

Бесплатно

Индекс 3624

✓
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

85-143
На правах рукописи

Аматуни Цолак Андреевич

ИДЕНТИФИКАЦИЯ,
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ И КООРДИНАТ
ЭЛЕКТРОНОВ И ГАММА-КВАНТОВ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ
ПО ИЗМЕРЕНИЮ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ
ВБЛИЗИ МАКСИМУМА ЛИВНЯ

01.04.01 - экспериментальная физика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т 85-143, И Ф В Э, 1985

Серпухов 1985

Работа выполнена в Институте физики высоких энергий (г. Серпухов).

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор С.П.Денисов.

Официальные оппоненты: член-корреспондент АН СССР Ю.Д.Прокошкин, кандидат физико-математических наук В.В.Кухтин.

Ведущее предприятие - Физический институт им. П.Н.Лебедева АН СССР.

Защита состоится "___" _____ 1985 г. в _____ часов на заседании специализированного совета Д 034.02.01 при Институте физики высоких энергий (142284, Протвино Московской обл.).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИФВЭ.

Автореферат разослан "___" _____ 1985 г.

Ученый секретарь
специализированного совета ИФВЭ
Ю.Г.Рябов

© Институт физики высоких энергий, 1985

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Регистрация электронов и фотонов высокой энергии занимает одно из центральных мест в методике экспериментов по физике высоких энергий. Для этой цели в настоящее время широко используются спектрометры полного поглощения (СПП). Они позволяют измерять с высокой точностью энергии и координаты электронов (фотонов), разделять с высокой эффективностью адроны и электроны. Большинство СПП имеют высокое временное разрешение, что позволяет использовать информацию, получаемую с их помощью, для организации триггера.

В ряде случаев эти же цели могут быть достигнуты при помощи более простого и дешевого ливневого детектора, принцип работы которого основан на измерении числа частиц или их энерговыделения в области максимума электромагнитного каскада. В дальнейшем для спектрометра, работающего по этому принципу, будет использовано название "тонкий" спектрометр электронов и фотонов. Применение "тонкого" спектрометра представляется особенно перспективным в области высоких энергий ($E \gtrsim 1$ ТэВ).

Цель диссертационной работы заключалась в экспериментальном и теоретическом исследовании основных характеристик "тонкого" спектрометра, таких как энергетическое и координатное разрешения и эффективность разделения электронов и адронов.

Научная новизна исследования определяется следующим:

1. Впервые детально и систематически проведено экспериментальное исследование характеристик "тонкого" спектрометра с использованием сцинтилляционных счетчиков и ионизационных трубок; показано, что при помощи ионизационных трубок, заполненных аргоном или ксеноном до высокого давления, можно регистрировать минимально ионизирующие частицы с эффективностью, близкой к 100%, причем длина трубки может достигать ≈ 10 м;
2. Создана универсальная программа расчета электромагнитных ливней методом Монте-Карло, более полно учитывающая

особенности развития ливней по сравнению с известными программами; сопоставление полученных экспериментальных результатов и теоретических расчетов по созданной программе позволило предсказать характеристики "тонких" спектрометров в области энергий вплоть до 1 ТэВ.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что "тонкий" спектрометр, являясь простым и дешевым прибором, не уступает по ряду характеристик гораздо более сложным и дорогим СПП. "Тонкие" спектрометры несомненно найдут применение в экспериментальных установках на ускорителях нового поколения. Представляет также интерес возможность использования "тонких" спектрометров в исследовании космических лучей сверхвысоких энергий.

Созданная универсальная программа моделирования электромагнитных ливней методом Монте-Карло несомненно будет полезной при проведении расчетов характеристик ливневых детекторов электронов и фотонов с целью их оптимизации.

