

6
Д.40

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P 32

Д-405

В.П.ДЖЕЛЕПОВ, К.О.ОГАНЕСЯН, В.Б.ФЛЯГИН

ОБРАЗОВАНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ π -МЕЗОНОВ НЕЙТРОНАМИ
НА ДЕЙТРОНЕ И СЛОЖНЫХ ЯДРАХ^{х)}

ЖЭТФ, 1957, т 32, в.ч, с 678-681

1957 год

х) Статья направлена в ЖЭТФ

А н н о т а ц и я

Под углом 90° в лабораторной системе измерен выход γ -квантов от распада π^0 -мезонов, образуемых нейтронами 590 Мэв на дейтерии. Определенные на основании этих измерений полные сечения образования π^0 -мезонов в $(n-d)$ и $(n-n)$ -соударениях оказались равными $\sigma_{nd}^{\pi^0} = (7,4 \pm 2,0) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ и $\sigma_{nn}^{\pi^0} = (1,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$.

Под тем же углом произведены измерения относительного выхода γ -квантов от распада π^0 -мезонов, образующихся на различных элементах. Зависимость выхода γ -квантов близка к функции $A^2/3$.

1. В в е д е н и е

Процессы образования нейтральных мезонов при взаимодействии нейтронов высокой энергии с нуклонами и сложными ядрами изучены менее детально, чем подобные же процессы, вызываемые протонами. Это связано с существенно большими трудностями, встречающимися в опытах с нейтронами. К таким трудностям можно отнести, с одной стороны, относительно слабые интенсивности пучков нейтронов, и, с другой стороны, малые сечения образования π^0 -мезонов при энергиях нейтронов порядка 400 Мэв, полученных на большинстве существующих синхротронов.

Полученные на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем нейтронов с энергией около 600 Мэв позволило начать систематическое изучение процессов рождения π^0 -мезонов нейтронами на нуклонах и сложных ядрах. Нами уже сообщались результаты измерения сечения образования π^0 -мезонов в $(n-p)$ -соударениях (I). К моменту окончания настоящей работы были получены более полные данные о спектре нейтронов, использовавшихся в наших опытах, а также завершены измерения дифференциальных сечений упругого $(n-p)$ -рассеяния, которое было использовано нами в работе (I) для определения абсолютной величины сечения. Появление новых данных позволяет несколько уточнить сечение $\sigma_{np}^{\pi^0}$ для эффективной энергии протонов 590 Мэв и приводит к значению $\sigma_{np}^{\pi^0} = (5,7 \pm 1,5) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$.

В настоящей работе содержатся результаты измерений полных сечений π^0 -мезонов в столкновениях нейтронов с нейтронами и дейтронами, а также данные о выходах γ -квантов от распада π^0 -мезонов, образуемых нейтронами на ядрах различных элементов.

Из указанных опытов наибольший интерес представляет изучение процесса образования π^0 -мезонов в соударениях нейтронов с нейтронами, так как эта реакция до последнего времени не была обнаружена.

2. Образование π^0 -мезонов на дейтерии

При исследовании процесса образования π^0 -мезонов на дейтерии проводились разностные опыты с мишенями из D_2O и H_2O . Контейнерами для тяжелой и обычной воды служили цилиндры из плексигласа диаметром 40 мм, длиной 40 мм и с толщиной стенок 0,5 мм. γ -кванты от распада π^0 -мезонов регистрировались, как и в (I), телескопом, расположенным под углом 90° к пучку нейтронов и составленным из сцинтилляционных счетчиков и черенковского детектора. Величина полного сечения образования π^0 -мезонов, определяемая по выходу γ -квантов под углом 90° в лабораторной системе, сравнительно слабо зависит от углового распределения π^0 -мезонов в системе центра инерции сталкивающихся нуклонов (если только в угловом распределении слабо выражены нечетные степени $\cos \theta$, где θ - угол π^0 -мезона в системе центра инерции). Поэтому при определении сечения рождения π^0 -мезонов на дейтроне $\sigma_{nd}^{\pi^0}$, а также при определении разности сечений дейтрона и водорода $\sigma_{n(d-p)}^{\pi^0}$ мы исходили из этого предположения и кроме того пренебрегали изменением углового распределения π^0 -мезонов, образующихся на связанных нуклонах дейтрона по сравнению с распределением π^0 -мезонов, образующихся при соударениях свободных нуклонов.

