

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

1-84-486

В.В.Авдейчиков¹, А.И.Богданов¹, В.А.Будилов,
Н.К.Жидков, Ю.Зломанчук², А.Котус, С.Мрувчински,
Ю.А.Мурин¹, В.А.Никитин, П.В.Номоконов,
М.Д.Трайкова

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ПОИСКУ АНОМАЛОНОВ
СРЕДИ ПРОДУКТОВ ФРАГМЕНТАЦИИ ЯДЕР ^{16}O
С ИМПУЛЬСОМ 4,5 (ГэВ/с)/НУКЛОН

¹ Радиевый институт им. В.Г.Хлопина, Ленинград
² Варшавский университет

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время большой интерес вызывает проблема существования ядер с аномально большим сечением взаимодействия, получивших в литературе название аномалонов. Ряд авторов указывает на существование аномалонов^{/1-3/}, другие работы^{/4-8/} не подтверждают этого. Поиск аномалонов производится среди продуктов фрагментации ускоренных ядер на мишени. В^{/1-8/} детекторы одновременно служат и в качестве мишеней. Эксперименты^{/1-6/} выполнены с использованием ядерных эмульсий и твердотельных трековых детекторов, требующих визуального просмотра. Это ограничивает возможности методики по статистике. Эксперименты^{/7,8/} выполнены с высокой статистической точностью при помощи секционированного черенковского детектора. В этом методе изучаемый фрагмент сопровождается и частично маскируется большим количеством вторичных релятивистских частиц.

В настоящей работе описывается эксперимент по поиску аномалонов с временем жизни $\geq 5 \cdot 10^{-8}$ с среди продуктов фрагментации ускоренных в синхрофазотроне ядер на тонкой мишени, расположенной внутри камеры ускорителя. Магнитное поле ускорителя и большое расстояние / ~ 20 м / от мишени до детекторов позволяют избавиться от фона сопровождающих изучаемый фрагмент частиц и произвести отбор необходимых фрагментов. Данная методика свободна от недостатков методов работ^{/1-8/}.

Ниже подробно описана экспериментальная установка и приведены результаты проверки работы методики на ускоренных ядрах кислорода на большой статистике. На небольшой статистике сделана оценка примеси аномальных ядер среди продуктов фрагментации ядер кислорода с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон.

1. МЕТОДИКА

Методика эксперимента основывается на измерении длины свободного пробега ядер в веществе. Прохождение потока ядер одного сорта через слой вещества /поглотитель/ толщиной x описывается формулой

$$N = N_0 e^{-\frac{x}{\lambda}}, \quad /1/$$

где N_0, N - количество ядер на входе и выходе из поглотителя соответственно; λ - длина свободного пробега ядер; $\lambda = 1/(n\sigma)$

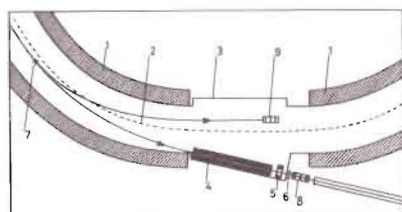


Рис.1. Схема эксперимента. 1 - магнит ускорителя, 2 - центральная орбита пучка, 3 - линейный промежуток ускорителя, 4 - магнит медленного вывода пучка, 5 - квадрупольная линза, 6 - фольга из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм, 7 - майларовая мишень, 8 - телескоп 1, 9 - телескоп 2.

ρ - плотность вещества поглотителя, σ - сечение ядерного взаимодействия/. Если поток ядер содержит примесь аномалонов, то прохождение их через поглотитель описывается формулой

$$N = N_0 [a e^{-x/\lambda_A} + (1-a) e^{-x/\lambda_N}], \quad /2/$$

где a - относительное содержание аномалонов в потоке; λ_A, λ_N - длины свободного пробега ядер в аномальном и нормальном состоянии соответственно, ($\lambda_A < \lambda_N$). Формулу /2/ можно записать в виде /1/, если положить

$$\lambda = -x / \ln [a e^{-x/\lambda_A} + (1-a) e^{-x/\lambda_N}]. \quad /3/$$

Из формулы /3/ видно, что, измеряя зависимость длины свободного пробега λ от толщины поглотителя x , можно судить о наличии примеси аномалонов в потоке ядер.