Личный вклад автора состоит:

- 1) в разработке и создании аппаратуры;
- 2) в получении, обработке и анализе экспериментальных данных при энергиях электронов от 6,6 до 40 ГэВ и адронов с импульсом 40 ГэВ/с;
- 3) в создании универсальной программы расчета электромагнитных ливней методом Монте-Карло;
- 4) в сопоставлении и анализе экспериментальных данных и данных расчетов по методу Монте-Карло.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на рабочих совещаниях по ускорительно-накопительному комплексу ИФВЭ в 1982 и 1983 гг., на научных семинарах в ИФВЭ и ЕрФИ, и опубликованы в научных публикациях, указанных в библиографии.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы (105 наименований). Общий объем диссертации 140 страниц, включая 33 рисунка и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель диссертационной работы и дано краткое содержание глав.

Первая глава посвящена краткому обзору электромагнитных спектрометров полного поглощения и факторов, определяющих их

основные физические характеристики – энергетическое и координатное разрешения и эффективность разделения электронов и адронов. Проведен сравнительный анализ различных типов спектрометров полного поглощения – гомогенных (NaJ, BGO, SCG, свинцовое стекло) и гетерогенных.

Во второй главе изложены результаты экспериментального исследования характеристик "тонкого" спектрометра.

Принцип работы тонкого спектрометра основан на измерении числа частиц или их энерговыделения в области максимума электромагнитного каскада. Согласно каскадной теории (приближение "В", нулевое обрезание по энергии вторичных частиц) число электронов в максимуме ливня и его положение (в радиационных единицах длины) определяются формулами

$$N_{\max} = 0,31 \frac{E_0}{\epsilon} \left(\ln \frac{E_0}{\epsilon} - 0,37 \cdot k \right)^{-1/2},$$

$$t_{\max} = 1,01 \left(\ln \frac{E_0}{\epsilon} - k \right),$$

где E_0 – энергия первичной частицы; ϵ – критическая энергия; k равно 1 для первичного электрона и 0,5 для первичного фотона. Из приведенных формул следует, что в области высоких энергий ($E_0 \gg \epsilon$):

- 1) число частиц в максимуме ливня примерно пропорционально E_0 (отклонение от линейной зависимости имеет характер $(\ln E_0)^{-1/2}$),
- 2) положение максимума ливня слабо (как $\ln E_0$) зависит от энергии,
- 3) N_{\max} и t_{\max} примерно одинаковы для первичных электронов и фотонов,
- 4) число частиц в максимуме ливня обратно пропорционально ϵ .

Перечисленные свойства электромагнитных ливней позволяют сделать вывод, что при помощи детектора, расположенного за конвертором толщиной $\approx t_{\max}$, можно измерять энергию электронов и фотонов в достаточно широком интервале. Разрешение по энергии будет тем лучше, чем меньше ϵ . Координата электронов может быть восстановлена, например, по центру тяжести распределения поперечного энерговыделения, измеренного при помощи годоскопического детектора.

Из-за относительно малой толщины "тонкий" спектрометр будет обладать достаточно высокой эффективностью разделения электронов и адронов. Характеристики "тонких" спектрометров ранее детально не изучались.

Исследования проводились на канале частиц № 2 ускорителя ИФВЭ в пучках электронов с импульсом 6,65; 13,3; 26,6 и 40 ГэВ/с и адронов с импульсом 40 ГэВ/с

"Тонкий" спектрометр электронов состоял из свинцового или стального конвертора и расположенного за ним сцинтилляционного или ионизационного детектора.

В качестве сцинтиллятора использовались пластины из обычного пластического сцинтиллятора на основе полистирола размером $8 \times 12 \text{ см}^2$ и толщиной 2, 8, 16 или 20 мм. Сцинтилляционные пластины устанавливались непосредственно (без оптического контакта) на фотокатод ф.э.у. типа ФЭУ-110. В другой серии измерений детектор электронов представлял собой сцинтилляционный годоскоп, состоящий из 8 палочек шириной 10 мм, толщиной по пучку 15 мм и длиной 12 см. Каждая палочка просматривалась ФЭУ-85 через световод длиной 20 см. Сигналы с ф.э.у. через временные "ворота" длительностью 70 нс поступали на 1024-канальные преобразователи амплитуда-код. Информация с амплитудных преобразователей передавалась в ЭВМ HP-2100 для записи на магнитную ленту и "on-line" обработки.

