

УТВЕРЖДАЮ

Директор НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ



академик С.В. Иванов

08 мая 2019 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Зайцева Андрея Александровича «Исследование диссоциации релятивистских ядер ^{10}B , ^{11}C и ^{12}C методом ядерной фотоэмульсии», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Диссертационная работа А.А.Зайцева посвящена изучению кластерной структуры ядер ^{10}B , ^{11}C и ^{12}C в процессах их релятивистской диссоциации на ядрах, входящих в состав ядерной фотоэмульсии. Детальное изучение указанных процессов имеет большое как чисто научное значение для более глубокого понимания процессов нуклеосинтеза в звездах, так и прикладное значение для современной ядерной медицины. Диссертационная работа выполнена в рамках Сотрудничества БЕККЕРЕЛЬ по изучению кластерных степеней свободы при фрагментации легких релятивистских ядер в фотоэмульсиях. Достигнутое в фотоэмульсионной методике угловое разрешение для следов релятивистских фрагментов составляет величину порядка 10^{-4} рад, что позволяет получать Сотрудничеству интересные результаты мирового уровня, которые хорошо известны научному сообществу. В этой связи актуальность представленной диссертации не вызывает сомнений.

В основу диссертации А.А.Зайцева положены результаты экспозиции ядерных фотоэмульсий на пучках релятивистских ядер ^{10}B (1.6 АГэВ/с), ^{11}C (2.0 АГэВ/с) и ^{12}C (1.0 и 4.5 АГэВ/с). Диссертация состоит из Введения, 3 глав, Заключения и Приложения. Она содержит обширный материал исследований, систематизированный в 58 рисунках и 15 таблицах.

Во Введении в рамках кластерной модели легких ядер сформулированы цели и обоснована актуальность проведенных исследований, поставлены конкретные задачи, показана их связь с современными проблемами ядерной физики, включая ядерную астрофизику и прикладные применения пучков релятивистских ядер в медицине. Подробно описана методика фотоэмульсионного эксперимента, в том числе основные способы измерения зарядов и углов испускания ядерных фрагментов, их импульсов, а также их изотопной идентификации.

В первой главе диссертации приведены результаты анализа данных с ядерных фотоэмульсий, облученных в пучке релятивистских ядер ^{10}B с импульсом 1.6 A ГэВ/с на Нуклотроне ОИЯИ. Показано доминирование фрагментации ядра ^{10}B по каналу $2\text{He} + \text{H}$ (вероятность 76%). При этом в продуктах фрагментации идентифицированы нестабильные ядра ^8Be и ^9B с вероятностями образования 24 ± 3 и $12 \pm 2 \%$, соответственно. Получен также ряд интересных результатов, в частности, весьма неожиданным является наблюдение, что число «белых» звезд $^9\text{B} + \text{p}$ в 10 раз превысило звезд $^9\text{Be} + \text{p}$, а также, что с заметной вероятностью (8%) наблюдаются звезды в канале $^{10}\text{B} \rightarrow ^6\text{Li} + \alpha$. Безусловно, эти результаты будут востребованы в дальнейших исследованиях кластерного состава близлежащих ядер.

Во второй главе в рамках фотоэмульсионной методики проанализирована структура радиоактивного ядра ^{11}C в событиях его релятивистской фрагментации при импульсе 2.0 A ГэВ/с . Доминируют каналы фрагментации $2\text{He} + 2\text{H}$ (53%) и $\text{He} + 4\text{H}$ (17%). Обнаружено появление нового, типичного только для ядра ^{11}C , канала ядерной диссоциации $\text{Li} + \text{He} + \text{H}$. На основе полученных данных впервые выполнена реконструкция распадов нестабильных ядер ^8Be и ^9B в диссоциации релятивистских ядер ^{11}C . В целом, полученные в результате данные позволяют рассматривать ядро ^{11}C как динамическую суперпозицию состояний, концентрирующихся вокруг стабильных ядер ^{10}B и ^7Be как основных компонентов кластерной структуры ^{11}C .

