

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Д-461

17/10-75

P1 - 8539 +

989/2-75

Г.Д.Алексеев, А.М.Зайцев, Н.А.Калинина,
В.В.Круглов, В.Н.Кузнецов, А.В.Куликов,
А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Б.М.Понтекорво,
Д.М.Хазинс, И.Н.Чурин

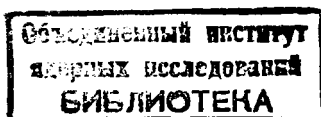
ПОИСКИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ СВИНЦОВОЙ МИШЕНИ,
ОБЛУЧЕННОЙ ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 45 ГЭВ

1975

Г.Д.Алексеев, А.М.Зайцев,¹ Н.А.Калинина,²
В.В.Круглов,² В.Н.Кузнецов,³ А.В.Куликов,²
А.В.Купцов, Л.Л.Неменов, Б.М.Понтекорво,
Д.М.Хазинс, И.Н.Чурин

ПОИСКИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ СВИНЦОВОЙ МИШЕНИ,
ОБЛУЧЕННОЙ ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 45 ГЭВ

Направлено в ЯФ



¹ Институт физики высоких энергий, Серпухов

² НИИЯФ МГУ

³ Иркутский государственный университет

1. Введение

Возможность существования новых, не известных и не предполагаемых ранее долгоживущих частиц адронной природы рассмотрена в работе ^{/1/}. В ней показано, что если эти частицы нейтральны и сечение их образования мало $< 10^{-30} \text{ см}^2$, то они не могли быть обнаружены в проведенных ранее экспериментах. Для обнаружения новых частиц предложено регистрировать продукты их распада, которые должны обладать значительной энергией. Новые частицы, рождающиеся в нуклон-нуклонных соударениях при высоких энергиях, в основном, будут вылетать из мишени. Однако малая их часть ^{/1/} может остановиться внутри ядра-мишени /аналогично образованию гиперядра/, и распад таких частиц будет зарегистрирован. Такой метод применим для поиска как заряженных, так и нейтральных частиц.

Уже после того, как упомянутые идеи обсуждались, вопрос о новых квантовых числах в области элементарных частиц стал гораздо более актуальным. Действительно, среди физиков сегодня царит убеждение в том, что отсутствие на опыте нейтральных токов с изменением странности требует нового квантового числа и подразумевает поэтому существование множества новых частиц с совершенно необычными свойствами, суперзаряженных /или "очарованных"/. Правда, предсказанные частицы должны иметь время жизни, на много порядков меньшее, чем то, которое может быть исследовано в наших опытах. Для того чтобы получить время жизни, на много порядков больше ожидаемого значения для очарованных частиц $\leq 10^{-11} \text{ с}$, масса их должна быть меньше или близкой массе обычных странных частиц, а это для заряженных частиц исключается уже проведенными экспериментами.

Однако сам факт возможного появления новых квантовых чисел в мире элементарных частиц оправдывает поиски нейтральных частиц с большим временем жизни, как это обсуждалось в работе /1/.

До настоящего времени выполнено несколько поисковых экспериментов, в основе которых лежали изложенные выше идеи. В работах /2,3/ проведены поиски излучения высокой энергии от мишеней из алюминия и вольфрама, облученных протонами с энергиями 70^{/2/}, 300 и 400^{/3/} ГэВ. Установки были чувствительны к распадам с временами жизни от нескольких часов до нескольких лет. В работе /4/ исследовалось запаздывающее деление, которое могло бы сопровождать распад гипотетических частиц /1/, в мишени из золота, облученной протонами с энергией 6 ГэВ. Исследованное время жизни - от 0,5 до 50 час. Во всех этих работах запаздывающие эффекты не были обнаружены на уровне сечений $10^{-34} - 10^{-37} \text{ см}^2$ на ядро.

В настоящей работе изучались существенно более короткие времена жизни - от 100 мс и более. Установка регистрировала распады с испусканием электронов или гамма-квантов высокой энергии. В техническом отношении описываемый эксперимент отличается от всех предыдущих тем, что мишень исследуется на месте облучения в промежутках между сбросами пучка. В этих условиях основная трудность эксперимента состоит в большой загрузке детекторов. Для исследования времен жизни более 100 мс эта загрузка обусловлена наведенной радиоактивностью.

2. Измерения

Эксперимент проводился на ускорителе Института физики высоких энергий в Серпухове. Установка размещалась на выведенном протонном пучке /канал №9/. Энергия протонов равнялась 45 ГэВ. Подробное описание установки дано в работе /5/.

