

# НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ФРАГМЕНТОВ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР ${}^6\text{Li}$ В ФОТОЭМУЛЬСИИ

*Ф.Г.Лепехин, Д.М.Селиверстов, Б.Б.Симонов*

*Петербургский институт ядерной физики РАН*

*188350 Гатчина, Россия*

Поступила в редакцию 24 января 1994 г.

Отношение средней величины наблюдаемых поперечных импульсов фрагментов ядра  ${}^6\text{Li}$  с импульсом 4,5ГэВ/с на нуклон при его взаимодействии с ядрами в фотоэмulsionии к средней величине поперечных импульсов фрагментов в СЦИ двух фрагментов не отличается от ожидаемой величины ( $\approx \sqrt{2}$ ) для независимого разлета фрагментов. Размер области, из которой рождаются двухзарядные фрагменты  ${}^6\text{Li}$  примерно в 2 раза меньше размера области рождения фрагментов-протонов. Импульс Ферми ядра  ${}^6\text{Li}$  для протонов равен  $111 \pm 6$  МэВ/с. Получены доказательства наблюдения процесса обмена нуклонами между релятивистским ядром и мишенью. Сечение его  $\sigma_{ez} = 12 \pm 6$  мб.

1. В работе [1] показано, что  $\eta = < P_{\perp}(\text{lab}) > / < P_{\perp}^*(1-2) >$  для независимого разлета фрагментов равных масс близко к  $\sqrt{2}$ . Для фрагментов ядра  ${}^{22}\text{Ne}$  с импульсом 4,1 А ГэВ/с найдено значимое отличие  $\eta$  от  $\sqrt{2}$ . Это позволило высказать предположение о существовании возбужденных пре-фрагментов при фрагментации релятивистских ядер  ${}^{22}\text{Ne}$ .

В данной работе представлены предварительные результаты анализа фрагментов ядер  ${}^6\text{Li}$  с импульсом 4,5 ГэВ/с на нуклон при их неупругом взаимодействии с ядрами в фотоэмulsionии. Условия эксперимента обеспечивали представительность выборки 473 событий, содержащих одно- и двухзарядные фрагменты первичного ядра  ${}^6\text{Li}$ . Для каждого фрагмента измерен его заряд  $Z$ , углы  $\phi$  и  $\alpha$  в плоскостях  $XY$  и  $XZ$  с  $\bar{P}_0$ , направленным по оси  $X$ , углы  $\theta_{12}$  ( $\theta_{23}$ ,  $\theta_{13}$ ) для событий, содержащих 2 и 3 фрагмента. Импульс фрагмента  $P$  (точнее, величина  $p\beta c$ ) и его ошибка оценивались по измерению многократного рассеяния на максимально доступной длине следа фрагмента в эмульсионной камере (до 10 см). Все измерения проведены на микроскопе МПЭ-11 с использованием стола для многократного рассеяния с фторопластовыми направляющими. Микроскоп оснащен датчиками координат по осям  $X, Y, Z$ , показания с которых по команде оператора поступают на персональный компьютер, где и происходит их обработка.

2. Все результаты настоящей работы основаны на индивидуальном разделении (классификации) каждого фрагмента сначала по  $Z$ , а потом по массовому числу  $A$ . В основе классификации лежат физические соображения. Базовая идея классификации [2], согласно которой данное наблюдение импульса частицы  $P$  следует отнести к той генеральной совокупности, в которой она наиболее правдоподобна, у нас реализуется в нахождении  $A$  по минимуму величины

$$t = \text{mod}[P - P_0 \cdot A] / \Delta P, \quad (1)$$

где  $A$  принимает значения 1, 2, 3 ( $Z = 1$ ) или 3, 4, 6 для  $Z = 2$ , а  $P_0$  – это импульс на нуклон ядра  ${}^6\text{Li}$ . Очевидно, что для любого распределения оце-

нок  $P$  вокруг его истинного значения вероятность иметь данное  $A$  будет тем больше, чем ближе в единицах  $\Delta P$  измеренная величина  $P$  будет к данному номиналу  $P_0 \cdot A$ . Вес данного измерения, пропорциональный плотности нормального распределения со средним  $P_0 \cdot A$  и дисперсией  $(\Delta P)^2$ , использовался при гистограммировании (см. рис.1).