Ионизационный детектор состоял из 21 ионизационной трубки, расположенных в два ряда. Трубки были сделаны из нержавеющей стали. Их внешний диаметр 10 мм, толщина стенки 0,5 мм, длина 36 см.

Анодные проволочки имели диаметр 0,1 мм и были сделаны из бериллиевой бронзы. Трубки были рассчитаны на давление до 150 атм. Они наполнялись аргоном или ксеноном высокой чистоты. Аноды всех трубок присоединялись к одному зарядочувствительному предусилителю с полевым транзистором 2N4861A на входе.

Конвертор набирался из пластин размером $8 \times 10 \text{ см}^2$ и толщиной 4,6 мм (свинец) и 9,5 мм (сталь). Экспериментальная процедура заключалась в измерении амплитудных спектров сигналов с детектора для различных толщин свинцового или стального конвертора.

Исследования показали, что энергетическое разрешение σ/E , координатное разрешение α_x и эффективность разделения электронов и адронов как функции толщины конвертора имеют довольно широкий минимум в области максимума ливня (рис. 1-3). Амплитуда сигнала в максимуме ливня практически линейно зависит от энергии электронов. Зависимость минимальных значений σ/E от энергии электронов может быть представлена в виде

$$\frac{\sigma}{E} = K_1 \cdot E^{-0,45}, \quad (1)$$

где $K_1 \approx 0,7$ для свинцового, $K_1 \approx 0,8$ для стального конверторов, E - энергия электрона в ГэВ (рис. 4).

При ширине ячейки сцинтилляционного годоскопа 10 мм пространственное разрешение спектрометра составляет

$$\sigma_x = K_2 \cdot E^{-0,45}, \quad (2)$$

где $K_2 \approx 8$ мм для свинцового и $K_2 \approx 8,5$ мм для стального конверторов (см. рис. 4). При определении α_x сделана поправка на размер (2 мм) счетчика, определяющего пучок. Пространственное разрешение спектрометра ухудшается незначительно при переходе от 10-мм ячейки годоскопа к 20-мм и определяется флюктуациями поперечного развития ливня.

Измерены средние поперечные профили электромагнитных ливней, образованных электронами с энергией 13,3; 26,6 и 37,7 ГэВ на различных глубинах свинцового и стального поглотителей. Средние поперечные профили удовлетворительно описываются зависимостью $\sim \exp(-|x|/B(t))$, где x - расстояние от оси ливня, а параметр $B(t)$ очень слабо уменьшается с ростом энергии и примерно линейно растет с увеличением толщины конвертора.

"Тонкий" спектрометр можно эффективно использовать для разделения электронов и адронов. Для определения эффективности были измерены амплитудные спектры при облучении исследуемого спектрометра с конверторами разной толщины пучком отрицательных адронов с импульсом 40 ГэВ/с и найдены вероятности R появления адронного сигнала с амплитудой в пределах $\pm 2\sigma$ от средней амплитуды электронного пика, измеренного при той же толщине конвертора (см. рис. 3). При энергии электронов 40 ГэВ $R_{\min} \approx 4 \cdot 10^{-3}$ для свинцового конвертора и примерно втрое больше для стального конвертора.

Отклик детектора является, вообще говоря, нелинейной функцией начальной энергии. Измерения показывают, что нелинейность отклика спектрометра в диапазоне энергий $E_{\max}/E_{\min} \approx 3$ не превышает нескольких процентов.

Были исследованы также характеристики "тонкого" спектрометра, в котором в качестве детектора ливневых частиц использовались ионизационные трубки, заполненные аргоном или ксеноном под высоким давлением. Использование ионизационных трубок имеет такие преимущества, как простота изготовления, дешевизна, простота калибровки и возможность работы в сильных магнитных полях. Детекторы из ионизационных трубок могут быть сделаны практически неограниченных размеров с сохранением высокой однородности характеристик. Недостатком ионизационных трубок является худшее по сравнению со сцинтилляционным детектором временное разрешение и необходимость использования малошумящих усилителей.