Схема расположения детекторов представлена на рис. 1. Мишень М изготовлена из свинца и является одновременно конвертором для рождающихся в ней гам-

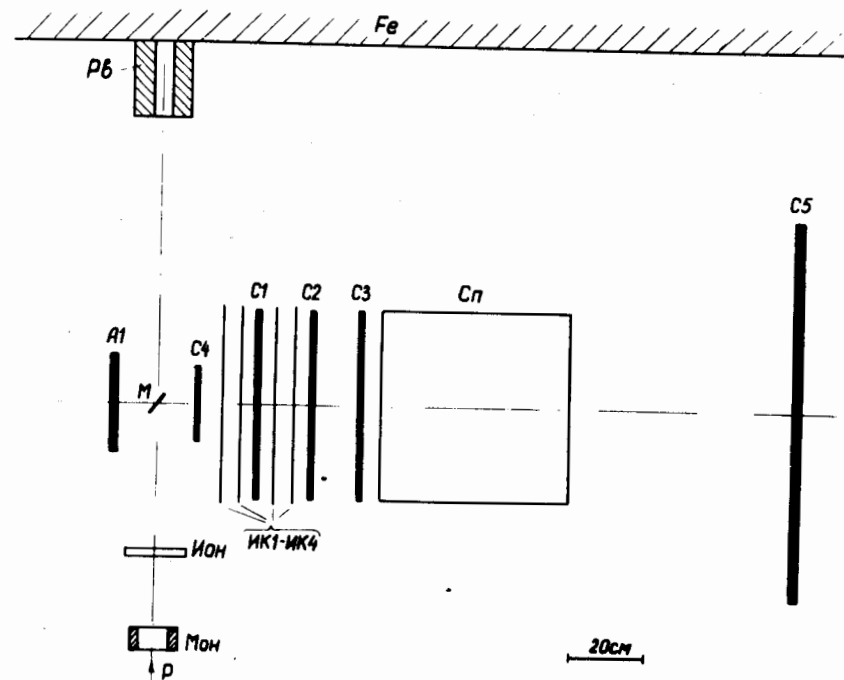


Рис. 1. Схема расположения детекторов.

ма-квантов. Электроны, вылетающие из мишени, регистрируются сцинтилляционными счетчиками $C_1 \div C_4$, проволочными искровыми камерами ИК₁-ИК₄ и водяным черенковским спектрометром /Сп/ /6/. Выбор такого спектрометра связан с тем, что вода не изменяет своих свойств под действием излучения. Кроме того, его амплитудное разрешение при малых энергиях существенно лучше, чем у более распространенных стеклянных спектрометров. Сцинтилляционный счетчик А₁ служит для отделения случаев срабатывания установки от космических частиц. Сцинтилляционный счетчик С₅ используется для энергетической калибровки спектрометра на частицах космического излучения. Аппаратура работает на линии с ЭВМ типа БЭСМ-3М.

Мастер-импульс вырабатывался при совпадениях $C_1 C_2 C_3 C_4$ Сп. При таком запуске регистрируются как высокоэнергетичные электроны, вылетающие из мишени, так и космические частицы. Запуски, вызванные космическими частицами, характеризуются наличием импульса в счетчике A_1 , находящемся по другую сторону мишени /точнее, этот импульс вызывается частью космических частиц, так как счетчик A_1 перекрывает примерно 2/3 телесного угла установки/. В ЭВМ события, в которых имеется импульс от A_1 , обрабатываются как "калибровочные", а именно - используются для получения распределений по величине ионизационных потерь в счетчиках и по временным сдвигам между импульсами от детекторов, а также для определения эффективности искровых камер. Просчеты в схеме запуска составляли около 20% и измерялись при помощи световых диодов /7/. Порог на дискриминаторе спектрометра соответствовал энергии электронов, равной 12 МэВ. С учетом потерь энергии на пути от мишени до спектрометра порог регистрации электронов составлял ~30 МэВ, для гамма-квантов -- 40 МэВ.

Амплитудно-временной анализ проводился по восьми параметрам: измерялись амплитуды со счетчиков C_3 , C_4 , A_1 и со спектрометра /Сп/, а также временные сдвиги между импульсом от счетчика C_4 и импульсами от C_1 , C_2 , C_3 и Сп.