Схема эксперимента приведена на рис.1. В одном из секторов синхрофазотрона, внутри камеры ускорителя, установлена майларовая мишень толщиной 5 мкм, на которой фрагментирует пучок ускоренных ядер. Фрагменты регистрируются двумя телескопами полупроводниковых детекторов, расположенных на расстоянии 24 м от мишени. Между детекторами телескопов вставляются кремниевые поглотители различной толщины для измерения длины свободного пробега фрагментов. Используется электронная аппаратура на линии с ЭВМ СМ-3 спектрометра /9/.

Телескоп 1 располагается за магнитом медленного вывода ускорителя /рис.1/. Перед телескопом находится фольга из нержавеющей стали толщиной 0,5 мм, которая отделяет вакуумную камеру ускорителя от атмосферы. Величина магнитного поля в этом месте - около 1,5 кГс при значении поля синхрофазотрона 10,7 кГс. Телескоп 1 /рис.2/ состоит из шести детекторов толщиной 1,6 мм каждый и диаметром рабочей зоны - 15 мм. Два детектора /первый и последний/ имеют охранные кольца, сигналы от которых также регистрируются. Телескоп имеет дистанционную систему юстировки по углу.

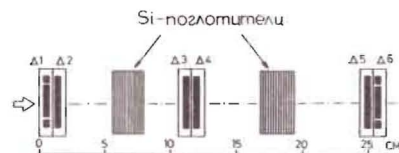


Рис.2. Схема телескопа 1. Д1-Д6 - кремниевые полупроводниковые детекторы. Детекторы Д1, Д6 имеют охранные кольца. Указаны направление входа пучка и положение поглотителей.

Телескоп 2 находится в линейном промежутке камеры синхрофазотрона на 20 см ниже медианной плоскости. Он состоит из трех детекторов, таких же, как и в телескопе 1. Между вторым и третьим детекторами находится кремниевый поглотитель толщиной 15 мм. Этот телескоп может изменять свое радиальное положение от -50 мм до -910 мм внутри камеры ускорителя по отношению к центральной орбите пучка.

Имеется возможность варьировать радиальное положение мишени от нуля до +300 мм относительно центральной орбиты и изменять интенсивность и состав вторичного пучка.

Обозначим через p_L и p_T компоненты импульса фрагмента в системе покоя первичного ядра. p_L направлено вдоль траектории ускоренного ядра в точке взаимодействия с мишенью, p_T - по радиусу ускорителя. Можно рассчитать область изменения импульсов p_L и p_T , при которых фрагменты попадают в телескоп /рис.3/. Расчеты проведены с помощью программ /10/. Данная методика позволяет регистрировать фрагменты в широком диапазоне переданных импульсов /см. рис.3/. В отсутствие мишени, при включенном медленном выводе, телескоп 1 регистрирует ускоренные ядра.

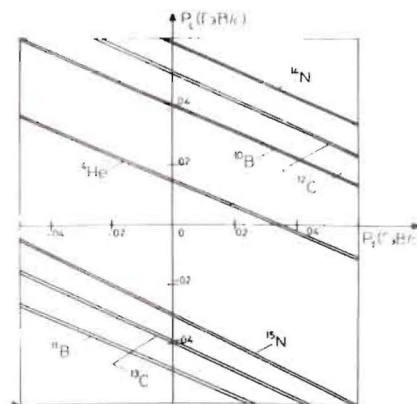


Рис.3. Диапазон изменения импульсов различных фрагментов, попадающих в телескоп 1 /расчет выполнен для положения мишени +300 мм и величины магнитного поля - 10 кГс/.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Эксперимент проведен на пучке ^{16}O с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон и интенсивностью $\sim 10^7$ частиц/цикл. Состав пучка, измеренный

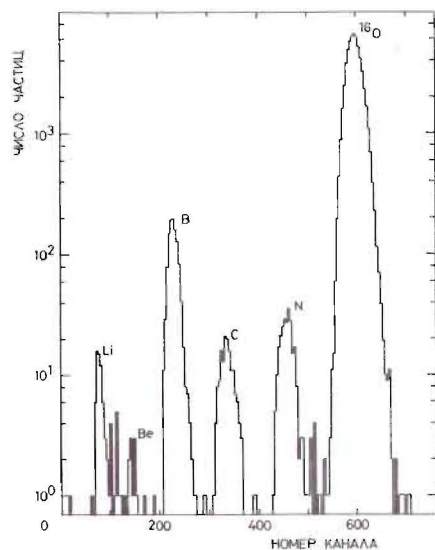


Рис.4. Состав ускоренного пучка с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон, прошедшего фольгу 0,5 мм и зарегистрированного телескопом 1.