Измерения на пучке электронов с импульсом 26,6 ГэВ показали, что энергетическое разрешение σ/E как функция толщины свинцового конвертора имеет широкий минимум в области максимума ливня. Наилучшее энергетическое разрешение $\sigma/E \approx 15,5\%$ достигнуто при толщине свинцового конвертора ≈ 41 мм и давлении аргона ≈ 20 атм, что согласуется с результатами измерений

со сцинтилляционным детектором. Разрешение детектора ухудшается при давлении аргона ≤ 10 атм, что связано, по-видимому, с шумами электроники.

Исследовалась возможность работы "тонкого" спектрометра с ионизационными трубками в сильных магнитных полях. Оказалось, что амплитуда сигнала с трубок зависит от величины (но не направления) магнитного поля: она растет почти линейно до напряженности поля ≈ 1 Тл, а затем выходит на плато. Это связано, по-видимому, с "закручиванием" мягких ливневых электронов в магнитном поле, что приводит к увеличению суммарной длины треков. Разрешение спектрометра с ростом магнитного поля слегка ухудшается.

Исследовалась возможность регистрации минимально ионизирующих частиц при помощи ионизационных трубок, заполненных ксеноном до 60 атм или аргоном до 140 атм. Измерения проводились в пучке отрицательных адронов с импульсом 40 ГэВ/с. В случае аргонового наполнения для увеличения отношения сигнал/шум использовалось параллельное включение трех полевых транзисторов типа 2N4861A на входе предусилителя. В качестве основного усилителя использовался стандартный спектрометрический усилитель типа RC-CR с постоянными интегрирования и дифференцирования $\tau_1 = \tau_d \approx 2$ мкс.

При этом эквивалентный уровень шума для аргонового заполнения составлял $3,2 \cdot 10^3$ электронов. Оказалось, что эффективность регистрации минимально ионизирующей частицы составляла $\approx 100\%$, причем длина трубки, от которой зависит емкость детектора, а следовательно, и отношение сигнал/шум, может достигать ≈ 10 м.

В третьей главе приводятся основные алгоритмы моделирования и сечения электродинамических процессов, использованных в программе моделирования электромагнитных ливней ELSS-1.

В настоящее время в связи с широким применением ливневых детекторов для регистрации электронов и фотонов высокой энергии в экспериментах, проводимых на ускорителях и в космических лучах, часто возникает необходимость в оценочных расчетах при проектировании этих детекторов. Наиболее адекватный подход к решению задач, встречающихся на практике, заключается в аналоговом моделировании каскадного процесса методом Монте-Карло. Метод позволяет:

- 1) сравнительно просто и с минимальными упрощениями учесть все основные процессы и эффекты взаимодействия ливневых частиц с средой;
- 2) изучить трехмерное развитие ливней в неоднородных поглотителях произвольной геометрии;
- 3) оценить флуктуации в ливнях.

Недостаток метода заключается в необходимости проведения большого объема вычислений. Однако для современных ЭВМ эта задача не представляет особой сложности.

Большое разнообразие в конструкции, принципе работы, области измеряемых энергий ливневых детекторов электронов и фотонов обуславливает необходимость создания универсальной программы, позволяющей моделировать электромагнитные ливни заданной энергии, вообще говоря, в неоднородных поглотителях произвольной геометрии.

Нами была создана универсальная программа моделирования электромагнитных ливней ELSS-1, в которой обобщен и развит опыт аналогичных работ, выполненных ранее.

Таблица

Процессы \ Программы	Мэссел, Крауфорд	EGS-3	SIMEX1	ELSS-1
Тормозное излучение	+	+	+	+
Рождение пар	+	+	+	+
а) эффект Ландау-Померанчука	+	-	+	+
б) эффект плотности среды	+	-	-	+
в) экранирование поля ядра атомными электронами	+	+	+	+
Многokратное рассеяние	+	+	+	+
Ионизационные потери энергии	+	+	+	+
а) эффект плотности Ферми	+	+	+	+
б) флуктуации потерь	-	-	+	+
Радиационные потери энергии	+	+	+	+
Флуктуации потерь	+	-	-	+
Электрон-электронное рассеяние	+	+	+	+
Позитрон-электронное рассеяние	+	+	+	+
Комптон эффект	+	+	+	+
Фотоэффект (на К оболочке)	+	+	+	+
Аннигиляция e^+ в два фотона	+	+	+	+

