

**ПОИСК АНОМАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ФОТОЭМУЛЬСИИ,  
ОБЛУЧЕННОЙ ЯДРАМИ  $^{12}\text{C}$  И  $^{22}\text{Ne}$   
С ИМПУЛЬСОМ 4,1 ГэВ/с НА НУКЛОН**

*Е.А.Алексеева, А.А.Картамышев, К.Н.Мухин,  
О.О.Патаракин, М.М.Сулковская, Л.В.Суркова,  
А.Ф.Суставов, Л.А.Чернышева*

В работе представлены результаты поиска аномальных взаимодействий в фотоэмульсии, облученной ионами  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с импульсом 4,1 ГэВ/с на нуклон. Анализ 2034 фрагментов с зарядом  $2 \leq z \leq 10$ , давших 924 взаимодействия, показал, что экспериментальные данные не противоречат существованию эффекта уменьшения средней длины свободного пробега фрагментов на первых сантиметрах пути от места образования. Для первичных ионов  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  аналогичный эффект отсутствует.

В работах <sup>1,2</sup> было высказано утверждение, что при взаимодействии с ядрами фотоэмульсии ионов  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ , и  $^{16}\text{O}$  с импульсом  $\sim 2$  ГэВ/с на нуклон для образовавшихся про-

летающих фрагментов наблюдается уменьшение среднего пробега  $\bar{\lambda}_z$  на первых нескольких сантиметрах пройденного пути  $x$  от места их образования. Эффект наблюдался для фрагментов с зарядами  $3 \leq z \leq 26$  и не был обнаружен для  $z = 2^3$ . Кроме того, в работе <sup>2</sup> указывалось, что эффект отсутствует при меньшем импульсе  $\sim 1$  ГэВ/с на нуклон.

Результаты этих работ вызвали значительный резонанс. Было предложено большое количество теоретических моделей для объяснения этого явления, ставятся и готовятся к постановке новые опыты как с помощью фотоэмульсии, так и с использованием других методов. Вместе с тем, при обсуждении упомянутых работ ряд физиков высказали сомнение в достоверности полученных в них результатов, которые могут быть некорректными из-за специфических трудностей фотоэмульсионного метода и особенностей математической обработки.

В настоящей работе предпринята попытка избавиться от этих трудностей при помощи максимального упрощения методики получения и обработки результатов и "очистения" ее от возможных ложных эффектов.

В качестве материала для исследования были использованы две эмульсионные стопки, облученные в ЛВЭ ОИЯИ соответственно ионами  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с импульсом 4,1 ГэВ/с на нуклон.

Перечислим главные принципы, положенные в основу обработки экспериментального материала.

1. На данном этапе работы была поставлена узкая задача — попытаться получить ответ на вопрос о существовании "интегрального" эффекта (без разделения фрагментов по зарядам кроме визуального выделения фрагментов с  $z = 2$ ). Такой способ рассмотрения увеличивает статистику и исключает возможность появления дополнительной погрешности из-за сложной и неоднозначной процедуры определения заряда фрагмента и приведения пробега к единичному заряду. Вместе с тем интегральная обработка следов от фрагментов всех зарядов не может приводить к ложному усилению эффекта<sup>1)</sup>. Если эффект есть (нет) на всех зарядах, то он проявится (не проявится) и при интегральной обработке. Если же эффект существует лишь для некоторых зарядов, то при интегральной обработке он может только затухать.

2. Поиск первичных взаимодействий проводился методом "вдоль следа" (не "по площади") с большим увеличением  $60 \times 1,5 \times 15$ . Это исключало возможность пропускания слабо выраженных (например, белых) звезд.

3. Для проверки отсутствия ложного эффекта на следах первичных ионов  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  просмотр этих следов всегда проводился до одного и того же расстояния 7 см (или до взаимодействия) с переходами в соседние слои, если в этом возникала необходимость.

4. Среди фрагментов отбирались летящие вперед в узком конусе с углом раствора 0,1 рад. При этом все первичные фрагменты, удовлетворяющие отбору по углу вылета, автоматически имели потенциальный пробег  $x \geq 10$  см.

5. Фрагменты последующих поколений просматривались лишь при наличии у них потенциального пробега  $x \geq 10$  см.

6. Просмотр следов фрагментов проводился с тем же увеличением  $60 \times 1,5 \times 15$  до  $x = 10$  см (или до взаимодействия) с переходами в соседние слои.

7. Как для первичных ионов, так и для фрагментов был проведен (на части материала) перекрестный просмотр.

