

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



A-471

1/411-7
P1 - 9158

4678/2-75

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

ПОИСКИ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
С ВРЕМЕНАМИ ЖИЗНИ БОЛЕЕ 5 МС В МИШЕНИ
ИЗ РЬ, ОБЛУЧЕННОЙ ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 60-70 ГЭВ

1975

P1 - 9158

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

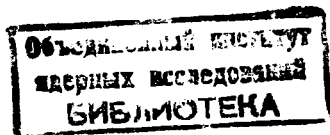
ПОИСКИ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ
С ВРЕМЕНАМИ ЖИЗНИ БОЛЕЕ 5 МС В МИШЕНИ
ИЗ РЬ, ОБЛУЧЕННОЙ ПРОТОНАМИ
С ЭНЕРГИЕЙ 60-70 ГЭВ

Направлено в ЯФ

¹ Институт физики высоких энергий, Серпухов.

² НИИЯФ МГУ.

³ Иркутский государственный университет.



В настоящей работе приведены результаты эксперимента по поиску новых метастабильных частиц, проведенного на ускорителе в Серпухове. Основная идея и метод исследования изложены в^{/1/} и заключаются в следующем. Если в нуклон-нуклонных столкновениях при высокой энергии рождаются долгоживущие частицы, обладающие сильным взаимодействием, то часть этих частиц может "застревать" внутри осколка ядра-мишени, образуя "квазирадиоактивное" ядро, аналогично обычным гиперядрам. Факт рождения новой долгоживущей частицы идентифицируется путем регистрации запызывающего излучения высокой энергии, которое может наблюдаться при распаде новой частицы. Возможность существования метастабильных частиц и целесообразность проведения подобных опытов обсуждались в^{/1-5/}.

Предложенным в^{/1/} методом были выполнены эксперименты^{/2-4/} с отрицательным результатом/ по поиску новых частиц с временами жизни от нескольких часов до нескольких лет. Первые результаты данного эксперимента в его нынешней постановке приведены в^{/5/}, где исследовалось возможное образование частиц с временами жизни 0,1 с и более при взаимодействии протонов с энергией 45 ГэВ с ядрами свинца. В настоящей работе исследовалась область времени жизни от 5 мс и более при энергии протонов 61 и 70 ГэВ.

1. Установка

Экспериментальная установка^{/6/} располагалась на выведении протонном пучке. Схема установки приведена на рис. 1. Телескоп детекторов направлен на свинцовую мишень М, находящуюся на траектории пучка.

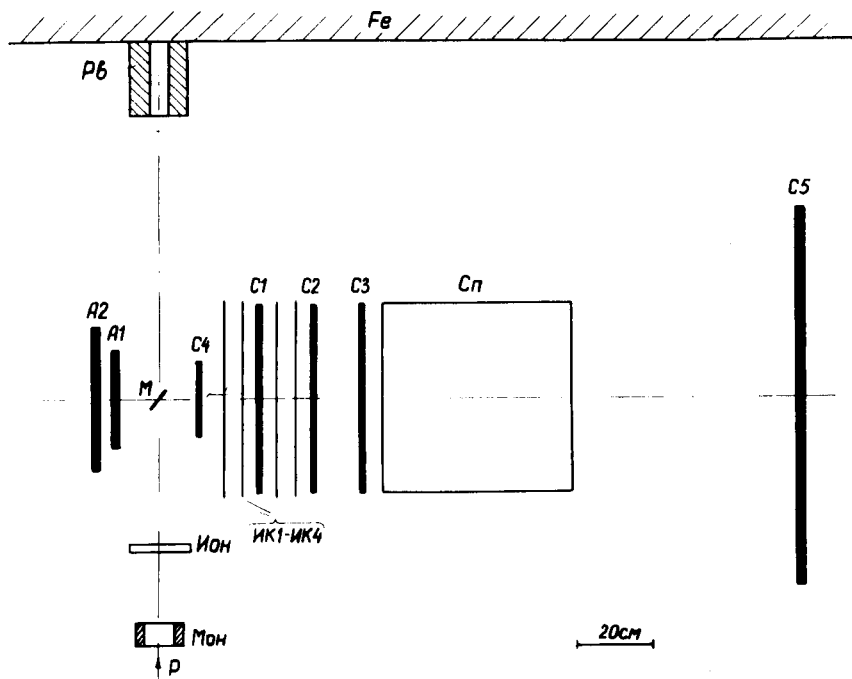


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

Мишень является одновременно конвертором для рождающихся в ней гамма-квантов. Регистрация актов распада гипотетических частиц производится в промежутках между сбросами пучка на мишень. Продукты распада регистрируются сцинтилляционными счетчиками С1-С4, двухкоординатными проволочными искровыми камерами ИК1-ИК4 и водяным черенковским спектрометром Сп. Сцинтилляционный счетчик С5 служит для энергетической калибровки спектрометра на космических лучах^{/6/}.