Обозначения: + процесс учтен, + учтен приближенно; ! имеется ошибка в алгоритме моделирования; - процесс не учтен

В таблице приведены процессы и эффекты, учтенные в программе ELSS-1. Вопросу моделирования электромагнитных ливней посвящено много работ. В таблице для сравнения указаны также процессы и эффекты, учтенные в программах Мэссела и Крауфорда, в программе EGS-3 - Форда и Нельсона и в программе SIMEX1, созданной Б.Е.Штерном, которые выделяются более детальным учетом основных элементарных процессов.

В программе Мэссела и Крауфорда наиболее полно и точно учтены все основные процессы, однако она не является универсальной и общедоступной. С ее помощью были созданы обширные таблицы характеристик ливней (так называемая "книга ливней") в нескольких поглотителях и при низких энергиях (в основном $\ll 10$ ГэВ). Хотя сама по себе информация, содержащаяся в этих таблицах, является почти исчерпывающей, она не всегда может быть использована на практике.

Программа EGS-3 является универсальной и удобной в обращении, однако диапазон энергий, моделируемых ливней ограничен энергиями порядка 100 ГэВ. В настоящее время в экспериментах в космических лучах и на ускорителях функционируют и проектируются ливневые детекторы для регистрации электронов и фотонов с энергиями в несколько ТэВ и выше. Для моделирования ливней в этой области энергий необходимо учитывать эффект Ландау-Померанчука, который приводит к качественным изменениям в процессе развития ливня. В программе SIMEX1 эффект Ландау-Померанчука учтен приближенно.

В четвертой главе приведены основные характеристики программы ELSS-1 и результаты расчетов, проведенных с ее помощью. Основные характеристики программы ELSS-1 следующие:

1. Тип извлекаемой информации: энерговыделение в заданном объеме; число ливневых частиц данного типа, пересекающих заданную поверхность; их энергетическое, координатное, угловое распределения и т.д.
2. Поглотитель может иметь произвольную геометрию из любого количества кусочно-однородных областей (в том числе и вакуума) и состоять из десяти или меньшего количества любых веществ, каждое из которых, в свою очередь, может быть смесью до 10 элементов.
3. Энергия начальной частицы. Теоретического ограничения сверху на начальную энергию нет, так как точно учтены эффекты влияния среды на сечения тормозного излучения и рождения пары при высоких энергиях. На практике ограничение обусловлено быстродействием ЭВМ, так как время моделирования одного ливня линейно растет с увеличением начальной энергии.

4. Энергия обрезания для фотонов не должна быть существенно ниже энергии К-края поглощения, а для электронов не рекомендуется брать энергию обрезания меньше $\approx 1-1,5$ МэВ (полная энергия), что связано с применимостью теории Мольера для многократного рассеяния.

5. Быстродействие τ - машинное время, необходимое для моделирования одного ливня, определяется в основном отношением начальной энергии к энергии обрезания для электронов $R = E_0 / E_{\min}$, но зависит также от критической энергии ϵ вещества, в котором моделируется ливень, и от геометрической сложности поглотителя. При $R \approx 10^4$ в зависимости от этих дополнительных факторов, величина τ не превышает обычно $1+5$ с/соб (ЭВМ ICL-1906).

Программа ELSS-1 написана на ФОРТРАНЕ (≈ 2500 операторов), объем программы 75 Кбайт. Программа полностью документирована и может быть без большого труда поставлена на различных типах ЭВМ.

Для проверки правильности программы ELSS-1 было проведено сравнение результатов расчета по методу Монте-Карло с некоторыми экспериментальными данными, полученными как другими авторами, так и в наших экспериментах. Согласие между результатами расчета и эксперимента в большинстве случаев не хуже $\approx 10\%$.

