

ПОИСК АНОМАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РЕЛЯТИВИСТСКИХ ФРАГМЕНТОВ ЯДРА ^{24}Mg
С ПОМОЩЬЮ ЧЕРЕНКОВСКОГО СПЕКТРОМЕТРА

И.Вереш, В.М.Головин, И.А.Голутвин, Н.В.Горбунов,
В.Х.Додохов, С.Н.Доля, В.Е.Жильцов, А.В.Зарубин,
А.Г.Карев, В.Ю.Каржавин, В.Н.Лысяков, Э.И.Мальцев,
В.А.Мончинский, Б.А.Морозов, В.А.Никитин, В.В.Перельгин,
Ю.П.Петухов, А.А.Повторейко, Д.Позе, В.П.Саранцев,
В.А.Свиридов, А.И.Семенюшкин, А.Е.Сеннер, Д.А.Смолин,
А.Ю.Суханов, В.В.Тихомиров, В.П.Токарский, А.Г.Федунов,
В.И.Хабаров, А.И.Черненко, В.И.Цовбун, Ю.А.Яцуценко

Представлены результаты электронного эксперимента по поиску аномального взаимодействия релятивистских фрагментов ядер ^{24}Mg с импульсом $4,5 \text{ ГэВ/с}\cdot\text{А}$, ускоренных на синхрофазотроне ОИЯИ. Основу экспериментальной установки составляет секционированный черенковский спектрометр /40 счетчиков с толщиной плексигласового радиатора 5 мм/. Измерены функции поглощения в веществе ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) релятивистских фрагментов с $6 \leq z \leq 11$ в области пробегов $1 \leq \ell \leq 5 \text{ см}$. Функции поглощения хорошо описываются одной /нормальной/ экспонентой. В предположении, что аномальная компонента характеризуется средним пробегом 1 см, получена верхняя граница ее вклада $\bar{a} \leq 1,4\%$ в среднем для фрагментов с зарядом $6 \leq z \leq 11$ на 95% уровне достоверности.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Search for Anomalous Interaction
of Projectile Fragments of ^{24}Mg Nucleus
by Using of Cerenkov Spectrometer

I.Veresh et al.

The results of the electronic experiment on the investigation of the projectile fragments interaction are presented. The experiment is made at 4.5 GeV/c A ^{24}Mg beam of the JINR synchrophasotron. The main part of the apparatus is the live target assembled of 40 Cerenkov counters with 5 mm thick lucite radiator. Charge changing reactions for the primary beam and secondary fragments with $6 \leq z \leq 11$ have been registered. The interaction mean free path of the projectile fragments and probabilities of its

production based on the analysis of 10^5 interactions are presented. The absorption function is well represented by one (normal) exponential. The upper limit of the anomalous component contribution α is obtained assuming that it has mean free path 1 cm. The result is: $\alpha < 1.4\%$, on an average over $6 \leq z \leq 11$ with 95% confidence level.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Введение

Аномалоны^{/1-5/} продолжают обсуждаться научной общественностью^{/6/}, несмотря на появление работ^{/7-11/}, где на большем, чем в экспериментах^{/1-5/}, статистическом материале показано, что сечения взаимодействия ядерных фрагментов в пределах ошибок эксперимента не зависят от расстояния до точки образования фрагмента. С другой стороны, продолжают публиковаться работы, в которых наблюдаются фрагменты релятивистских ядер с аномально коротким $l \leq 2$ см/ средним пробегом до взаимодействия^{/12,13/}. В работе^{/12/} с помощью радиохимического метода показано, что эффект наблюдается при энергии первичного пучка 2,0 ГэВ/нуклон и не наблюдается при энергии 1,0 ГэВ/нуклон, что указывает на пороговый характер явления. Таким образом, в чисто экспериментальном плане проблему аномалонов считать решенной нельзя.

Повышенное внимание к проблеме аномалонов кроется также в интересной интерпретации возможного явления, развитой в ряде теоретических моделей^{/14,15/}. В основе этих работ лежит предположение, что аномалоны являются связанными состояниями ядер с объектами, несущими цветной заряд^{/14/}. Иными словами, аномальные фрагменты выступают в этих моделях как носители открытого цвета, что, конечно, противоречит господствующей гипотезе конфайнмента - абсолютного заключения цветных объектов.