Аппаратура работала на линии с ЭВМ типа БЭСМ-3М. Запуск установки происходил при совпадениях С1С2С3С4Сп. При этом регистрировались как продукты распада, вылетевшие из мишени, так и космические частицы, пересекавшие, кроме того, сцинтилляционные счетчики А1 и А2. В ЭВМ программным путем события с импульсами в А1 и А2 выделялись в особую группу и ис-

пользовались для получения калибровочных распределений по величине ионизационных потерь в счетчиках и по временным сдвигам между импульсами от детекторов, для определения эффективности искровых камер, а также для контроля за работой аппаратуры во время экспозиции.

Мишень представляла собой пластинку из свинца толщиной 6 мм, ориентированную под углом 45° к пучку и к оси установки. Пучок попадал в центр мишени и имел форму круга с диаметром 5-8 мм /ширина на полувысоте/. Контроль за положением и формой пучка производился с помощью многопроволочной ионизационной камеры /рис. 1/, информация с которой выводилась на осциллограф^{/7/}, а также с использованием сцинтилляционных экранов, просматриваемых телевизионной установкой. Интенсивность пучка измерялась в каждом цикле индукционным монитором^{/8/} и контролировалась активационными измерениями.

Для каждого события в ЭВМ передавались номера сработавших проволок в искровых камерах; амплитуды и временные сдвиги для счетчиков С1-С4, А1, А2 и спектрометра; интенсивность пучка; признак срабатывания счетчиков А1, А2 и С5, не включенных в электронную логику; время, истекшее от момента сброса пучка до регистрации события; вспомогательная информация.

Программное обеспечение^{/9/} позволило проводить полную обработку информации в реальном масштабе времени, обеспечивая достаточно полный контроль за работой аппаратуры и предварительный отбор событий.

2. Измерения

Сброс пучка на мишень производился один раз в цикл ≈ 9 с/ за время ≤ 5 мкс. В принципе возможно начинать измерения сразу же после сброса, однако на практике приходилось вводить довольно значительную ≥ 10 мс/ задержку /зависящую от интенсивности/, что не позволило получить данные при временах жизни менее 5 мс. Главной причиной этого являются переходные процессы в фотоумножителях, испытывающих сильные перегрузки во

время сброса интенсивного $10^9 10^{10}$ протонов/пучка за короткое время. Специальные измерения показали, кроме того, присутствие большого количества тепловых нейтронов, число которых возрастает по мере приближения к сбросу. При временах задержки менее 1 мс они также должны давать чрезмерную нагрузку детекторов, однако при использованных в данном эксперименте задержках преобладающей является первая причина. Заметим, что имеющийся высокий уровень наведенной радиоактивности на мишени при задержках менее 10 мс практически не возрастает, поскольку характерные времена β -распада составляют десятки миллисекунд и более.

Было проведено три серии измерений, несколько отличавшихся параметрами пучка. В 1-ой экспозиции производился вывод одного сгустка ускоренных частиц /за время около 20 нс/ на подъеме магнитного поля ускорителя /рис. 2а/. При этом отсутствовала возможность регулировки интенсивности с помощью систем вывода и снижение интенсивности до необходимого уровня достигалось путем механического обрезания пучка коллиматорами. Во 2-ой и 3-ей экспозициях вывод пучка осуществлялся в конце "стола" магнитного поля /рис. 2б/