Для иллюстрации возможностей программы проведены расчеты продольных и поперечных распределений энерговыделения в ливнях, образованных электронами с энергией от 6,6 до 1000 ГэВ в свинце и стали.

Проведены расчеты энергетического разрешения "тонкого" спектрометра, состоящего из свинцового конвертора и сцинтилляционного счетчика толщиной 8 мм для энергий электронов 6,65; 13,3; 26,6; 40; 100; 300 и 1000 ГэВ. Показано, что энергетическое разрешение "тонкого" спектрометра определяется в основном флуктуациями ливня в максимуме развития и продолжает улучшаться с ростом энергии в хорошем согласии с зависимостью (1) по крайней мере вплоть до энергии 1 ТэВ.

В приложении приведено краткое руководство по пользованию программой ELSS-1.

Заклучение. Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Исследования - экспериментальные и теоретические - характеристик "тонкого" спектрометра электронов и гамма-квантов высокой энергии показали, что

1) энергетическое разрешение спектрометра составляет $\sigma/E = K_1 E^{-0,45}$, где $K_1 \approx 0,7$ для спектрометра со свинцовым

конвертором и $K_1 \approx 0,8$ для спектрометра со стальным конвертором (E – энергия электронов в ГэВ);

- 2) координатное разрешение спектрометра составляет $\sigma_x = K_2 E^{-0,45}$, где $K_2 \approx 8$ мм для спектрометра со свинцовым конвертором и $K_2 \approx 8,5$ мм в случае стального конвертора, при ширине ячейки сцинтилляционного годоскопа, расположенного в области максимума ливня 10 мм;
- 3) спектрометр позволяет эффективно разделять электроны и адроны;
- 4) спектрометр с ионизационными трубками, заполненными аргоном или ксеноном под высоким давлением, может работать в сильных магнитных полях;
- 5) при помощи ионизационных трубок, заполненных аргоном под давлением 140 атм или ксеноном под давлением 60 атм, можно регистрировать минимально ионизирующие частицы с эффективностью, близкой к 100%, причем длина трубки может достигать ≈ 10 м.

11. Создана универсальная программа ELSS-1 для моделирования методом Монте-Карло электромагнитных ливней высокой энергии, в неоднородных поглотителях произвольной геометрии. В программе ELSS-1 полнее и корректнее по сравнению с ранее созданными аналогичными программами, учтены основные физические процессы и эффекты взаимодействия электронов и фотонов с веществом. В частности, точно учтен эффект Ландау-Померанчука, что позволит правильно моделировать электромагнитные ливни сверхвысоких энергий. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными и найдено удовлетворительное согласие.

