

## РЕАКЦИЯ $\pi^+ + d \rightleftharpoons p + p$ И СПИН $\pi$ -МЕЗОНОВ

Изучение реакций  $\pi$ -мезонов с ядрами водорода и дейтерия привело к получению ряда интересных выводов, перечисленных ниже: 1. Спин  $\pi$ -мезонов является целочисленным. Этот вывод сделан на основании данных об образовании звёзд при захвате  $\pi$ -мезонов ядрами в фотоэмульсиях, а также из условия сохранения моментов количества движения в реакциях  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$  и  $p + h\nu \rightarrow \pi^+ + p$ . 2. Нейтральный  $\pi^0$ -мезон не может иметь спин, равный единице, ибо он распадается на два  $\gamma$ -кванта, а такой распад запрещён для системы с моментом количества движения  $\hbar$ . Надо отметить, что ещё в 1948 г. Л. Д. Ландау<sup>1</sup> указал, что из наличия реакции  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  следует, что спин  $\pi^0$ -мезона равен нулю. 3. Ввиду близости масс и сечений образования нейтральных и заряженных  $\pi$ -мезонов, а также исходя из независимости ядерных сил от заряда, естественно было предположить, что свойства  $\pi^0$ - и  $\pi^\pm$ -мезонов близки и что, в частности, спин заряженных  $\pi$ -мезонов тоже не может равняться единице. 4.  $\pi$ -мезоны не являются скалярными частицами. Этот вывод следовал из данных о захвате  $\pi^-$ -мезонов ядрами дейтерия, а также из опытов по образованию заряженных и нейтральных  $\pi$ -мезонов  $\gamma$ -квантами высокой энергии. Так, ещё в 1941 г. Е. Л. Фейнбергом<sup>2</sup> было указано, что если  $\pi^-$ -мезон захватывается ядром дейтерия с  $S$ -уравня, то реакция  $\pi^- + d \rightarrow n + p$  для скалярного мезона запрещена. На основании новых экспериментальных данных в ряде работ советских учёных были сделаны выводы о псевдоскалярности заряженных и нейтральных  $\pi$ -мезонов<sup>3, 4, 5</sup>.

До сих пор, однако, не был экспериментально определен спин заряженных  $\pi$ -мезонов и не было убедительного опровержения того, что этот спин равен или больше двух. Такое экспериментальное определение

спина  $\pi^+$ -мезонов было выполнено в этом году<sup>6, 7</sup> на основании исследований дифференциальных угловых сечений реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ . В «Успехах физических наук» уже сообщалось<sup>8</sup> о работах, посвящённых обратной реакции  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ , причём указывалось, что недостаточная определённости спектра образующихся  $\pi^+$ -мезонов вблизи максимальных значений энергии препятствовала однозначному доказательству того факта, что эта реакция идёт именно по записанной выше схеме, а не по схеме:  $p + p \rightarrow \pi^+ + p + p$ . При образовании наряду с  $\pi^+$ -мезоном дейтерона мезоны, движущиеся в направлении первичного протонного пучка, должны иметь в лабораторной системе энергию на 4 Мэв выше, чем при образовании протона и нейтрона, и в спектре мезонов должен наблюдаться резкий пик соответственно при 70 или 66 Мэв, а верхняя граница спектра должна располагаться при 74 или 70 Мэв. Использование магнитного анализатора с лучшими разрешающими свойствами, а также тщательная монохроматизация исходных

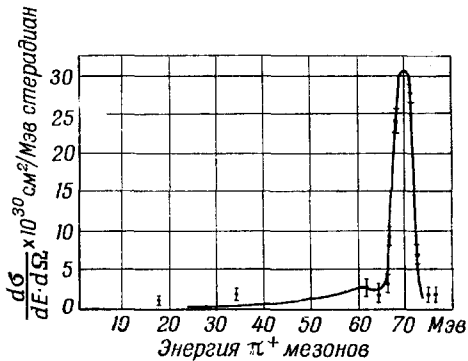


Рис. 1.

протонов привели к уточнению данных об образовании  $\pi^+$ -мезонов при  $p\text{-}p$ -взаимодействии, причём был получен изображённый на рис. 1 спектр  $\pi^+$ -мезонов, свидетельствующий о том, что реакция идёт по схеме  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ .

Спин  $\pi^+$ -мезона может быть определён из данных о «равновесии» прямой и обратной реакций  $\pi^+ + d \rightleftharpoons p + p$ , ибо, согласно теории<sup>10</sup>, соотношение дифференциальных угловых сечений прямой и обратной реакций равно:

$$\frac{d\sigma_{\pi^+ d}}{d\Omega} = \frac{4}{s} \cdot \frac{p^2}{q^2(s+1)},$$

где дифференциальные угловые сечения и импульсы протона ( $p$ ) и мезона ( $q$ ) отсчитываются в системе центра тяжести, а  $s$  — спин мезона. Приведённое соотношение совершенно независимо от мезонной теории ядерных сил, и в этом состоит большое преимущество определения спина  $\pi^+$ -мезона из этого соотношения.

Дифференциальные угловые сечения реакции  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$  были определены ранее<sup>8,9</sup>. Экспериментальное определение дифференциальных угловых сечений реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$  было выполнено почти одновременно и близкими способами в двух работах<sup>6,7</sup>.

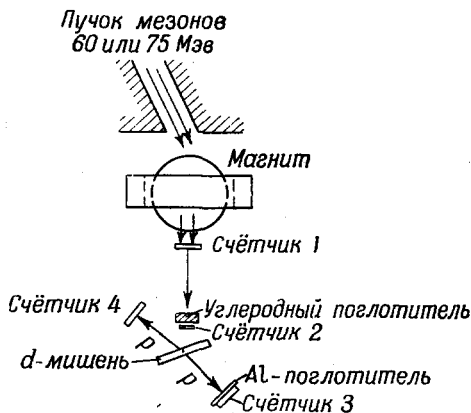


Рис. 2.

Принципиальная схема установки<sup>7</sup> изображена на рис. 2. Пучок мезонов с энергией 60—75 Мэв<sup>6</sup> или 40 Мэв<sup>7</sup> образовывался при бомбардировке протонами с энергией 380<sup>6</sup> или 240 Мэв<sup>7</sup> бериллиевой<sup>6</sup> или алюминиевой мишени<sup>7</sup>. При этом с помощью магнитного анализатора выделялись мезоны в определённом энергетическом интервале. Как показали специальные опыты<sup>7</sup>, разброс исходных мезонов по энергии мало влиял на величину дифференциального углового сечения реакции, ибо эта величина слабо зависела от энергии  $\pi^+$ -мезонов. Число мезонов определялось с помощью двух кристаллических счётчиков сцинтилляций.

(1 и 2 на рис. 2). Для уменьшения энергии мезонов использовался углеродный поглотитель. Мишень из тяжёлой воды была толщиной 2,5 г/см<sup>2</sup>, причём для проверки фона, вызванного наличием примеси водорода, проводились опыты при замене тяжёлой воды на обычную. Образующиеся при реакции два протона, разлетающихся под углом 180° в системе центра тяжести  $\pi^+ + d$ , регистрировались по счёту совпадения между двумя жидкостными счётчиками сцинтилляций<sup>6</sup> или двумя кристаллическими счётчиками<sup>7</sup> из NaJ. Перед одним из счётчиков сцинтилляций (на рис. 2 — перед счётчиком 4) размещался алюминиевый поглотитель, толщина которого была достаточной, чтобы затормозить рассеянные протоны и дейтероны, но в то же время прозрачный для протонов от реакции  $\pi^+ + d$ .

Средняя энергия  $\pi^+$ -мезонов, взаимодействовавших с ядрами дейтерия, в основных опытах была 28<sup>6</sup> или около 23 Мэв<sup>7</sup>. Эта энергия в системе центра тяжести соответствует энергии протонов 340 Мэв в обратной реакции.

После внесения поправок на геометрическую эффективность счётной системы, на примесь  $\mu$ -мезонов в исходном пучке (около 10%), на ядерное поглощение мезонов и протонов в мишени (около 7%) в работе<sup>6</sup> были получены результаты, представленные на рис. 3.