Интенсивность протонного пучка во время облучения составляла в среднем $1,4 \times 10^{10}$ протонов за цикл. Сброс пучка на мишень производился системой быстрого вывода ускорителя один раз в цикл /длительность цикла около 9 с/ за время, приблизительно равное 20 мс. Размер пучка на мишени - 8 мм по горизонтали и вертикали /ширина на полувысоте/. Мишень имела размеры $84 \times 60 \times 6$ мм³ и ориентирована под углом 45° к пучку и к оси установки, так что со стороны пучка и со стороны искровых камер ее размеры в проекции равны 60×60 мм². Размеры мишени специально выбирались значительно большими, чем размеры пучка, для того чтобы на краях мишени наблюдать возможный фон от свинца, не связанный с пучком.

При малой задержке после сброса загрузка детекторов была слишком велика. Поэтому измерения начинались

через 100 мс после сброса. Кроме того, из измерений исключалось время "стола" магнитного поля ускорителя, когда введены мишени других каналов и в установке происходит много ложных запусков. При обработке были также отброшены все события, зарегистрированные в течение последней секунды перед выводом пучка, так как в это время наблюдается значительный фон, связанный с началом процесса ускорения частиц. На рис. 2 показано, на какой части цикла произведены измерения.

В программу обработки информации с искровых камер в вычислительной машине было введено ограничение на максимальное число искр в камерах - не более восьми в каждой плоскости /плоскость - одна координата одной камеры/. В действительности оказалось, что радиоактивность, наведенная на мишени, создает большое число фоновых искр и не позволяет работать при указанном ограничении. Чтобы уменьшить число регистрируемых искр, было решено снизить эффективность искровых камер путем уменьшения амплитуды высоковольтного импульса. Эффективность регистрации трека всеми четырьмя камерами в обеих проекциях была снижена примерно до 30%. Среднее число фоновых искр при этом составляло 4 на одну плоскость.

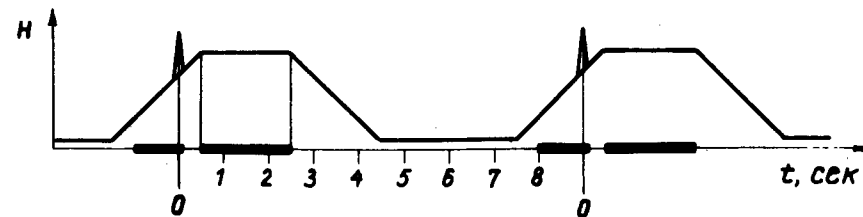


Рис. 2. Структура цикла магнитного поля ускорителя. Пиками на фронтах нарастания поля отмечены моменты вывода протонного пучка. На оси абсцисс зачернены временные интервалы, которые исключались из измерений.

Общее число протонов, прошедших через мишень за время экспозиции, равно 2×10^{14} . Для диапазона запаздывания от 100 до 450 мс измерения проведены на меньшей статистике - поток протонов составлял $0,4 \times 10^{14}$. Измерение интенсивности пучка производилось в каждом цикле с помощью индукционного монитора, работающего по принципу трансформатора тока. Кроме того, выполнялось измерение интегрального потока по активации фольги из алюминия, помещенной в пучок.

3. Обработка результатов

За время экспозиции было зарегистрировано около 38 тыс. запусков. Основную их часть составили запуски от космических лучей, использовавшиеся для калибровки и контроля за стабильностью работы аппаратуры.

Предварительная обработка событий проводилась на линии с ЭВМ. Сначала события разделялись на две группы по признаку присутствия импульса от счетчика A_1 . Если импульс имелся /1-я группа/, то требовалось наличие трека в искровых камерах хотя бы в одной проекции. В этом случае событие относилось к "калибровочным". Если импульс в счетчике A_1 отсутствовал, событие относилось ко 2-й группе. Для этих событий требовалось, во-первых, наличие трека в обеих проекциях и, во-вторых, чтобы точка пересечения трека с плоскостью мишени лежала в пределах квадрата $100 \times 100 \text{ мм}^2$, очерченного вокруг центра мишени в плоскости, перпендикулярной оси установки. Поскольку ошибка в восстановлении координат точки пересечения трека с плоскостью мишени из-за многократного рассеяния в счетчиках C_4 и C_1 составляла несколько миллиметров, все истинные события должны давать точки вблизи центра квадрата. Несмотря на это, к группе "кандидатов" были отнесены все события, дающие точки пересечения в пределах указанного квадрата. Для них выдавалась на печать полная амплитудно-временная информация, а также информация, полученная с искровых камер, и координаты точки пересечения трека с плоскостью мишени. Таких событий оказалось 112.