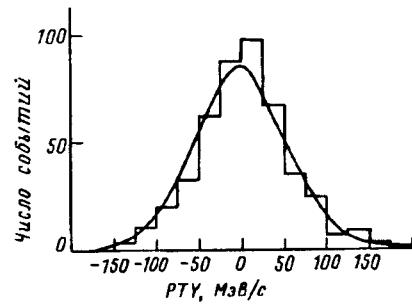
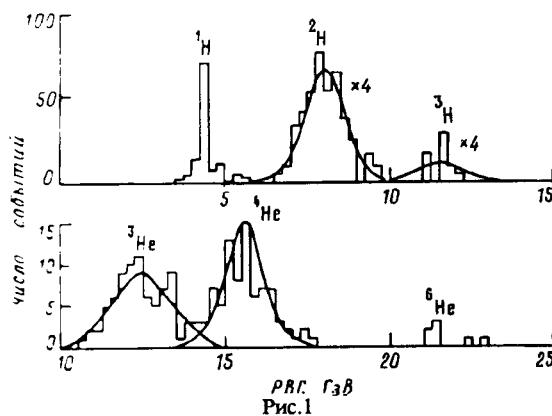


Рис.1. Разделение изотопов водорода (верхняя часть) и гелия по измерениям  $p\beta c$ . Гистограмма – эксперимент, плавные кривые – нормальные распределения по МНК  
Рис.2. Распределение проекций поперечных импульсов протонов. Плавная кривая – нормальное распределение с  $\sigma_0 = 54,8 \text{ МэВ}/c$

Средневзвешенные величины  $\langle P \rangle_A$  при каждом  $A$  показывают, что измерения  $P$  и классификация вполне надежны. Так, для водорода идейтерия эти величины равны  $4,3 \pm 0,6$ ;  $8,2 \pm 0,7$ , а для гелия 3, 4 и 6 – это  $12,9 \pm 1,3$ ;  $16,9 \pm 1,5$ ;  $23,6 \pm 4,0 \text{ ГэВ}/c$ . Выходы изотопов  $^1H$  и  $^2H$ ,  $^3He$  и  $^4He$  сопоставимы друг с другом. При фрагментации ядер Ni, Ag, Sn, Au и U под действием протонов с энергией 1 ГэВ [3] выходы изотопов  $^4He$  и  $^3He$  отличались от 10 до 40 раз и зависели от  $N/Z$  бомбардируемых ядер. И даже для  $^{58}Ni$  и  $^{112}Sn$  с  $N/Z \approx 1$  выход  $^3He$  составляет не более 10% от  $^4He$ . Для фрагментации релятивистских ядер с  $N/Z = 1$  ( $^{12}C$ ,  $^{16}O$ ) из [4] следует, что выходы этих изотопов, так же как и в нашем эксперименте, сопоставимы друг с другом. Из 244 частиц с  $Z = 1$  22 имеют  $A = 3$ , и среди 192 двухзарядных фрагментов 7 отнесены к  $^6He$ .

Из рис.1 видно, что, хотя частиц с  $Z = 2$ ,  $A = 6$  и мало, факт наличия изотопа  $^6He$  в продуктах фрагментации  $^6Li$  можно считать установленным. Произойти он мог только в результате перезарядки нуклонов налетающего ядра и мишени. Но если этот процесс идет с наблюдаемым сечением, то должны быть события с подхватом нуклона мишени, с распадом  $^6He$  на два  $^3H$ , наконец, с видимой фрагментацией  $^6Be$  ( $^7Be$ ) на два изотопа гелия. Последнее кажется особенно интересным, а идентификация особенно надежна. Одно такое "чистое" событие нами найдено. В нем нет рожденных релятивистских частиц, которые являются, в основном,  $\pi$ -мезонами, и медленных частиц разрушения мишени (в основном, протонов).

Доля событий  $C_A$  для каждого  $A$  при одном и том же  $Z$  определялась еще двумя способами. Один раз это было отношение сумм весов всех событий с данным  $A$  к сумме весов всех событий при этом  $Z$ . В этом случае каждое

событие в класс событий с данным  $A$  входило с некоторой вероятностью  $W < 1$ , а с вероятностью  $1 - W$  оно же входило в два других класса. А другой раз, построив гистограмму, имеем возможность описать ее для каждого  $Z$  смесью трех нормальных распределений с восемью свободными параметрами  $C_1, C_2, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \langle P_1 \rangle, \langle P_2 \rangle, \langle P_3 \rangle$ , минимизируя сумму квадратов отклонений наблюдаемых и вычисляемых вероятностей нахождения событий в каждом канале гистограммы. Оба эти способа статистического разделения изотопов дали величины  $C_A$  при каждом  $Z$  и  $A$ , согласующиеся с индивидуальной классификацией по минимуму  $t$ . Главные кривые рис.1 есть нормальные распределения, описывающие гистограмму в последнем способе оценки  $C_1$  и  $C_2$  по МНК.