Вычисление среднего свободного пробега  $\bar{\lambda}(x)$  до взаимодействия для разных расстояний  $x$  от места образования фрагмента (или до входа первичного иона в пластинку) проводилось по формуле

<sup>1)</sup> Тривиальный (и небольшой) ложный эффект, возникающий из-за разной скорости "вымирания" фрагментов с разными  $z$  учитывался, см. ниже.

$$\bar{\lambda}(x) = \frac{L(x)}{N_{зв}(x)} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{зв}(x)} l_i + N_{\text{прох}} \Delta x}{N_{зв}(x)}$$

Здесь  $L$  — суммарная длина всех следов, зарегистрированных на выбранном отрезке пути  $\Delta x$  в окрестности  $x$ ;  $N_{зв}(x)$  — число звезд на этих следах;  $l_i$  — пробег до взаимодействия в пределах выбранного отрезка пути ( $l_i \leq \Delta x$ );  $N_{\text{прох}}(x)$  — число фрагментов (ионов), проходящих отрезок пути  $\Delta x$  без взаимодействия.

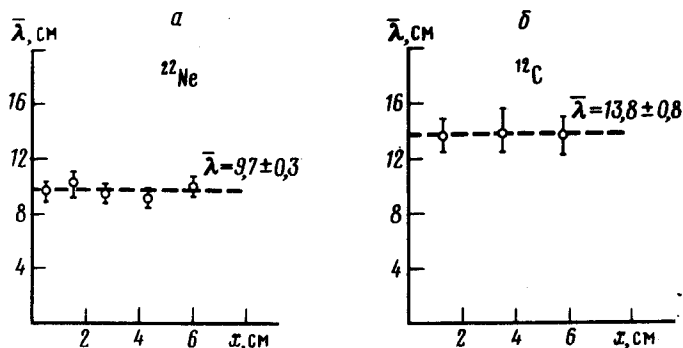


Рис. 1. Значения средней длины свободного пробега  $\bar{\lambda}$  от пройденного пути  $x$  для: а — первичных ионов  $^{22}\text{Ne}$  (1659 следов, 853 взаимодействия); б — первичных ионов  $^{12}\text{C}$  (724 следа, 289 взаимодействий)

На рис. 1, а, б приведены результаты подсчета  $\bar{\lambda}(x)$  для 1659 первичных ионов  $^{22}\text{Ne}$ , давших 853 звезды, и 724 первичных ионов  $^{12}\text{C}$ , давших 289 взаимодействий. Из рисунка видно, что никаких систематических отклонений в значениях  $\bar{\lambda}(x)$  от среднего не наблюдается, т. е. ложный эффект отсутствует. Из полученных данных вычислены средние пробеги до взаимодействия для ионов  $^{22}\text{Ne}$  и  $^{12}\text{C}$  при импульсе 4,1 ГэВ/с на нуклон:

$$\bar{\lambda}(^{12}\text{C}) = 13,8 \pm 0,8 \text{ см}; \quad \bar{\lambda}(^{22}\text{Ne}) = 9,7 \pm 0,3 \text{ см}.$$

(Здесь и дальше ошибки приводятся чисто статистические).

На рис. 2 показаны результаты подсчета  $\bar{\lambda}(x)$  для фрагментов и вызванных ими звезд, зарегистрированных в фотоэмульсии, облученной ионами  $^{12}\text{C}$  (рис. 2, а) и ионами  $^{22}\text{Ne}$  (рис. 2, б). На рис. 2, в приведены результаты для объединенной статистики, составляющей 2034 фрагмента и 924 взаимодействия. На рисунках пунктирной линией показаны расчетные кривые для  $\bar{\lambda}_H(x)$ , соответствующие отсутствию искомого эффекта. Эти кривые были получены в предположении, что фрагменты с зарядами  $z \geq 3$  распределены по заряду равномерно<sup>2)</sup>. Соотношение в числе фрагментов с  $z = 2$  и  $z \geq 3$  (60% и 72% для  $^{22}\text{Ne}$  и  $^{12}\text{C}$  соответственно), а также пробег фрагментов с зарядом  $z = 2$ ,  $\lambda_2 = 20,4 \pm 1,1$  см получены в настоящем эксперименте. Пробеги фрагментов с зарядом  $z$  определялись интерполяцией между экспериментально известными значениями для  $z = 2$ ,  $z = 6$  и  $z = 10$ .

Сплошная кривая соответствует расчету по модели, в которой среди фрагментов имеет ся небольшая доля "аномалонов"  $f$  с коротким пробегом  $\lambda_a \ll \bar{\lambda}_H$ . Остальные "нормальные" фрагменты имеют длину  $\bar{\lambda}_H$ , которая фиксировалась при расчетах. Величины  $f$  и  $\lambda_a$  считались свободными параметрами и подбирались из наилучшего описания экспериментальных точек. Для всех трех наборов точек получены близкие результаты: расчет по модели с "аномалоном" имеет уровень достоверности  $CL \gtrsim 40\%$  при значениях  $f \sim 5\%$  и  $\lambda_a \sim 2 \pm 1$  см, в то время как для пунктирных кривых  $CL$  порядка нескольких десятых

<sup>2)</sup> Использование вместо равномерного распределения куполообразного, аналогично приведенному в 2, 4, практически не изменяет результата.