Эксперимент

Эксперимент выполнен на основе электронного метода, который использует в качестве "живой" мишени детектор из 40 черенковских счетчиков с радиаторами из плексигласа толщиной 5 мм. Описание установки приведено в^{/16/}.

Результаты исследования ядерного взаимодействия релятивистских фрагментов /РФ/ ^{24}Mg , проведенного этим методом в области длин пробега РФ больше 3 см, сообщены в^{/17/}. В данной работе исследовано взаимодействие РФ вблизи точки их образования.

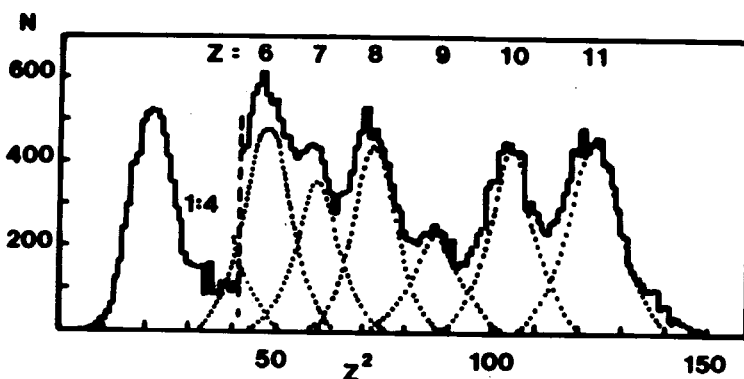


Рис. 1. Спектр сигналов первого после точки взаимодействия черенковского счетчика.

Обработка данных эксперимента включает:

- отбор событий с одиночным первичным треком в заданной области координат и углов входа в детектор;
- зарядовую калибровку черенковских счетчиков /перезапись информации со всех 40 счетчиков в масштабе, в котором амплитуда импульса ФЭУ от пучкового ядра равна квадрату его заряда/;
- определение точек взаимодействия первичного ядра и его релятивистских фрагментов путем поиска скачков функции $\Lambda(i)$, где $\Lambda(i)$ - амплитуда сигнала i -го счетчика;
- построение зарядовых спектров сигналов счетчиков, расположенных на определенном расстоянии от точки взаимодействия первичного ядра;
- определение положения пиков в зарядовых спектрах, границ пиков и их интенсивностей, соответствующих отдельным фрагментам;
- построение функции поглощения $R\Phi$ в веществе мишени;
- анализ функции поглощения с целью разделения аномальной и нормальной компонент.

Зарядовое разрешение детекторов иллюстрирует рис.1, на котором представлен спектр сигналов первого после взаимодействия счетчика. Пики, соответствующие отдельным фрагментам, в первом приближении описываются кривыми Гаусса. Более корректное описание спектров получено путем введения трех компонент: гауссовый член, определяемый статистикой фотоэлектронов от старшего фрагмента, член, напоминающий кривую Ландау, описывающий флуктуации сопровождающих старший фрагмент частиц /"сопровождение" - протоны, δ - электроны, пионы и пр./, и "сплошной" спектр, возникающий от взаимодействия $R\Phi$ в данном счетчике. Из рис.1 видно, что даже в первом после взаимодействия счетчике фрагменты до-