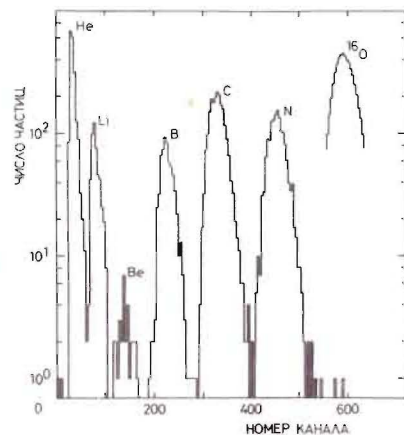


Рис.5. Спектр фрагментов, полученных в результате взаимодействия ускоренного кислорода с майларовой мишенью, зарегистрированных телескопом 1. Для калибровки шкалы по заряду нанесено положение пика ^{16}O из рис.4.

в режиме медленного вывода телескопом 1, показан на рис.4. В пучке, помимо кислорода, есть примесь 1,6% бора и около 1% других ядер легче кислорода. Примесь ядер, кроме бора, объясняется фрагментацией кислорода на фольге из нержавеющей стали, расположенной перед телескопом. Бор ускоряется вместе с кислородом. Он содержится в мишени, используемой для получения ионизованных ядер с помощью лазерного источника на инжекторе синхрофазотрона.

Состав фрагментов, регистрируемых телескопом 1, показан на рис.5. Различные типы фрагментов входят в телескоп под разными углами, в принципе желательна юстировка телескопа для каждого типа фрагмента или увеличение углового акцептанса телескопа. За один цикл ускорения в телескоп попадает около 20 различных ядер. Пучковые частицы в телескоп 1 не попадают.

Определение длины свободного пробега ядер в кремнии проводится следующим образом. На двумерных амплитудных распределениях пар детекторов $E1 \times E2$, $E3 \times E4$, $E5 \times E6$ выделяются события с амплитудами, соответствующими изучаемому фрагменту. Статистика

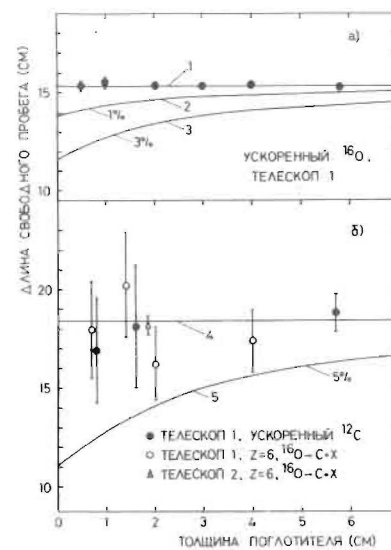


Рис.6. Экспериментальные результаты. Прямые 1,4 проведены через точки \bullet . Кривые 2,3,5 посчитаны по формуле /3/ для примеси аномалонов $\alpha = 1,3,5\%$ с $\lambda_A = 1$ см.

набирается как при наличии поглотителей между парами детекторов, так и в их отсутствие. Так как различные фрагменты входят в телескоп под разными углами, то не все частицы, попавшие в первый детектор, попадают в остальные. Поэтому экспозиция без поглотителей обязательна для определения эффективности телескопа. Она же позволяет учесть взаимодействие в самих детекторах.

Длина свободного пробега вычисляется по формуле

$$\lambda = x / \ln \left(\frac{N_0 M}{N M_0} \right),$$

а ошибка - по формуле

$$\Delta \lambda = (\lambda^2 / x) \left(\frac{1}{M} - \frac{1}{M_0} + \frac{1}{N} - \frac{1}{N_0} \right)^{1/2},$$

где $M_0(M)$ - количество ядер, зарегистрированных в первой /второй/ паре детекторов в отсутствие поглотителя; $N_0(N)$ - количество ядер в первой /второй/ паре детекторов при наличии поглотителя толщиной x . Таким образом, в эксперименте измеряется сечение взаимодействия ядер с кремнием при изменении заряда налетающего ядра.

Методика измерения проверена на большой статистике, когда медленный вывод включен и телескоп 1 регистрирует пучковые ядра кислорода. Результаты показаны на рис.6а. Видно, что длина свободного пробега, в пределах статистических ошибок /около 2%/, не зависит от толщины поглотителя. Это также указывает на малость систематических ошибок.

При нескольких толщинах поглотителя телескопом 1 измерены длины свободного пробега фрагментов, образующихся вследствие фрагментации кислорода на мишени. На рис.6б приведены данные для первичных и вторичных ядер углерода. Оценка верхней границы примеси аномальной компоненты ядер углерода с пробегом 1 см составляет 5% /с достоверностью 95%/. Как следует из рис.6а, при увеличении статистики методика позволяет снизить эту цифру до ~1%.