Вследствие того, что эффект obligatory нейтрону, связанному в дейтроне мал по сравнению с эффектами от D_2O и H_2O потребовалось большое количество времени для получения необходимой статистической точности.

В результате измерений была определена величина отношения

$$\frac{\sigma_{nd}^{\pi^0} - \sigma_{np}^{\pi^0}}{\sigma_{np}^{\pi^0}} = 0,30 \pm 0,04.$$

Это соотношение позволяет по известному сечению $\sigma_{np}^{\pi^0}$ найти разность сечений образования π^0 -мезонов в nd и np соударениях:

$$\sigma_{n(d-p)}^{\pi^0} = (1,7 \pm 0,5) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2,$$

а также определить сечение образования π^0 -мезонов в nd -соударениях:

$$\sigma_{nd}^{\pi^0} = (7,4 \pm 2,0) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

Разность $\sigma_{n(d-p)}^{\pi^0}$, если пренебречь связью нуклонов в дейтроне, представляет собой интересное нас сечение образования π^0 -мезонов в соударениях нейтронов с нейтронами $\sigma_{nn}^{\pi^0}$.

Величина эффективной энергии, соответствующая найденным сечениям, определяется спектром нейтронов и функцией возбуждения исследуемых процессов. Однако, как показывают расчеты, при данном спектре нейтронов эта величина относительно мало чувствительна к функции возбуждения. Так, например, при замене функции возбуждения $K^{3,5}$ на K^5 (где K -максимальный импульс π^0 -мезонов в системе центра инерции сталкивающихся нуклонов) эффективная энергия возрастает лишь на 3+5 Мэв. Согласно (2) функция возбуждения реакции $p+n \rightarrow \pi^0 + (p,n)$ близка к первой зависимости, а функция возбуждения реакции $p+p \rightarrow \pi^0 + p+p$ ко второй. Этот факт позволяет для

измеренных сечений образования π^0 -мезонов на дейтронах, а также на сложных ядрах, считать эффективную энергию нейтронов, как и в (1), близкой к 590 Мэв.

Как известно, в опытах, выполненных Б.Понтекорво и Г.Селивановым⁽³⁾, с нейтронами, имеющими энергию 400 Мэв, систематической разницы в интенсивностях γ -квантов от мишеней из D_2O и H_2O обнаружить не удалось; авторы дают лишь оценку верхнего предела сечения образования

$$\sigma_{\text{пр}}^{\pi^0} < 10^{-28} \text{ см}^2.$$

Сопоставление полученных нами данных с этими результатами свидетельствует об очень быстром росте вероятности образования π^0 -мезонов в pn -соударениях, подобно тому, как это имеет место в pp -соударениях. В обоих случаях это можно объяснить тем, что при переходе к более высоким энергиям начинают играть роль конечные состояния нуклонов с большими орбитальными моментами ($\ell > 0$) поэтому перестает играть роль запрет на образование π^0 -мезонов в pp и pn -соударениях, связанный с сохранением полного момента и четности при испускании псевдоскалярного π -мезона в P -состоянии, а нуклонов в S -состоянии.

Найденная нами величина $\sigma_{\text{пр}}^{\pi^0}$ совпадает в пределах ошибок с сечением образования π^0 -мезонов в pp -соударениях, равным для энергии 590 Мэв, согласно измерениям Ю.Прокошкина и А.Тяпкина $(1,8 \pm 0,4) \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ (2). Совокупность этих данных не противоречит зарядовой симметрии ядерных сил.

С другой стороны отношение сечений $\sigma_{n(d-p)}^{\pi^0} / \sigma_{np}^{\pi^0}$, измеренное нами с существенно большей точностью, чем абсолютные величины соответствующих сечений, оказалось меньше отношения $\sigma_{pp}^{\pi^0} / \sigma_{p(d-p)}^{\pi^0} = 0,41 \pm 0,08$, измеренного для энергии протонов 580 Мэв⁽²⁾. Этот факт, повидимому, свидетельствует о том, что в предположении равенства $\sigma_{pp}^{\pi^0} = \sigma_{nn}^{\pi^0}$ сечение образования π^0 -мезонов на дейтроне, меньше суммы сечений образования нейтральных мезонов на свободных протоне и нейтроне.