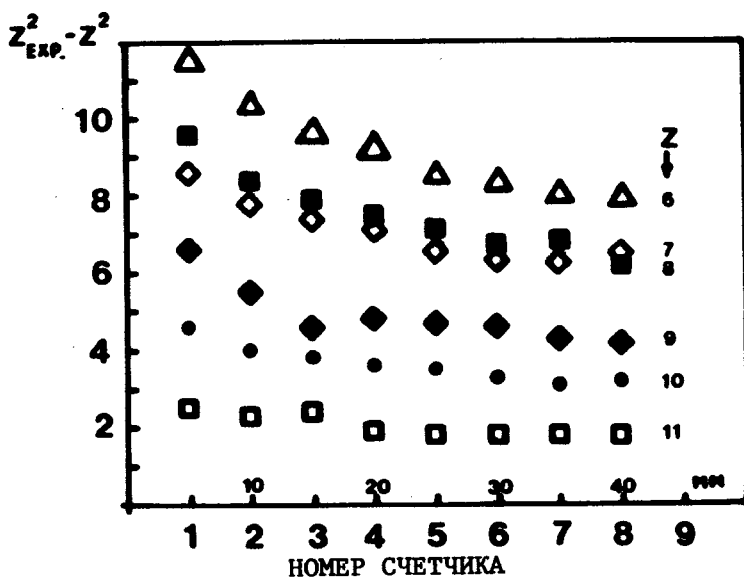


Рис. 2. Сдвиг максимумов спектров черенковских счетчиков в зависимости от расстояния до вершины взаимодействия ^{24}Mg .

статочно хорошо разделены: их перекрытие изменяется от 10% для натрия и неона до 30% для углерода и азота. Сопровождение приводит к существенному сдвигу максимумов в распределении относительно номинального значения, соответствующего квадрату заряда старшего фрагмента /рис.2/. Этот сдвиг уменьшается при удалении от вершины. Проведено детальное исследование зарядовых спектров фрагментов вблизи вершины взаимодействия. Определены положения пиков и их границ как функции расстояния от вершины. Точное знание этих величин необходимо для вычисления количества фрагментов с определенным зарядом, зарегистрированных данным счетчиком. Ошибка в положении пиков вследствие неправильного учета сопровождения является основным источником систематической ошибки в определении числа РФ.

Анализ данных

Топология события восстанавливается при описании последовательности амплитуд $A(i)$ одного события кусочно-постоянной функцией. В результате находятся все статистически значимые скачки, соответствующие взаимодействию с изменением заряда первичного ядра и фрагментов. Два последовательных взаимодействия реконструируются, если они находятся не

в соседних счетчиках, т.е. расстояние между ними $l \geq 1$ см. Такой "топологический" анализ данных позволяет получить функцию поглощения каждого фрагмента.

Методом статистического моделирования исследовано влияние на функцию поглощения флуктуаций сигналов, обусловленных конечным разрешением черенковских счетчиков, физическими процессами, сопровождающими образование фрагментов, и геометрией установки. Поправка к экспериментально измеряемой величине $\Delta N/\Delta l$ составляет $\leq 20\%$ для первых трех интервалов $1 \leq l \leq 2,5$ см.

Функция $\Delta N/\Delta l$ описывается формулой

$$\Delta N/\Delta l = A_z [(1 - a) \exp(-l/\lambda)/\lambda + a \cdot \exp(-l/\lambda_a)/\lambda_a]. \quad /1/$$

Здесь a - доля аномальных фрагментов, λ и λ_a - длины среднего свободного пробега до нормального и аномального взаимодействий, l - длина пробега фрагмента. Нормировка A_z связана с потоком пучкового магния N_0 и вероятностью образования фрагмента w_z соотношением $A_z = N_0 \cdot w_z$. Величины λ и w_z измерены в наших предыдущих работах /11,16/.

Для описания полученных данных /рис.3/ достаточно учитывать только первый /нормальный/ член в формуле /1/. Включение второго члена несущественно изменяет значения χ^2 .

Мы получили величину параметра a при фиксированном значении среднего пробега аномалонов $\lambda_a = 1$ см. Результаты приведены в таблице. В среднем для фрагментов с $6 \leq z \leq 11$ вклад аномальной компоненты меньше 1,4% на 95% уровне достоверности.

Другой способ анализа данных связан с изучением суммарных спектров сигналов черенковских счетчиков как функции расстояния от точки взаимодействия первичного ядра /"спектральный" метод/. В спектральном методе ищется только координата взаимодействия пучкового ядра без отбора и идентификации фрагментов в индивидуальных событиях. Строятся амплитудные спектры для последовательности счетчиков, расположенных после найденной точки взаимодействия. По параметрам пиков вычисляется число фрагментов $N_z(l)$ типа z в зависимости от расстояния от точки рождения. Функция $N_z(l)$ выражается в первом приближении формулой /2/, где первые два члена соответствуют выбыванию нормальной и аномальной компонент фрагмента z , образовавшегося в первичном взаимодействии с вероятностью w_z , последующие члены связаны с переходом старших по заряду фрагментов $j(j > z)$ во фрагмент z /промежуточные взаимодействия, w_{jz} - вероятность такого перехода/