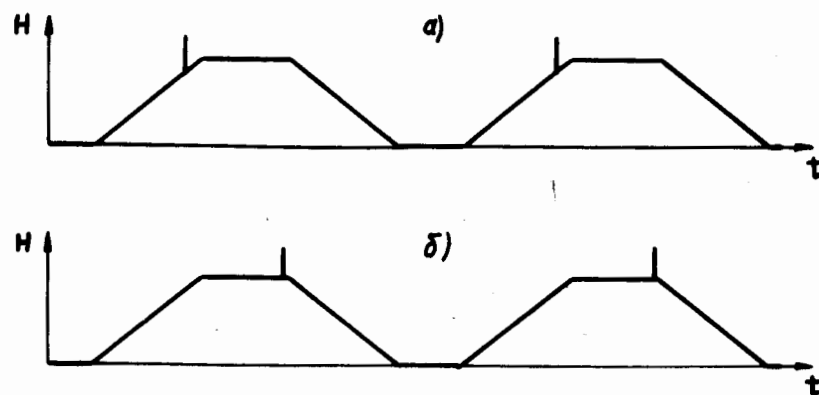


Рис. 2. Структура цикла магнитного поля ускорителя. Отмечены моменты вывода пучка в двух режимах работы.

после сброса на мишени других каналов, когда пучок уже теряет пространственную структуру. В кольце ускорителя поддерживалась остаточная интенсивность на заданном уровне $0,5-1,5 \times 10^{10}$, а системы вывода путем изменения длительности вывода от 0 до 5 мкс могли регулировать интенсивность сброса на нашу мишень.

В табл. 1 приведены условия работы в течение трех серий измерений.

Во всех экспозициях установка блокировалась на время "стола" магнитного поля из-за большого числа запусков, обусловленных введением мишеней других каналов.

Всего за время набора статистики / 200 часов работы ускорителя/ зарегистрировано около 215 тысяч запусков установки. Более 80% этого количества составили запуски от космических частиц, использовавшиеся для калибровки и контроля за стабильностью работы аппаратуры. Результаты оперативного контроля после очередного набора выдавались на печать /каждые 2-3 часа/. Периодически измерялись просчеты в системе запуска с помощью светодиодов 10 , определялась вероятность случайных импульсов в счетчиках А1 и А2 и вероятность случайных треков в искровых камерах.

3. Обработка результатов

При обработке результатов в режиме "он-лайн" применялись следующие критерии отбора событий:

- 1/ не сработал ни один из счетчиков А1, А2;
- 2/ в обеих проекциях искровых камер имеется по крайней мере один трек, зарегистрированный всеми четырьмя камерами;
- 3/ трек пересекает мишень с размерами, увеличенными до 100×100 мм².

Этим критериям удовлетворяло 205 событий /здесь и далее приведены суммарные значения по трем экспозициям/. Для них выдавалась на печать вся принятая информация, а также условное изображение треков.

Таблица I

Номер экспозиции	E_p , ГэВ	Длительность вывода, мкс	Средняя ин- тенсивность, р/цикл	Задержка измерения, мс	Интегральный поток протонов
I	6I	0,02	8×10^9	I40	$2,0 \times 10^{14}$
2	70	0,3+5	2×10^9	IO	$0,6 \times 10^{14}$
3а	70	0,7+I,2	2×10^9	IO	$0,35 \times 10^{14}$
3б	70	2+3	8×10^9	70	$0,9 \times 10^{14}$

Дальнейший отбор событий производился после экспозиций. Анализ распределения числа запусков по времени запаздывания относительно момента сброса пучка показал, что имеются временные интервалы /около 1 с во время ускорения и ≈ 20 мс вскоре после быстрого вывода/, внутри которых число запусков сильно возрастает. Это, очевидно, связано с работой систем ускорителя, создающих дополнительный фон. После отбрасывания событий, лежащих во временных интервалах с большим фоном, осталось 125 событий.

Далее были отобраны события, удовлетворяющие следующим требованиям:

- 1/ энергия, зарегистрированная черенковским спектрометром, не менее 30 МэВ для электронов /для μ -мезонов та же амплитуда соответствует ≈ 130 МэВ, для π -мезонов ≈ 150 МэВ/;
- 2/ продолжение трека пересекает спектрометр;
- 3/ амплитуды импульсов в сцинтилляционных счетчиках С1-С4 не являются аномально малыми;
- 4/ импульсы в детекторах коррелированы во времени;
- 5/ нет дополнительных треков, проходящих мимо мишени /вероятность случайного наложения треков определялась и является малой/.

Критерии 2/-5/ введены "мягко" и отбрасывают лишь 4% полезных событий.