Таблица 1

Длины свободного пробега (λ) ускоренных ядер и фрагментов из кислорода с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон в кремнии

Ускоренное ядро	$\lambda \pm \Delta\lambda$, см	№ телескопа
Mg	13,70 \pm 0,24	1
O	15,30 \pm 0,07	1
C	18,50 \pm 1,24	1
Фрагмент	$\lambda \pm \Delta\lambda$, см	№ телескопа
C	17,8 \pm 1,6	1
C	18,2 \pm 0,6	2
N	16,2 \pm 0,6	1 + 2

Измерения телескопом 2 проведены при его радиальном положении r от -50 мм до -910 мм по отношению к центральной орбите или от -200 мм до -1060 мм по отношению к радиальному положению мишени. Состав ядер зависит от положения телескопа в камере ускорителя. Расчет и эксперимент показывают, что в области $r < -480$ мм значительную долю составляют пучковые ядра, выбывающие из ускорения. В области $r \geq -50$ мм регистрируются, в основном, фрагменты, образованные в мишени.

Внутри камеры ускорителя замечен фон медленных частиц, который несколько мешает идентификации ядер с зарядом меньше 5. Этот фон можно практически полностью подавить, делая телескоп более направленным. С помощью телескопа 2 проведено измерение длины свободного пробега углерода при радиальном положении телескопа - 50 мм. Эта величина приведена на рис.6б.

Численные результаты эксперимента представлены в табл. 1,2.

Таблица 2

Оценка примеси (α) аномалонов в углероде, полученном от фрагментации кислорода

λ_A , см	$\alpha \pm \Delta\alpha$, %	№ телескопа
1	0,3 \pm 1,8	1
1	0,2 \pm 1,2	2
3	1,0 \pm 4,8	1
3	0,4 \pm 2,3	2

3. НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В проведенном эксперименте получен ряд методических результатов, которые могут быть полезны при постановке электронных экспериментов с регистрацией релятивистских ядер.

Если перед детектором поместить поглотитель, то амплитуда сигнала увеличивается за счет дельта-электронов из поглотителя. Мы смогли количественно исследовать этот эффект, поскольку телескоп помещен в магнитное поле величиной около 1,5 кГс, и удаление поглотителя на расстояние 10 см от детектора полностью устраняет дельта-электроны. На рис.7 приведены амплитудные распределения для ядер кислорода и магния в случае, когда поглотитель поднесен непосредственно к паре вплотную стоящих детекторов. Для первого детектора средняя величина сдвига амплитуды составляет ~3,5%. Для второго детектора этот сдвиг меньше, так как перед ним уже имеется слой вещества первого детектора, который сам порождает дельта-электроны. Величина сдвига амплитуды насыщается при толщине кремниевого поглотителя ~5 мм. Детекторы, удаленные от поглотителя на 10 см, не меняют амплитуду, так как дельта-электроны до них не долетают из-за расстояния и магнитного поля.

Усреднение сигналов по паре рядом стоящих детекторов дает уменьшение стандартного отклонения в 1,2 раза, тогда как для детекторов, которые полностью независимы, т.е. не имеют общих дельта-электронов, стандартное отклонение уменьшается в $\sqrt{2}$. Величины стандартных отклонений для различных фрагментов приведены на рис.8. При получении этих распределений соблюдается условие: разность амплитуд на первом и шестом детекторах составляет не больше 0,3 зарядовых единиц, т.е. исключаются ядерные взаимодействия в детекторах.

Кратко остановимся на потенциальных возможностях методики.

Данная постановка эксперимента наиболее эффективна для проверки конкретных предсказаний - в какого рода событиях следует искать аномалоны.

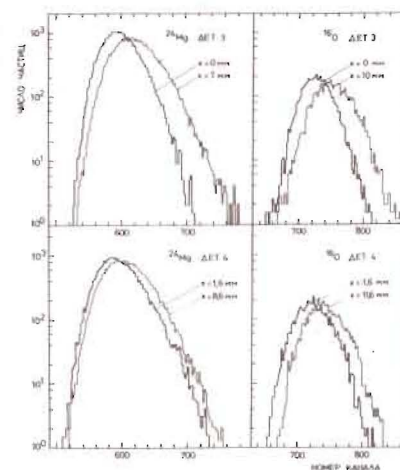


Рис.7. Сдвиг спектров за счет вклада дельта-электронов из поглотителя, находящегося перед детектором, x - толщина кремниевого поглотителя.