$$N_z(l) = N_0 \{ w_z [(1 - a) \exp(-l/\lambda) + a \cdot \exp(-l/\lambda_a)] + \sum_{j=z+1}^{11} w_j w_{jz} [(1 - a_j) (\exp(-l/\lambda) - \exp(-l/\lambda_j)) \cdot \lambda/(\lambda - \lambda_j)] + \dots \}. \quad /2/$$

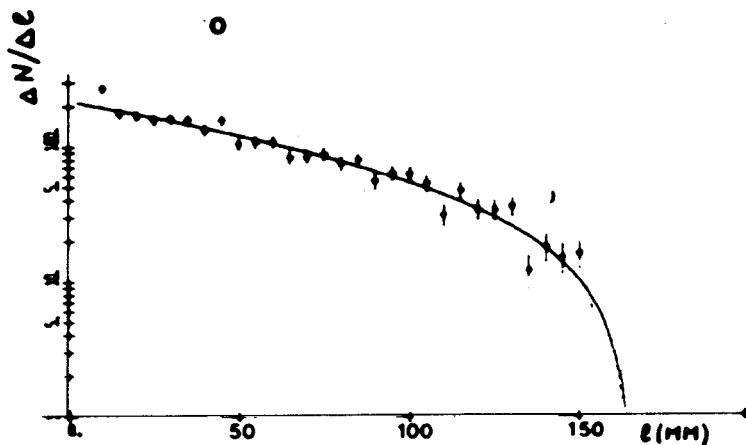
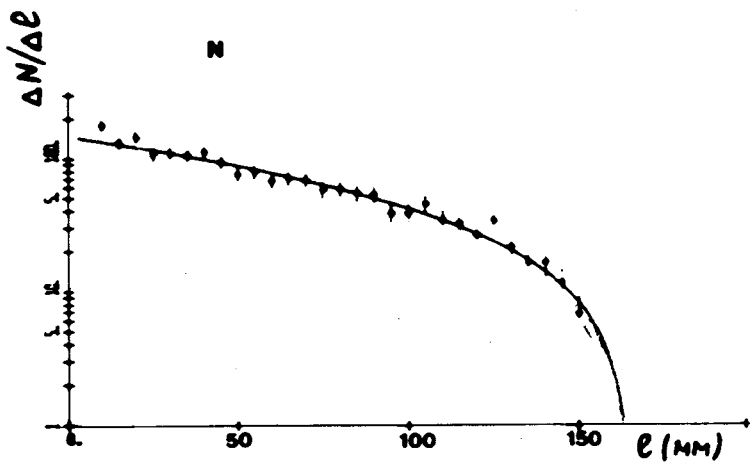


Рис.3. Распределение фрагментов азота и кислорода по длине пробега до взаимодействия, полученное топологическим методом анализа. Кривые описывают экспериментальные данные в области $l \geq 1,0$ см с параметром $\alpha = 0$.

Простейшая оценка вероятности образования аномалов следует из предположения, что аномальный фрагмент j при переходе во фрагмент z сохраняет свою аномальность. Такой механизм взаимодействия должен приводить к аномальному возрастанию количества младших фрагментов в первых счетчиках. Оценка этого эффекта приводит к ограничению $\bar{a} \leq 2\%$, где \bar{a} - усредненная по фрагментам с $6 \leq z \leq 11$ доля аномалов с длиной свободного пробега $\lambda_s = 1,0$ см.