Дальнейшая обработка производилась после экспозиции. Во-первых, были отброшены события, зарегистрированные в течение последней секунды перед сбросом пучка по отмеченной ранее причине. Во-вторых, из-за наличия мертвого времени электроники в логическом канале счетчика A_1 и его большой загрузки признак срабатывания счетчика A_1 появлялся не для всех космических частиц. Это привело к появлению явно ложных "кандидатов", вошедших в число указанных 112. Однако в канале измерения амплитуды счетчика A_1 мертвого времени практически нет, и импульсы всех космических частиц анализируются по амплитуде. Поэтому, используя амплитудную информацию от A_1 , мы исключили подобных ложных "кандидатов". После введения этих двух критериев осталось 23 события.

Далее были отброшены события с временными сдвигами, указывающими на отсутствие корреляции частиц, и события с малыми амплитудами в счетчиках C_3 и C_4 /малые амплитуды появляются при таких запусках, когда в счетчиках регистрируется частица от наведенной радиоактивности, а в спектрометр в то же время попадает космическая частица/. После этого не осталось ни одного события. Доля полезных событий, отброшенных при введении всех критериев, составляла 28%. Заметим, что нам не пришлось использовать такой эффективный критерий, как попадание трека в область пересечения пучка с мишенью.

Полная эффективность регистрации предполагаемого события с учетом телесного угла установки /0,045/, просчетов, эффективности искровых камер, эффекта от случайных импульсов в счетчике A_1 и введения критериев составляет $4,5 \times 10^{-3}$.

4. Результаты измерения

Определен верхний предел сечения образования радиоактивного ядра, возникающего при облучении ядер Rb протонами с энергией 45 ГэВ и распадающегося с испусканием электронов или гамма-квантов высокой энер-

гии. Результаты для разных времен жизни для 90% доверительного предела приведены ниже:

Таблица

Время жизни	Верхний предел сечения на ядро Pb, 10^{-34} см ²
0,1 с	20
0,2 с	14
0,5 с	18
1 с	7
2 с	3
3 с	2
10 с	2
1 мин	2
1 час	2
1 сут	2

Результаты даны для испускания электронов. Для гамма-квантов значение верхнего предела следует умножить на 2 с учетом вероятности конверсии фотонов в электрон-позитронную пару в мишени.

Чтобы перейти к сечениям образования новых долгоживущих частиц в нуклон-нуклонных соударениях, необходимо сделать предположение относительно вероятности "застревания" новой частицы в ядре. Согласно [1], эта вероятность может иметь значение порядка 10^{-3} . С учетом числа нуклонов в ядре свинца, верхний предел образования в нуклон-нуклонном столкновении новой долгоживущей частицы будет в несколько раз больше, чем приведенный в таблице для соответствующего времени жизни.

Таким образом, в настоящей работе проведены исследования в области значительно более коротких времен жизни, чем в проведенных ранее [2-4] экспериментах. В ближайшее время на этой же аппаратуре будут выполнены измерения для существенно меньших времен жизни.

Авторы выражают благодарность В.П.Джелепову, А.А.Логунову, Ю.Д.Прокошкину, Р.М.Суляеву за поддержку работы, А.И. Барановскому и всем сотрудникам, обслуживающим вычислительную машину БЭСМ-3М, - за обеспечение работы ЭВМ в эксперименте, К.П.Мызничкову, В.М.Татаренко, В.И.Котову, В.А.Маишееву и А.М.Фролову - за осуществление вывода пучка, В.Н.Лебедеву, М.И.Соловьеву, проявившим внимание к работе. Авторы благодарны также А.П.Бугорскому и В.Я.Углекову за предоставление аппаратуры, Г.И.Бритвичу и В.С.Луканину - за помощь в определении параметров пучка, В.К.Балашову - за участие в измерениях, Ю.Г.Баше и В.Н.Виноградову - за всестороннюю организационную помощь, а также многим сотрудникам различных подразделений ИФВЭ, фамилии которых здесь невозможно перечислить.

Литература

1. Б.М.Понтекерво. ЯФ, 11, 846, 1970.
2. А.В.Демьянов и др. ЯФ, 13, 786, 1971.
3. S. Frankel et. al. Phys. Rev., D, v.9, No7, p.1932, 1974.
4. В.С.Кафтанов, И.С.Тростин, А.Л.Шимкевич. Препринт ИТЭФ №858, Москва, 1971.
5. Г.Д.Алексеев и др. ОИЯИ, P13-8538, Дубна, 1975.
6. В.И.Ганичев и др. ОИЯИ P13-7783, Дубна, 1974.
7. А.В.Купцов, Д.М.Хазинс. ПТЭ 3, 82, 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 января 1975 года.