На этом же рисунке отмечены дифференциальные угловые сечения для реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ , рассчитанные из экспериментальных данных для обратной реакции, в двух предположениях относительно спина  $\pi^+$ -мезонов ( $s=0$  и  $s=1$ ). Очевидно, что результаты исследований прямой и обратной реакций согласуются только при спине  $\pi^+$ -мезона, равном нулю. К аналогичным выводам пришли и авторы<sup>7</sup>, которые вычислили из своих измерений при разных углах полное сечение реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$  и сравнивали это сечение с сечением, полученным из величины  $1,3 \cdot 10^{-28}$  см<sup>2</sup>/стерадиан для обратной реакции при угле 0°. Сравнение сечений, полученных прямо из опыта и расчётом данных для реакции  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ , в разных предположениях об угловом распределении продуктов реакции в системе центра тяжести и о спине  $\pi^+$ -мезона, приводится в таблице (см. стр. 124).

Очевидно, что и при расчёте полных сечений данные для прямой и обратной реакций согласуются только при спине  $\pi^+$ -мезона, равном нулю.

Авторы<sup>6</sup> и <sup>7</sup> указывают, что если спин  $\pi^+$ -мезона не равен нулю, то данные для прямой и обратной реакций могут согласоваться указанным

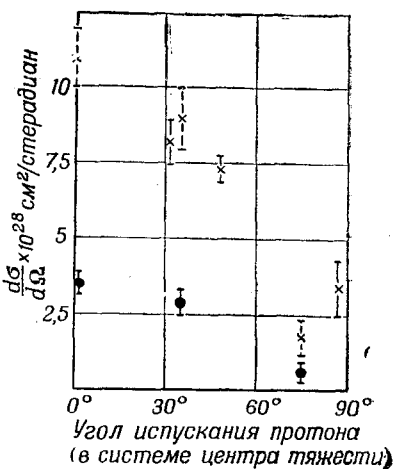


Рис. 3.

- Сечение реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$  из опыта.
- Сечение реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ , рассчитанное из данных для обратной реакции при спине 0.
- Сечение реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ , рассчитанное из данных для обратной реакции при спине 1.

Рассчитанные и измеренные сечения реакции  $\pi^+ + d \rightarrow p + p$ 

Угловое распределение	Рассчитанные сечения (в $10^{-27}$ см <sup>2</sup> )		Измеренные полные сече- ния (в $10^{-27}$ см <sup>2</sup> )
	спин $\pi^+ = 0$	спин $\pi^+ = 1$	
$\cos^2 \theta$	$2,55 \pm 0,6$	$0,85 \pm 0,2$	$5,0 \pm 0,9$
$0,1 + \cos^2 \theta$	$3,0 \pm 0,7$	$1,0 \pm 0,24$	$4,7 \pm 0,9$
$0,5 \pm \cos^2 \theta$	$4,2 \pm 1,0$	$1,4 \pm 0,35$	$4,2 \pm 0,8$
$0,2 \pm 0,1 + \cos^2 \theta$	$3,4 \pm 0,9$	$1,1 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,8$

выше способом лишь в том случае, если как  $\pi^+$ -мезоны, образующиеся при бомбардировке протонами мишеней из бериллия или алюминия, так и  $\pi^+$ -мезоны, образующиеся при реакции  $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ , являются полностью поляризованными. Однако такое объяснение является крайне маловероятным. Поэтому следует считать, что спин заряженных  $\pi$ -мезонов, подобно спину нейтральных  $\pi$ -мезонов, равен нулю.

Г. И.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Ландау, ДАН **60**, 207 (1948).
2. Е. Л. Фейнберг, Journ. of Phys. (URSS) **5**, 177 (1941).
3. А. М. Балдин и В. В. Михайлов, ЖЭТФ **20**, 1057 (1950).
4. Б. Иоффе, А. Рудик и И. Шмушкевич, ДАН **77**, 403 (1951).
5. В. Б. Берестецкий и И. Я. Померанчук, ДАН **77**, 803 (1951).
6. R. Durbin, H. Loar, J. Steinberger, Phys. Rev. **83**, 646 (1951).
7. D. Clark, A. Roberts, R. Wilson, Phys. Rev. **83**, 649 (1951).
8. УФН **42**, 571 (1950).
9. W. Cartwright, C. Richman и др., Phys. Rev. **81**, 652 (1951).
10. R. Marshak, Phys. Rev. **82**, 313 (1951).