Таблица

Результаты измерений примеси аномалонов среди фрагментов ^{24}Mg топологическим /А/ и спектральным /В/ методами

Заряд фрагментов		6	7	8	9	10	11
А	α	-0,013	0,011	0,007	-0,013	0,014	-0,006
	$\pm \Delta\alpha$	0,018	0,023	0,020	0,031	0,023	0,018
В	α	0,037	-0,017	0,003	-0,004	0,007	
	$\pm \Delta\alpha$	0,015	0,013	0,014	0,022	0,017	

Другой разновидностью спектрального подхода является способ с отступлением от вершины взаимодействия, при котором отбираются события с условием, что в счетчиках, отстоящих от точки взаимодействия на расстояние $b \gg \lambda_a$, был зафиксирован фрагмент с определенным зарядом k . Для этого класса событий строятся амплитудные спектры в счетчиках вблизи вершины и в них выделяются фрагменты с $z > k$. Получается функция $N_z(\ell)$, которая обязана переходам $z \rightarrow k$.

Она описывается формулой /в пренебрежении образованием фрагментов 3-го поколения/

$$N_z(\ell) = A_z \{ (1 - \alpha) [\exp(-\ell/\lambda) - \exp(-b/\lambda)] + \alpha [\exp(-\ell/\lambda_a) - \exp(-b/\lambda_a)] \}.$$

/3/

Положительной особенностью этого метода обработки данных является малая величина поправок. В основном поправки связаны с ошибками в определении координаты вершины взаимодействия пучкового ядра, вызванными флуктуациями сигналов с черенковских счетчиков. Для уменьшения этой ошибки ближайшие к магнито фрагменты натрия были исключены критериями отбора. Величины поправок /порядка одного процента/ были определены методом статистического моделирования.

Спектральный подход с отступлением от вершины взаимодействия дает следующее ограничение на величину аномальной компоненты с $\lambda_a = 1$ см среди фрагментов с зарядом $7 \leq z \leq 10$: $\bar{\alpha} \leq 1,3\%$ на 95% уровне достоверности /рис. 4, 5, таблица/ для взаимодействий с образованием в конечном состоянии фрагментов с зарядом меньше шести.

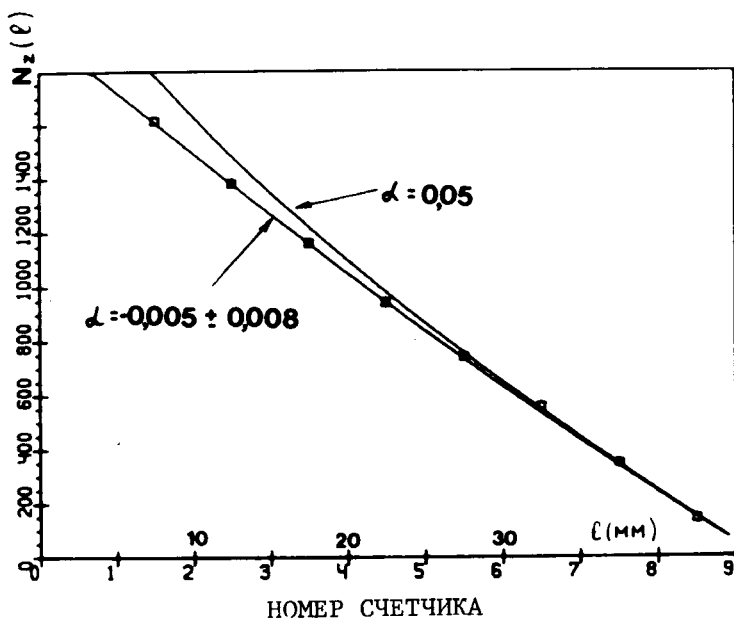


Рис.4. Распределение фрагментов азота и кислорода по длине пробега, полученное спектральным методом с отступлением от вершины взаимодействия ($k \leq 5$). Экспериментальные точки описываются формулой /3/ для N_z с параметром $\alpha = -0,005 \pm 0,008$ /если $\lambda_a = 1,0$ см/.

Заклучение

С помощью метода секционированного черенковского детектора исследовано взаимодействие релятивистских фрагментов ядра ^{24}Mg вблизи точки их образования. Построены функции поглощения фрагментов с зарядами $6 \leq z \leq 11$ в интервале пробегов $1 \leq l \leq 5$ см. Принимая средний пробег аномальной компоненты $\lambda_a = 1$ см, мы получили верхнюю границу доли аномалонов среди РФ ядер ^{24}Mg $\bar{\alpha} \leq 1,4\%$ на 95% уровне достоверности. Совершенствование алгоритма восстановления топологии события в черенковском детекторе может позволить на имеющемся у нас материале получить данные о взаимодействии РФ в области $l \leq 1$ см. Эта работа продолжается. Остались также резервы совершенствования черенковского детектора.