3. Образование π^0 -мезонов нейтронами на сложных ядрах

Аналогичным путем (также под углом 90°) был измерен относительный выход γ -квантов от распада π^0 -мезонов, образующихся в соударениях нейтронов с эффективной энергией около 590 Мэв с ядрами Be, C, Al, Cu, Sn, Pb и U. Измерения с тяжелой и обычной водой позволили также определить выход γ -квантов на ядрах дейтерия и кислорода. Количество вещества в мишенях подбиралось приблизительно одинаковым по выходу γ -квантов. Величина поглощения γ -квантов в самих образцах определялась из известных экспериментальных данных по полным сечениям поглощения γ -квантов в различных веществах⁽⁴⁾. Результаты измерений представлены в таблице I. В последней колонке таблицы для сравнения изображена функция

$$\left[(A-Z)\sigma_{nn}^{\pi^0} + Z\sigma_{np}^{\pi^0} \right] A^{-\frac{1}{3}} = A^{\frac{2}{3}} \quad (I)$$

(в относительных единицах), представляющая собой зависимость образования π^0 -мезонов от атомного веса вещества в предположении, что мезоны эффективно рождаются только на поверхностных нуклонах ядра^{х)}.

Как можно видеть, полученная экспериментальная зависимость выхода γ -квантов от атомного веса согласуется с вычисленной по формуле (I) для элементов от углерода и меди. Для самых легких ядер H, D, Be полученная зависимость выхода γ -квантов от атомного веса также мало отличается от закономерности $\sim A^{2/3}$. Для более тяжелых элементов Sn, W, Pb и U выход γ -квантов растет медленнее.

Т а б л и ц а I

Элемент	A	$\sigma_A^{\pi^0} / \sigma_C^{\pi^0}$	$\left[(A-Z)\sigma_{nn}^{\pi^0} + Z\sigma_{np}^{\pi^0} \right] A^{-\frac{1}{3}}$
H	1	0,21 ± 0,025	-
D	2	0,27 ± 0,02	-
Be	9	0,78 ± 0,04	0,77
C	12	I	I
O	16	1,2 ± 0,1	1,21
Al	27	1,61 ± 0,08	1,70
Cu	63,5	2,80 ± 0,14	2,93 2,93
Sn	119	3,8 ± 0,2	4,30
W	184	4,0 ± 0,3	5,60
Pb	207	4,2 ± 0,3	6,05
U	238	4,8 ± 0,4	6,75

х) При вычислении этой функции использовались найденные нами значения $\sigma_{nn}^{\pi^0}$ и $\sigma_{np}^{\pi^0}$.

Найденная на опыте зависимость выхода γ -квантов от атомного веса свидетельствует о том, что ρ -мезоны эффективно рождаются в основном на поверхностных нуклонах ядра. Предполагая, что мезоны образуются только на поверхности ядра, а также, что γ -кванты от распада ρ^0 -мезона движутся в том же направлении, что и π^0 -мезон и что поток нейтронов по мере прохождения ими толщи ядра, экспоненциально убывает, нами были выполнены оценки относительного выхода γ -квантов от различных элементов под углом 90° в лабораторной системе. При этом отступление от закона $A^{2/3}$ может быть удовлетворительно объяснено относительно меньшей прозрачностью тяжелых ядер для нейтронов высоких энергий по сравнению с легкими. Подобная картина взаимодействия, как указывалось авторами работы (5) качественно согласуются с их опытами, в которых определялись зависимости выхода γ -квантов от атомного веса под углами 0° и 180° для тех же ядер при бомбардировке их протонами с энергией 660 Мэв. Однако получить полное количественное согласование всех результатов с помощью сделанных нами предположений не удастся.

Л и т е р а т у р а

1. В.П.Джелепов, К.О.Сганесян, В.Б.Флягин, ЖЭТФ, т.29, 886 (1955).
2. Ю.Д.Прокошкин и А.А.Тяпкин, ЖЭТФ (в печати).
3. Б.М.Понтекорво, Г.И.Селиванов, ДАН СССР, 102; 253 (1955).
4. *De Wire Phys. Rev.* 83, 505 (1951)
5. А.А.Тяпкин, М.С.Козодаев, Ю.Д.Прокошкин, ДАН СССР, 100, 689, (1955).