процента. Попытка описать на рис. 2, в по методу наименьших квадратов расчетной кривой с  $\bar{\lambda}_H$  как свободным параметром приводит к величине  $CL \sim 3\%$ . Отношение  $k = \bar{\lambda}(x > 3 \text{ см}) / \bar{\lambda}(x < 3 \text{ см})$  как для  $^{12}\text{C}$ , так и для  $^{22}\text{Ne}$  составляет 1,2. Для объединенной статистики  $\bar{\lambda}(x < 3 \text{ см}) = 14,7 \pm 0,8 \text{ см}$ ;  $\bar{\lambda}(x > 3 \text{ см}) = 17,8 \pm 0,8 \text{ см}$ ;  $k = 1,21 \pm 0,11$ .

Все фрагменты были просмотрены для отбора фрагментов с  $z = 2$  и  $z \geq 3$ . Выделение проводилось визуально, поэтому среди группы с  $z = 2$  возможна некоторая примесь фрагментов с большим зарядом. Анализируя полученные данные, можно отметить тенденцию к усилению эффекта для группы с  $z \geq 3$ . Так, наилучшее описание ( $CL = 70\%$ ) получается для  $f = 0,12 \pm 0,04$  и  $\lambda_a = 2,9 \pm 1,4 \text{ см}$ .

Резюмируя, можно сказать, что совокупность полученных данных как для фрагментов, образованных во взаимодействиях ионов  $^{12}\text{C}$ , так и для фрагментов от  $^{22}\text{Ne}$  при импульсе 4,1 ГэВ/с на нуклон не противоречит наличию эффекта. Для окончательного решения вопроса о существовании эффекта, а также детального его анализа работа должна быть продолжена.

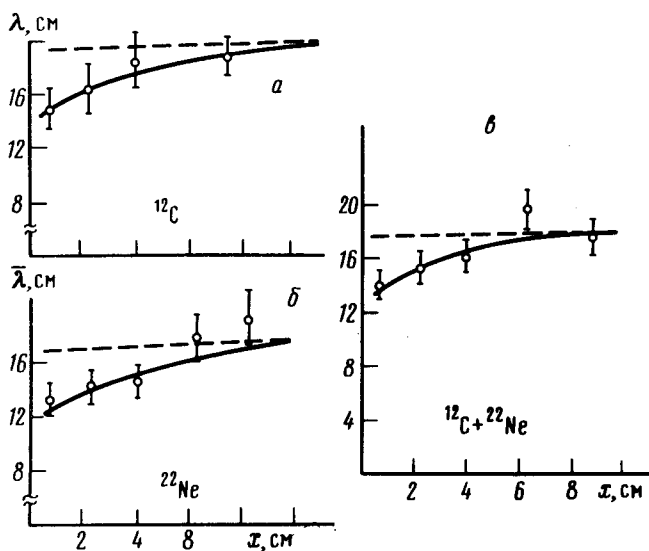


Рис. 2. Значения  $\bar{\lambda}(x)$  для фрагментов, образованных во взаимодействиях ионов  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами фотоэмульсии: а – для  $^{12}\text{C}$  (945 фрагментов, 412 звезд). Кривые на рисунке получены для параметров  $\bar{\lambda}_H = 19,5 \text{ см}$ ;  $\lambda_a = 2,6 \pm 1,9 \text{ см}$ ;  $f = 0,05 \pm 0,03$  (объяснение в тексте). б – Для  $^{22}\text{Ne}$  (1089 фрагментов, 512 звезд)  $\bar{\lambda}_H = 17,5 \text{ см}$ ;  $\lambda_a = 2,3 \pm 1,3 \text{ см}$ ;  $f = 0,06 \pm 0,03$ . в – Для  $^{12}\text{C} + ^{22}\text{Ne}$  (2034 фрагмента, 924 звезды)  $\bar{\lambda}_H = 18,0 \text{ см}$ ;  $\lambda_a = 2,0 \pm 1,0 \text{ см}$ ;  $f = 0,05 \pm 0,02$

В заключение авторы благодарят А.М.Балдина и К.Д.Толстова за предоставление эмульсий и благожелательное отношение, С.Т.Беляева и И.И.Гуревича за обсуждение результатов, Г.С.Шабратову за полезное обсуждение методики эксперимента, А.С.Балыкову, Л.С.Буряк, и Е.В.Нилова за помощь в измерениях.

#### Литература

1. Friedlander E.M., et al. Phys. Rev. Lett., 1980, 45, 1084.
2. Jain P.L., Das G. Phys. Rev. Lett., 1982, 48, 305.
3. Jain P.L., et al. Phys. Rev., 1982, C25, 3216.
4. Friedlander E.M., et al. Phys. Rev., 1983, C27, 1490.