В результате осталось 12 событий. Точки пересечения треков этих событий с мишенью равномерно распределены на площади 100×100 мм², причем в область взаимодействия пучка с мишенью /с учетом ошибок восстановления геометрии ее диаметр составляет 28 мм/ не попало ни одного события.

Таким образом, при взаимодействии протонов с энергией 6I и 70 ГэВ с ядрами Рь не наблюдалось испускания высокоэнергетичных частиц с временами запаздывания 10 мс и более, причем порог регистрации, с учетом потерь энергии между мишенью и спектрометром, составлял для электронов - около 45 МэВ, для гамма-квантов ≈ 60 МэВ, для μ -и π -мезонов ≈ 140 и ≈ 160 МэВ

соответственно. Верхний предел сечения этого процесса с 90%-ной достоверностью определен для различных времен жизни и представлен в табл. 2.

Таблица 2

Время жизни	Верхний предел σ , 10^{-34} см ² /ядро Pb
5 мс	8
10 мс	3
20 мс	2
50 мс	0,7
100 мс	0,4
200 мс	0,25
500 мс	0,2
1 с	0,2
10 с	0,2
1 мин	0,2
1 час	0,2
1 день	0,3

В табл. 2 приведены данные для испускания заряженных частиц. Для гамма-квантов соответствующие значения верхнего предела сечения будут в 2 раза больше с учетом вероятности конверсии в электрон-позитронную пару в мишени.

При вычислении предела сечения учитывалась зависимость эффективности искровых камер и величины просчетов от времени запаздывания относительно сброса, а также различная для каждого времени жизни эффективность регистрации, определяемая интервалами измерения и блокировки.

Приведенные выше значения верхних пределов сечения определяются непосредственно из эксперимента, для их получения не требуется привлечения каких-либо гипотез. Для того, чтобы перейти к сечениям образования новых долгоживущих частиц в нуклон-нуклонных столкновениях, необходимо учесть неизвестную вероятность "застревания" новой частицы внутри ядра-осколка. По-видимому, очень грубо эту вероятность можно оценить /как это сделано в^{1/1/} /, воспользовавшись данными об образовании гиперядер частицами высоких энергий. В этом случае вероятность "застревания" будет порядка 10^{-3} . Учитывая, кроме того, число нуклонов в ядре свинца, получим для верхнего предела сечения рождения метастабильных частиц значения, на порядок большие, чем в табл. 2.

4. Заключение

Дальнейшее продвижение в сторону изучения более коротких времен жизни с использованием существующей установки невозможно по указанным ранее причинам. Для достижения прогресса в подобных исследованиях, по-видимому, потребовалось бы использование детекторов других типов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность В.П.Джелепову, А.А.Логунову, Ю.Д.Прокошкину и Р.М.Суляеву за поддержку работы, всему коллективу ускорительных подразделений, и в особенности К.П.Мызникову и В.М.Татаренко, за обеспечение настройки пучка, Н.Н.Говоруну и И.М.Иванченко за участие в разработке программного обеспечения, А.И.Барановскому и его группе за безотказную работу ЭВМ, В.В.Карпунину и Н.А.Владимировой за участие в измерениях, Р.Г.Василькову и Ю.М.Чиркину за предоставление аппаратуры для нейтронных измерений.

Литература

1. Б.М.Понтекорво. ЯФ, 11, 846 /1970/.
2. А.В.Демьянов и др. ЯФ, 13, 786 /1971/.
3. S.Frankel et al. Phys.Rev.,D.v. 9, No. 7, 1932 (1974).
4. В.С.Кафтанов, И.С.Тростин, А.Л.Шимкевич. Препринт ИТЭФ, №858, Москва, 1971.
5. Г.Д.Алексеев и др. ОИЯИ, P1-8539, Дубна, 1975.
6. Г.Д.Алексеев и др. ОИЯИ, P13-8538, Дубна, 1975.
7. В.В.Вишняков и др. ОИЯИ, 13-6971, Дубна, 1973.
8. В.В.Круглов, А.В.Куликов. ОИЯИ, 13-8618, Дубна, 1975.
9. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, 10-9214, Дубна, 1975.
10. А.В.Купцов, Д.М.Хазинс. ПТЭ, 3, 82 /1972/.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 сентября 1975 года.