В третьей главе проведен анализ облученных фотоэмульсий ядрами ^{12}C с импульсами 1.0 и 4.5 A ГэВ/с . Анализ данных измерений слоев фотоэмульсий был сосредоточен, в основном, на канале фрагментации $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ с целью идентификации событий с состоянием Хойла в диссоциации ^{12}C на 3α . Такие события с использованием фотоэмульсионной методики были идентифицированы

впервые. И это, безусловно, является важным результатом данной диссертационной работы. Вклад указанных событий составил $11 \pm 3 \%$ от общей 3α -статистики. Установлено, что события с состоянием Хойла образуются с поперечным импульсом P_{Tsum} , характерным для сильных, а не для электромагнитных взаимодействий. Несомненно, это очень интересное наблюдение, которое еще ожидает своей интерпретации.

В Заключение перечислены основные результаты диссертационной работы, которые выносятся автором на защиту.

В Приложении представлены, в основном, иллюстративные материалы, из которых значительный интерес вызывают фотографии отдельных характерных событий в эмульсии.

Следует отметить высокий методический и экспериментальный уровень работы в целом, а также адекватность выбранной методики поставленным в диссертации задачам. Ряд результатов являются уникальными, поскольку в настоящее время их вообще невозможно получить вне рамок фотоэмульсионной методики.

Вместе с тем диссертационная работа не лишена определенного количества опечаток, неточностей, научного сленга и пр. Например, во Введении содержится два Рис. В.2 – один на стр. 15, а другой на стр. 22, причем на второй рисунок В.2 ссылки в тексте диссертации нет. Напротив, в главе I за Рис. I.6 сразу следует Рис. I.8, т. е. Рис. I.7 отсутствует. В подписи к Рис. В.1 на стр. 15, где приведены диаграммы кластерных степеней свободы легких ядер, явно не хватает ссылки на источник, откуда автор взял этот рисунок. Далее на стр. 11 автор, не желая того сам, зависил характерную точность углового разрешения в ядерной фотоэмульсии (10^{-4} мрад) на три порядка величины. Это произошло исключительно потому, что в качестве единицы измерения он ошибочно указал мрад вместо радиан.

В диссертации, к сожалению, ошибки встречаются и в приведенных формулах. Так в уравнении (4) на стр. 29 следует писать не b^2 , но b , а знак возведения во вторую степень b следует отнести ко всей скобке, чтобы уравнение стало правильным. Не аккуратно записано и последнее уравнение на стр. 44 в системе уравнений (7), а именно под знаком суммы опущена область суммирования по индексам i и j . Напротив, в аналогичном уравнении (11) на стр. 77 область

суммирования по индексам i и j . Напротив, в аналогичном уравнении (11) на стр. 77 область суммирования по индексам i и j уже указана и указана правильно, но само уравнение записано неверно, чтобы увидеть это, достаточно в последнем из уравнений системы (7) заменить индекс протона на индекс α -частицы.

Теперь, несколько замечаний по терминологии. Используемые автором термины «релятивистский масштаб столкновения ядер» и «фрагментация полурелятивистских ядер», см. стр. 11 и 14, соответственно, следует признать, на наш взгляд, скорее неудачными, чем несущими полезную информацию. Остановимся, например, на последнем термине. Термин «нерелятивистский» означает, что для расчетов используется классическая механика, термин «релятивистский» – релятивистская механика, основанная на преобразованиях Лоренца, но никакой «полурелятивистской» механики нет, поэтому нет (не должно быть) и соответствующего термина. Другим примером требующего пояснения термина, который автор широко использует в диссертации, см., например, подписи к рисункам I.12, I.13, II.7, I I.9, II.10, III.8, III.9, III.10, П.15, – является термин «эффективная инвариантная масса» нескольких фрагментов. Применительно к Рис. I.12 на стр. 45 это «эффективная инвариантная масса $Q_{2\alpha}$ пары α -частиц», определяемая вторым снизу уравнением в системе (7) на стр. 44. Однако в соответствии с традиционной терминологией величина $Q_{2\alpha}$ является не инвариантной массой пары α -частиц, а таковой за вычетом масс этих двух α -частиц (фрагментов). В этой связи термин «инвариантная масса» применительно к указанным величинам следует, рассматривать, скорее, как сокращение, использование которого, вообще говоря, предполагает некое предварительное разъяснения, отсутствующее в тексте диссертации.

Наконец, что касается оформления диссертации, то на наш взгляд совсем не является удобным, когда важные и одновременно интересные рисунки приведены отдельно в конце диссертации в специальном приложении, поскольку заинтересованному читателю приходится каждый раз листать диссертацию в конец, а затем вновь возвращаться к основному тексту.

Орфографических и синтаксических ошибок в тексте не много, и они не достойны здесь более детального упоминания.