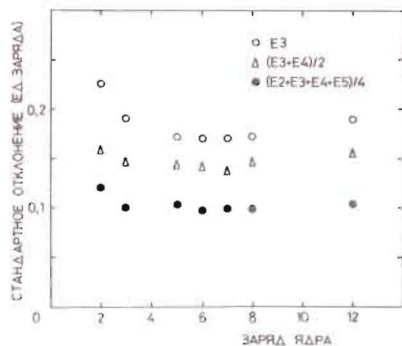


Рис.8. Разделение фрагментов по заряду. Фрагменты регистрировали одним (о), двумя (Δ) и четырьмя (●) детекторами толщиной 1,6 мм.

Варьируя взаимное расположение мишени и детекторов, можно получить обогащение статистики фрагментами с определенным отношением заряда к массе и величинами переданного им продольного и поперечного импульсов.

Измерение угла входа фрагмента в детектор позволит определить величину его импульса. Для этого предполагается применить телескопы с позиционными детекторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описана методика электронного эксперимента, позволяющая измерить длины свободного пробега в различных веществах первичных и вторичных релятивистских ядер на синхрофазотроне ОИЯИ. Приведены результаты экспериментальной проверки методики и на небольшой статистике сделаны оценки примеси аномальной компоненты ядер углерода, образующегося при фрагментации ускоренных ядер кислорода.

Авторы выражают благодарность А.М.Балдину, И.Н.Семенюшкину, Л.П.Зиновьеву и И.Б.Иссинскому за поддержку эксперимента, Б.В.Василишину, предоставившему программы для расчетов траекторий движения частиц в синхрофазотроне, В.И.Волкову, В.А.Мончинскому, С.А.Новикову, М.Д.Ершову и В.С.Миронову за практическую помощь в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Friedlander E.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 45, p. 1034.
2. Jain P.L. et al. Phys.Rev.Lett., 1982, 48, p. 305.
3. Алексеева Е.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, 28, с. 411.
4. Банник Б.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, с. 184.
5. Tincknell M.L. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, 51, p. 1984.
6. Heinrich W. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p. 1401.
7. Stevenson J.D. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p. 515.
8. Symons J.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p. 982.
9. Абашидзе Л.И. и др. ОИЯИ, 1-83-185, Дубна, 1983.
10. Василишин Б.В. и др. ОИЯИ, 9-7670, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 июля 1984 года.

Авдейчиков В.В. и др.
Эксперимент по поиску аномалов среди продуктов фрагментации ядер ^{16}O с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон

1-84-486

Эксперимент по поиску аномалов среди продуктов фрагментации ядер ^{16}O с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон

Описана экспериментальная установка для поиска аномалов с временем жизни больше $5 \cdot 10^{-8}$ с среди продуктов фрагментации ускоренных в синхрофазотроне ядер на тонкой мишени, расположенной внутри камеры ускорителя. Фрагменты регистрируются телескопами полупроводниковых детекторов, находящихся на расстоянии ~ 20 м от мишени. Измеряется длина свободного пробега фрагментов в поглотителе, расположенном между детекторами телескопа. Особенностью установки является использование магнитного поля ускорителя для улучшения фоновых условий и выделения необходимого сорта регистрируемых фрагментов. Измерены длины свободного пробега ядер Mg, O, C и N в кремнии и сделана оценка примеси аномальных ядер углерода, полученных в результате фрагментации кислорода с импульсом 4,5 (ГэВ/с)/нуклон.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Avdeyichikov V.V. et al.
Experiment on the Search for Anomalons among the Fragmentation Products of ^{16}O Nuclei of 4.5 GeV/c Momentum

1-84-486

The experimental set up intended for the search for anomalons with a lifetime more than $5 \cdot 10^{-8}$ s among the fragmentation products of nuclei accelerated in a synchrophasotron on a thin target positioned inside the accelerator chamber is described. The fragments are registered by means of telescopes of semiconductor detectors placed at 20 m from the target. Free path length of fragments in an absorber positioned between the telescope detectors is measured. The specific feature of the set up is the use of accelerator magnetic field for improvement of background conditions and extracting the needed sort of fragments registered. Free path lengths of Mg, O, C and N nuclei in silicon are measured and estimation of anomalon carbon nuclei admixture caused by oxygen fragmentation of 4.5 GeV/c per nucleon momentum is made.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984