

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

Изучение реакций π -мезонов с ядрами водорода и дейтерия привело к получению ряда интересных выводов, перечисленных ниже: 1. Спин π -мезонов является целочисленным. Этот вывод был сделан на основании данных об образовании звёзд при захвате π -мезонов ядрами в фотоэмульсиях, а также из условия сохранения моментов количества движения в реакциях $p + p \rightarrow \pi^+ + d$ и $p + h\nu \rightarrow \pi^+ + n$. 2. Нейтральный π^0 -мезон не может иметь спин, равный единице, ибо он распадается на два γ -кванта, а такой распад запрещён для системы с моментом количества движения $\hbar$. Надо отметить, что ещё в 1948 г. Л. Д. Ландау¹ указал, что из наличия реакции $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ следует, что спин π^0 -мезона равен нулю. 3. Ввиду близости масс и сечений образования нейтральных и заряженных π -мезонов, а также исходя из независимости ядерных сил от заряда, естественно было предположить, что свойства π^0 - и $\pi^\pm$ -мезонов близки и что, в частности, спин заряженных π -мезонов тоже не может равняться единице. 4. π -мезоны не являются скалярными частицами. Этот вывод следовал из данных о захвате π^- -мезонов ядрами дейтерия, а также из опытов по образованию заряженных и нейтральных π -мезонов γ -квантами высокой энергии. Так, ещё в 1941 г. Е. Л. Фейнбергом² было указано, что если π^- -мезон захватывается ядром дейтерия с S -уровня, 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 π -мезонов^{3, 4, 5}.

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

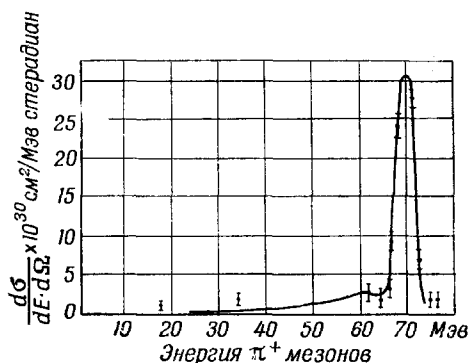


Рис. 1.

спина π^+ -мезонов было выполнено в этом году^{6, 7} на основании исследований дифференциальных угловых сечений реакции $\pi^+ + d \rightarrow p + p$. В «Успехах физических наук» уже сообщалось⁸ о работах, посвящённых обратной реакции $p + p \rightarrow \pi^+ + d$, причём указывалось, что недостаточная определённости спектра образующихся π^+ -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 π^+ -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

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

Спин π^+ -мезона может быть определён из данных о «равновесии» прямой и обратной реакций $\pi^+ + d \rightleftharpoons p + p$, ибо, согласно теории¹⁰, соотношение дифференциальных угловых сечений прямой и обратной реакций равно:

$$\frac{\frac{d\sigma_{\pi^+ d}}{d\Omega}}{\frac{d\sigma_{pp}}{d\Omega}} = \frac{4}{3} \cdot \frac{p^2}{q^2(s+1)},$$

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 π^+ -мезона из этого соотношения.

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

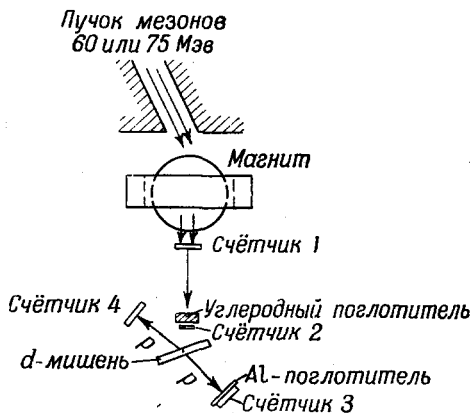


Рис. 2.

Принципиальная схема установки⁷ изображена на рис. 2. Пучок мезонов с энергией 60—75 Мэв⁶ или 40 Мэв⁷ образовывался при бомбардировке протонов с энергией 380⁶ или 240 Мэв⁷ бериллиевой⁶ или алюминиевой мишени⁷. При этом с помощью магнитного анализатора выделялись мезоны в определённом энергетическом интервале. Как показали специальные опыты⁷, разброс исходных мезонов по энергии мало влиял на величину дифференциального углового сечения реакции, ибо эта величина слабо зависела от энергии π^+ -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 $2,5 \text{ г/см}^2$, 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 совпадений между двумя жидкостными счётчиками π^+ или двумя кристаллическими счётчиками⁷ 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 π^+ -мезонов, взаимодействовавших с ядрами дейтерия, в основных опытах была 28^6 или около 23 Мэв^7 . Эта энергия в системе центра тяжести соответствует энергии протонов 340 Мэв в обратной реакции.

После внесения поправок на геометрическую эффективность счётной системы, на примесь μ -мезонов в исходном пучке (около 10%), на ядерное поглощение мезонов и протонов в мишени (около 7%) в работе⁶ 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 π^+ -мезонов ($s=0$ и $s=1$). Очевидно, что результаты исследований прямой и обратной реакций согласуются только при спине π^+ -мезона, равном нулю. К аналогичным выводам пришли и авторы⁷, 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 $1,3 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2/\text{стерadian}$ 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 π^+ -мезона, приводится в таблице (см. стр. 124).

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

Авторы⁶ и ⁷ указывают, что если спин π^+ -мезона не равен нулю, то данные для прямой и обратной реакций могут согласоваться указанным

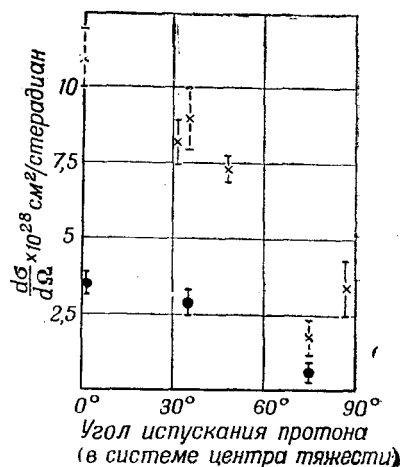


Рис. 3.

- 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 ²)		Измеренные полные сече- ния (в 10^{-27} см ²)
	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 π^+ -мезоны, образующиеся при бомбардировке протонами мишеней из бериллия или алюминия, так и π^+ -мезоны, образующиеся при реакции $p + p \rightarrow \pi^+ + d$, являются полностью поляризованными. Однако такое объяснение является крайне маловероятным. Поэтому следует считать, что спин заряженных π -мезонов, подобно спину нейтральных π -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).