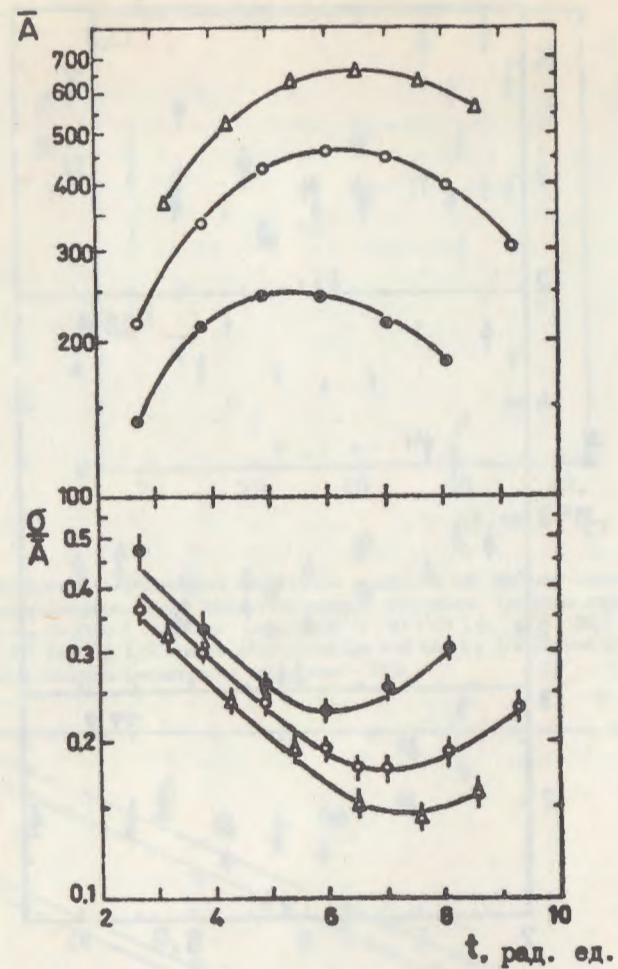


Рис. 1. Зависимость средней амплитуды и амплитудного разрешения от толщины стального конвертора для энергий электронов 13,3 (♦); 26,6 (○) и 37,7 ГэВ (△). Кривые проведены от руки.

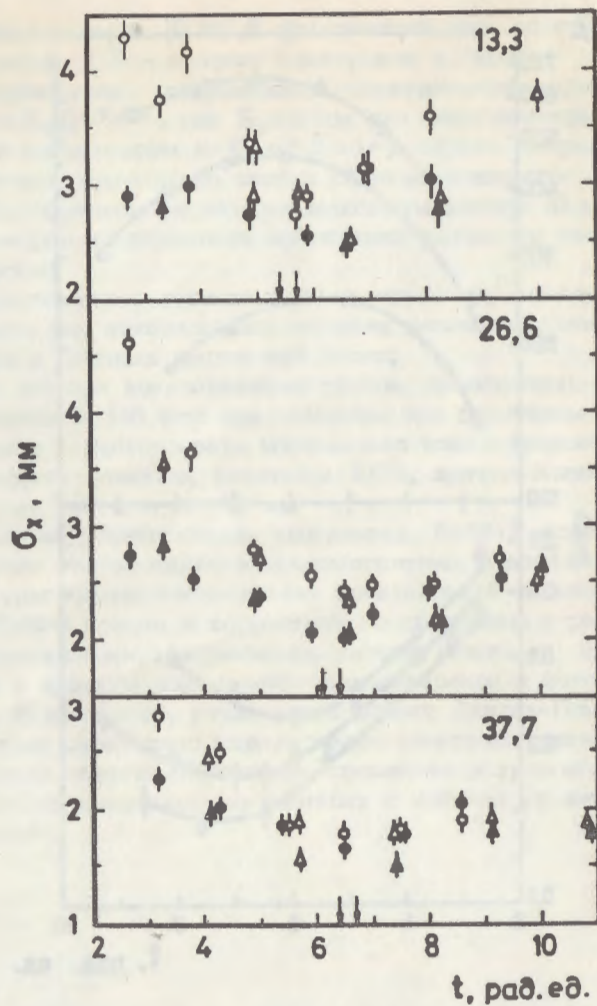


Рис. 2. Зависимость пространственного разрешения от толщины стального (ϕ , ϕ) и свинцового (\blacktriangle , \blacktriangle) конверторов для электронов с энергией 13,3; 26,6 и 37,7 ГэВ. Размер ячейки годоскопа - 10 мм (ϕ , \blacktriangle), 20 мм (ϕ , \blacktriangle). Стрелками показаны положения максимумов электромагнитных ливней в свинце (правая стрелка) и стали (левая стрелка).

