

Физика

УДК 539.126.34

В. М. АСАТУРЯН, А. Р. БАЛАБЕКЯН, Р. Х. МАРКАРЯН, А. Г. ХУДАВЕРДЯН,  
С. Г. АРАКЕЛЯН, Г. Р. ГУЛКАНЯН, З. А. КИРАКОСЯН, Г. А. ХУДАВЕРДЯН

ПОИСК ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕРНОПОДОБНЫХ  
СИСТЕМ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЯДЕР

Проведен поиск и получены верхние границы образования нейтронных ядер и связанных состояний  $\pi^-$ -мезонов с двумя (и более) нейтронами во взаимодействиях релятивистских ядер углерода (с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон) в пропане.

В настоящем сообщении приводятся предварительные результаты поиска экзотических ядерноподобных систем с изоспином  $I > A/2$  ( $A$  — массовое число) нейтронных ядер и связанных (долгоживущих) систем  $\pi^-$ -мезонов с двумя (и более) нейтронами во взаимодействиях релятивистских ядер углерода в пропане. Экспериментальный материал получен с 2-метровой пропановой пузырьковой камеры Лаборатории высоких энергий ОИЯИ, облученной пучком ядер углерода с импульсом 4,2 ГэВ/с на нуклон на синхрофазотроне ОИЯИ.

Вопросу о возможности существования нейтронных ядер (связанных состояний нейтронов) посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ (см., напр., ссылки в [1, 2]), однако до настоящего времени эта проблема остается нерешенной.

В данной работе предлагается осуществить поиск связанных состояний нейтронов (ССН) на пучках релятивистских ядер. Основанием для такой постановки эксперимента послужили следующие обстоятельства: а) на пучках релятивистских ядер было обнаружено большое количество не известных ранее изотопов с богатым содержанием нейтронов (см., напр. [3]), образующихся вследствие фрагментации налетающего ядра: аналогичным образом можно предположить, что если существует ССН, то они могут образоваться в результате стриппинга (срыва) из родительского ядра-снаряда; б) вследствие релятивистского растяжения времени нестабильные (короткоживущие) ССН могут пролететь достаточно большие расстояния и успеть претерпеть вторичные взаимодействия в веществе; по характеристикам этих взаимодействий можно, в принципе, зарегистрировать «сигнал» от ССН. Такая постановка эксперимента применена в данной теме для поиска ССН среди высокоэнергичных нейтральных фрагментов ядра углерода (с начальным импульсом 4,2 ГэВ/с  $A$ ). Регистрировались «сопровождающие» первичное взаимодействие нейтральные звезды, образованные в результате неупругого взаимодействия вылетевшей нейтральной (стриппинговой) частицы, которые должны удовлетворять следующим условиям: а) угол вылета  $\theta$  по отношению к пучковой частице ограничен

( $\theta \leq 4^\circ$ ): б) вторичное взаимодействие нейтральной частицы в пропане приводит к образованию звезды с числом лучей  $n_{ch} \geq 2$ , причем по крайней мере один из треков либо должен быть идентифицирован как  $\pi^+$  или  $\pi^-$ -мезон, либо явиться высокоэнергичной положительной частицей с импульсом  $P \geq 750$  МэВ/с; условие б) обеспечивает отбор высокоэнергичных нейтральных фрагментов. Если среди этих фрагментов имеются связанные состояния двух и более нейтронов, то при их неупругих взаимодействиях в пропане средняя множественность родившихся  $\pi^-$ -мезонов должна быть  $\nu$  раз больше, чем в случае взаимодействия одиночного нейтрона ( $\nu_4 \approx 2$  в случае тетранейтрона  ${}^4n$  и  $\nu_2 \approx 1,4$  в случае динейтрона  ${}^2n$ ).