Всего нами найдено 13 событий, которые по измерениям  $Z$  и  $P$  относятся к перезарядке или подхвату нуклонов мишени. Среди них 3 события развала возбужденного  ${}^6\text{He}$  на  ${}^2\text{H}$  с импульсом каждого фрагмента  $12 \pm 1 \text{ ГэВ/с}$ . Из условий эксперимента получено сечение  $\sigma_{ex} = 12 \pm 3 \text{ мб}$  или  $\simeq 1,5\% \sigma_{in}({}^6\text{Li} + Em)$ .

3. Результаты проведенной классификации фрагментов  ${}^6\text{Li}$  используются для оценки константы  $\sigma_0$  в распределении их поперечных импульсов. Распределение проекций поперечных импульсов фрагментов-протонов  $PTY = P_0 \cdot \sin \phi$  (см. рис.2) совпадает с нормальным распределением  $N[0, \sigma_0^2]$  при  $\sigma_0 = 54,8 \pm 2,5 \text{ МэВ/с}$ . Таким образом, сами поперечные импульсы имеют распределение Рэлея.

Величина  $\sigma_0$ , полученная в данном эксперименте для протонов, значительно меньше ожидаемого ее значения ( $76 \text{ МэВ/с}$ ), которое следует из импульса Ферми [5]. Но в нашем эксперименте  $\sigma_0$  является наблюдаемой величиной, в то время как в [5]  $P_F$  является одним из подгоняемых параметров модели. По нашим данным, импульс Ферми ядра  ${}^6\text{Li}$  для протонов равен  $111 \pm 6 \text{ МэВ/с}$ .

Распределение проекций поперечного импульса  $PTY$  для частиц с  $Z = 2$  также согласуется с нормальным распределением, но с  $\sigma_{0\alpha} = 137,4 \pm 8,7 \text{ МэВ/с}$ . Ожидаемое значение этой величины с учетом массы  $\alpha$ -частицы будет  $\simeq 71 \text{ МэВ/с}$ . Таким образом, наблюдаемая в эксперименте величина  $\sigma_{0\alpha}$  примерно в 2 раза больше ее. Отсюда, используя принцип неопределенности со знаком равенства [6], имеем  $\langle P_\perp \rangle \langle R_{FR} \rangle = \hbar/2$ , где  $\langle R_{FR} \rangle$  – характерный размер области фрагментации. Следовательно,  $\langle R_{FR} \rangle_p / \langle R_{FR} \rangle_\alpha \simeq 2$ . Размер области в  ${}^6\text{Li}$ , из которой фрагментируют протоны при его взаимодействии с ядром в фотоэмulsionии, примерно в 2 раза больше области, из которой фрагментируют  $\alpha$ -частицы.

В событиях с двумя и тремя фрагментами по инвариантной массе двух частиц находится  $P_\perp^*$  – поперечный импульс фрагментов в их СЦИ [1]. Используется непосредственно измеренный угол между двумя следами фрагментов  $\theta_{12}$ . Ошибки при оценке величины этого угла по углам  $\phi$  и  $\alpha$  двух частиц оказались примерно вдвое больше, чем при непосредственном его измерении.

Результат, который получен в этой работе для всех пар фрагментов, пар протон–протон и пар протон –  $\alpha$ -частица, состоит в том, что в пределах ошибок различия  $\eta$  от  $\sqrt{2}$  не наблюдается. Величина отношения  $\eta$  была получена также методом Монте-Карло (как и в [1]) при статистике в 10 раз больше, чем в эксперименте. Так, для всех событий  $\eta = 1,36 \pm 0,05$  в эксперименте, и  $\eta = 1,39 \pm 0,02$  – по методу Монте-Карло.

Таким образом, при фрагментации релятивистских ядер  ${}^6\text{Li}$  стадия образования пре-фрагментов отсутствует. Наблюдаемые фрагменты рождаются непосредственно из ядра  ${}^6\text{Li}$ .

---

1. Ф.Г.Лепехин, Б.Б.Симонов, Письма в ЖЭТФ **58**, 493 (1993).
2. С.А.Айвазян и др., Прикладная статистика, М.: Изд. "Финансы и статистика", 1989, с.607.
3. E.N.Volnin et al., Phys. Lett. **B55**, 409 (1975).
4. D.E.Greiner, P.J.Lindstrom, H.H.Heckman et al., Phys. Rev. Lett. **35**, 152 (1975).
5. E.I.Monitz, J.Sick, R.R.Whitney et al. Phys. Rev. Lett. **26**, 445 (1971).
6. К.Д.Толстов, Сообщения ОИЯИ, Р1-86-464, Дубна, 1986, с.5.