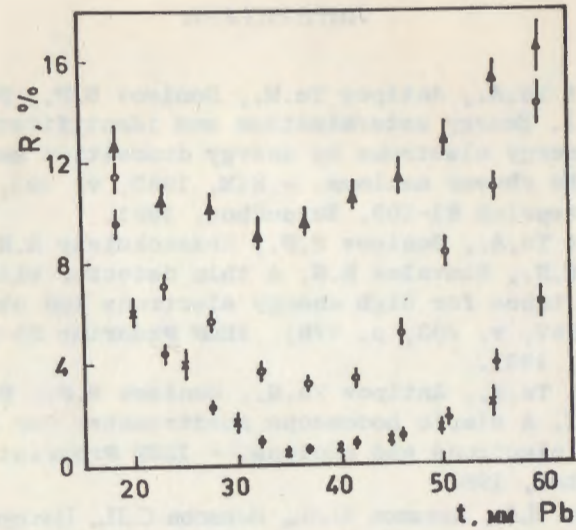


Рис. 3. Эффективность разделения электронов и адронов как функция толщины свинцового конвертора перед сцинтиляционным счетчиком. Импульс адронного пучка - 40 ГэВ/с, энергия электронов - 40 ГэВ (ϕ , \blacktriangle), 26,6 ГэВ (ϕ) и 13,3 ГэВ (\blacktriangle). Толщина сцинтиллятора - 8 мм (\blacktriangle) и 20 мм (ϕ , ϕ , \blacktriangle). Эффективность регистрации электрона - 95%.

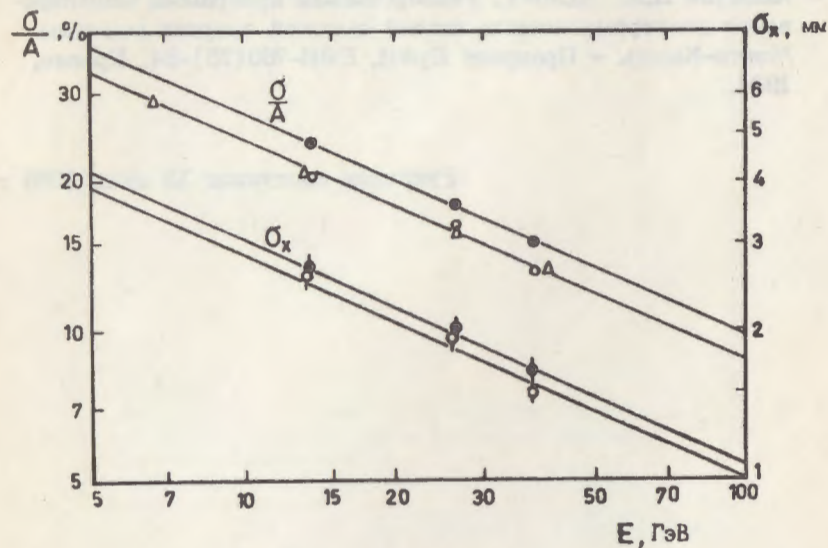


Рис. 4. Зависимость минимальных значений амплитудного - σ/A и координатного - σ_x разрешений от энергии, для свинцового (ϕ , \blacktriangle) и стального (ϕ) конверторов. Размер ячейки годоскопа - 10 мм. Прямые линии - зависимости (1) и (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Amatuni Ts.A., Antipov Yu.M., Denisov S.P., Petrukhin A.I. Energy determination and identification of high-energy electrons by energy deposition measurement near the shower maximum. - NIM, 1982, v. 203, p. 183; IHEP Preprint 81-109, Serpukhov, 1981.
2. Amatuni Ts.A., Denisov S.P., Krasnokutsky R.N., Lebedenko V.N., Shuvalov R.S. A thin detector with ionization tubes for high energy electrons and photons. - NIM, 1982, v. 203, p. 179; IHEP Preprint 81-108, Serpukhov, 1981.
3. Amatuni Ts.A., Antipov Yu.M., Denisov S.P., Petrukhin A.I. A simple hodoscope spectrometer for high-energy electrons and photons. - IHEP Preprint 82-28, Serpukhov, 1982.
4. Аматуни Ц.А., Антипов Ю.М., Денисов С.П., Петрухин А.И. Простой годоскопический спектрометр электронов и фотонов высокой энергии. - ПТЭ, 1983, т. 3, с. 33.
5. Аматуни Ц.А. - Моделирование электромагнитных ливней методом Монте-Карло. - Препринт ЕрФИ, ЕФИ-735(50)-84, Ереван, 1984.
6. Аматуни Ц.А. ELSS-1. Универсальная программа моделирования электромагнитных ливней высокой энергии методом Монте-Карло. - Препринт ЕрФИ, ЕФИ-760(75)-84, Ереван, 1984.

Рукопись поступила 13 июня 1985 г.