукопись поступила 6-го февраля 1978г.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 299

ВФ-03340

Тираж 299

Подписано к печати 29/У-78 Формат издания 60x80/16

1.0 уч.изд.л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Мар-
каряна 2.

индекс 3624