Для того чтобы иметь характеристики нейтронных («фоновых») взаимодействий, по аналогичным критериям отбирались также нейтральные звезды, сопровождающие взаимодействия дейтронных пучков в пропане. Распределения по множественности  $\pi^-$ -мезонов в нейтральных звездах для налетающих ядер С и d приведены в таблице

$n_{\pi^-}$	0	1	2	3	$N_{tot}$	$\langle n_{\pi^-} \rangle$
$C + (C_3H_8) \rightarrow$ $\rightarrow (n^2, n, \dots) + C_3H_8 \rightarrow$ $\rightarrow \pi^-$	78	297	65	2	444	$0,99 \pm 0,028$
$d + (C_3H_8) \rightarrow$ $\rightarrow n + (C_3H_8) \rightarrow$ $\rightarrow \pi^-$	48	317	65	4	432	$1,05 \pm 0,025$

В последнем столбце таблицы приведены средние множественности  $\pi^-$ -мезонов:  $\langle n_{\pi^-} \rangle_c = 0,99 \pm 0,028$  для нейтральных фрагментов ядра углерода и  $\langle n_{\pi^-} \rangle_d = \langle n_{\pi^-} \rangle_c$  ( $C_3H_8$ ) =  $1,05 \pm 0,025$  для нейтральных фрагментов (нейтронов) ядра дейтерия. Тот факт, что  $\langle n_{\pi^-} \rangle_c$  не превышает  $\langle n_{\pi^-} \rangle_d$ , означает, что при данной точности эксперимента среди фрагментов углерода не наблюдаются ССН и можно дать только верхнюю границу относительного выхода. Сделаем это сначала для тетранейтрона. Обозначим примесь  ${}^4n$  среди нейтронных фрагментов через  $\beta$ ; доля нейтронов будет  $(1-\beta)$ . Обозначим через  $W_1$  и  $W_4$  средние вероятности вторичного неупругого взаимодействия в пропановой камере нейтрона и тетранейтрона соответственно, используя сечение неупругого взаимодействия нуклона и ядра с  $A=4$  в пропане [5] и средний потенциальный пробег в пропане ( $\bar{l}=50$  см), получаем  $W_1/W_4 = 0,54 \pm 0,02$ . Величина  $\beta$  выражается через экспериментально наблюдаемые величины следующим образом:

$$\alpha = \frac{\beta}{(1-\beta)} \cdot \frac{W_4}{W_1} = \frac{\frac{\langle n_{\pi^-} \rangle_c - 1}{\langle n_{\pi^-} \rangle_{oi}}}{\nu_4 \frac{\langle n_{\pi^-} \rangle_c}{\langle n_{\pi^-} \rangle_d}} = \frac{R-1}{\nu^d - R}, \quad (1)$$

где  $R = \langle n_{\pi^-} \rangle_c / \langle n_{\pi^-} \rangle_d = 0,94 \pm 0,04$ ,  $\nu_4 \approx 2$ . Поскольку в нашем эксперименте  $R$  не превышает единицу, можем утверждать, что  $\alpha$  близка к нулю с точностью, которая допускается при данной постановке эксперимента ( $\sim 4\%$ ); в качестве «консервативной» оценки получаем  $\alpha < 0,04$ , используя соотношение (1) между  $\alpha$  и  $\beta$ ; примесь тетранейтрона по отношению к стриппинговым нейтронам не превышает  $\beta_4 < 2\%$ . Аналогичная оценка для динейтрона получается  $\beta_2 < 5\%$ .

Независимую оценку для верхней границы примеси ССН получаем по доле событий с тремя и более  $\pi^-$ -мезонами  $\omega$  ( $\geq 3$ ). Для нейтрон-пропан взаимодействий  $\omega_1$  ( $\geq 3$ ) =  $(4,6 \pm 3,2) 10^{-3}$ , для взаимодействия фрагментов ядер углерода в пропане  $\omega$  ( $\geq 3$ ) =  $(9,0 \pm 4,5) 10^{-3}$  (см. табл.). Для тетранейтрон-пропан взаимодействий, пользуясь распределением [5] по числу неупруго провзаимодействовавших нуклонов ядра с  $A=4$ , находим ожидаемое значение для  $\omega_4$  ( $\geq 3$ )  $\approx 0,2$ . При помощи уравнения, аналогичного (1), находим  $\beta_4 = (1,1 \pm 1,4) \%$ . Для примеси динейтрона  $\beta_2 = (3,1 \pm 3,7) \%$ . Таким образом, на 90%-ом уровне достоверности  $\beta_4 < 3\%$  и  $\beta_2 < 8\%$ . Полученные оценки могут быть улучшены при наборе большего статистического материала.