Следует помнить, что в черенковском детекторе не регистрируются РФ с импульсом меньше 2,0 ГэВ/с нуклон, а РФ с углом эмиссии больше 3° не удовлетворяют условию полного внутреннего отражения света в радиаторе. Однако

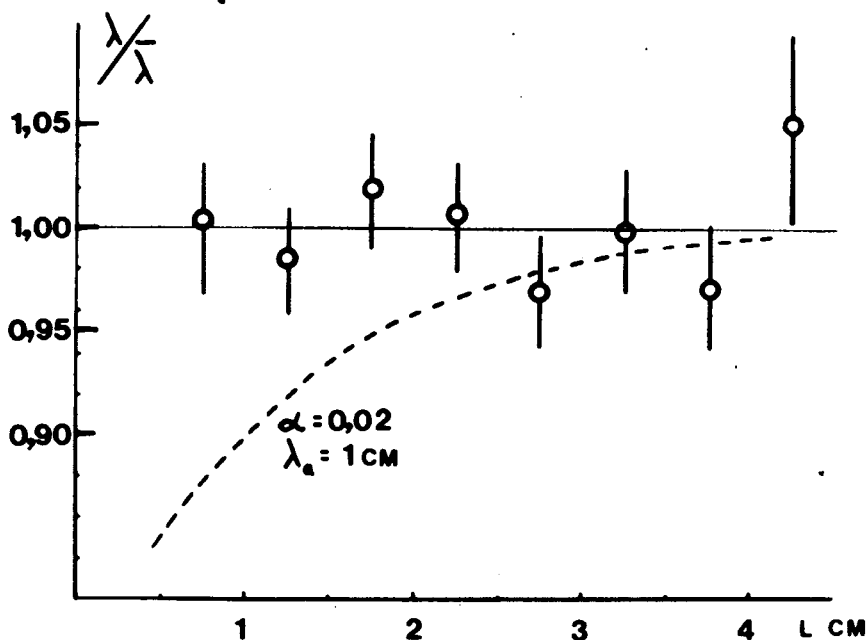


Рис.5. Средний свободный пробег вторичных фрагментов с зарядом $7 \leq z \leq 10$ в функции расстояния от вершины первичного взаимодействия. Пунктиром проведена расчетная кривая, соответствующая вкладу аномальной компоненты $\alpha = 0,02$ с $\lambda_a = 1 \text{ см}$.

из совокупности данных о взаимодействии релятивистских ядер известно, что доля таких событий не превосходит 10^{-8} .

Литература

1. Freedlander E.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 45, p.1084; Phys.Rev.C, 1983, 27, p.1489.
2. Jain P. L. Das G. Phys.Rev.Lett., 1982, 48, p.305.
3. Ticknell M.L. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, 51, p.1948.
4. Алексеева Б.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1983, т.38, вып.8, с.411.
5. Гаспарян А.Р., Григалашвили Н.С. ОИЯИ, Е1-84-278, Дубна, 1984.
6. 7th High Energy Heavy Ion Study. GSI, Darmstadt, W.Germany, 1984, p.813.
7. Банник Б.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, т.39, вып.4, с.184.

8. Heinrich W. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p.1401.
9. Stevenson J.D. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p.515.
10. Symons T.J.M. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, p.982.
11. Dodochov V. et al. Proc. of the XXII Int.Conf. on High Energy Physics. Leipzig, 1984.
12. Dersch G. et al. LBL-18726, 1984.
13. Dipak G. et al. Phys.Rev.Lett., 1985, 54, p.396.
14. Арбузов Б.А. ИФВЭ, 84-175, Протвино, 1984.
15. Watson P.J.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, D27, p.1468.
16. Вереш И. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №4-84, Дубна, 1984, с.10.
17. Голутвин И.А. и др. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №5-84, Дубна, 1984, с.8.

Рукопись поступила 31 мая 1985 года.