В данной работе был проведен также поиск предсказываемых теорией [6] экзотических ядерноподобных систем с изоспином  $I > A/2$ , т. е. связанных состояний  $\pi^-$ -мезонов с двумя и более нейтронами [6]. В ряде работ (см., напр., [7]) была предпринята попытка поиска таких систем в протон-ядерных взаимодействиях. Возможно, что более благоприятные условия для их образования и наблюдения возникают в ядро-ядерных взаимодействиях, в области фрагментации ядра-снаряда. В частности, во взаимодействиях релятивистских ядер углерода в пропане образовавшиеся связанные состояния  $\pi^-$ -мезона (или нескольких  $\pi^-$ -мезонов) с двумя (или более) нейтронами в области фрагментации налетающего ядра могут наблюдаться в виде треков со сравнительно большими импульсами (около  $GэВ$  и выше) и с завышенной (или сильно завышенной) ионизацией (завышенная ионизация ожидается вследствие большой массы  $m_\phi$  искомым фрагментов ( $m_\phi > 2m, 3m, \dots$ , где  $m$ —масса нуклона) и (или) из-за того, что их заряд может превышать единицу  $Z_\tau \geq 1$ ).

С целью поиска таких систем было просмотрено 11 тыс. стереофото-снимков с 2-метровой пропановой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной ядрами углерода и импульсом  $4,2 GэВ/c A$ , было проанализировано около 5 тыс. событий взаимодействия углерода в пропане. Среди вторичных треков отрицательно заряженных частиц не было обнаружено ни одного трека с импульсом более  $0,7 GэВ/c$  и с ионизацией, заметно превышающей минимальную. Оценена верхняя граница вероятности образования (на один акт первичного взаимодействия) ядерноподобных систем ( $Z_\tau N_n$ , где  $Z_\tau > 1$ —заряд,  $N_n > 2$ —массовое число):  $W < 2 \cdot 10^{-4}$ .

*Кафедра физики атомного ядра  
и элементарных частиц ЕГУ,  
Ереванский физический институт*

*Поступила 6.02.1987*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агсев В. А. О существовании нейтронных ядер.—Препринт КИЯИ, 1985, т. 85, вып. 4
2. Белозеров А. В., Борча К., Длоугы З., Калинин А. М., Нгуен Хоай Тъяу, Пенционжеквич Ю. Э. Исследование  $^3n$  и  $^4n$  в реакции  $^7Li + ^{11}B$ .—Препринт ОИЯИ, 1986, P7-86-309.
3. Материалы II международной конференции по ядро-ядерным взаимодействиям. Висби (Швеция): 1985, т. I, с. 31.
4. Ахабабян Н., Баатар Ц., Гаспарян А. П. Методические вопросы определения сечения неупругих взаимодействий релятивистских ядер с ядрами.—Препринт ОИЯИ, 1979, 1—12114.
5. Гаспарян А. П., Чеплаков А. П., Шабельский Ю. М. Распределения по числу взаимодействующих нуклонов в соударениях релятивистских ядер.—Препринт ОИЯИ, 1980, 1-80-853.
6. Гольсанский В. И. Об экзотических ядрах с изотопическим спином  $T > A/2$  и радиационном захвате пионов.—Письма в ЖЭТФ, 1976, т. 23, вып. 6, с. 366—368.

7. Gale W. A., Duck I. M. N—N\* interactions with Fadeev equations. — Nucl. Phys. B, 1968, v. B8, № 1, p. 109—130; H. G. Bound states of negative pions and neutrons. — Phys. Rev. Let., 1983, v. 50, № 20, p. 1567—1570.
8. De Boer F. W. N., Dantzing R., Daum M., Ganson G., Watson G. S., Felawka L., Grab C., Schaaf A., Kozlowski T., Martino G., Smirnov A. I. Search for bound states of neutrons and negative pions. — Phys. Rev. Let., 1984, v. 53, № 5, p. 423—426.

### Ա մ փ ն փ ու մ

Ուսումնասիրվել են ածխածնի ռելյատիվիստիկ միջուկների (յուրաքանչյուր նուկլոնը 4,2 ԳԷՎ/Ց իմպուլսով) փոխազդեցությունները պրոպանում: Գնահատվել են նեյտրոնային միջուկների, ինչպես նաև  $\pi^-$  մեզոն—երկու (կամ ավելի) նեյտրոններ կապված վիճակների առաջացման վերին սահմանները:

### Summary

The interactions of carbon relativistic nuclei (with 4.2 GeV/c impulse on each nucleon) in propane have been investigated.

The upper limits for formation of neutral nuclei and the boundary state of  $\pi^-$ -mesons with two (and more) neutrons have been estimated.