

7  
Г52



В.В.Глаголев, В.Петржилка, К.Д.Толстов

P-603

ОБ ИЗОБАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ  
НУКЛОНОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ  
С БЫСТРЫМИ ЧАСТИЦАМИ

*Иссл. Физ., 1961, т. 24, к. 1, с. 126-131.*

Дубна 1960 год

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ



P-603

В.В.Глаголев, В.Петржилка, К.Д.Толстов

901/5 48-

ОБ ИЗОБАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ  
НУКЛОНОВ ПРИ СТОЛКНОВЕНИИ  
С БЫСТРЫМИ ЧАСТИЦАМИ

### А н н о т а ц и я

Проанализирован вопрос о возможном вкладе изобарных состояний, образующихся при столкновении нуклонов с импульсом 10 Бэв/с и  $\pi$ -мезонов с импульсом 7 Бэв/с с нуклонами. В обоих этих случаях энергия возбуждения в с.ц.и. одинакова.

Показано, что при изотропном распаде изобары с массой 1,24 Бэв, вклад образующихся изобарных состояний следует считать малым.

Изобарное состояние барионов, соответствующее собственной массе 1,24 Бэв, спину  $3/2$  и изотопическому спину  $3/2$ , в настоящее время обосновано рядом теоретических и экспериментальных работ. Однако малое время жизни изобары не позволяло пока непосредственно в эксперименте наблюдать нуклон в состоянии изобарного возбуждения. Опытные данные по средней множественности частиц и доли случаев с данной множественностью в неупругих столкновениях  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 7 Бэв/с и протонов с импульсом 10 Бэв/с с нуклонами согласуются с расчетами по статистической теории Ферми в предположении, что вначале энергия возбуждения идет на образование изобар и мезонов. Изучение угловых и импульсных характеристик неупругого столкновения дает сведения, анализ которых, в принципе, должен выяснить вопрос о роли изобарного состояния, так как распад изобары имеет однозначную кинематику. В соответствии с этим нами проанализированы результаты опытов по неупругому столкновению мезонов с нуклонами и протонов с нуклонами, которые изложены в работах [1] и [2].

#### А. Нуклон-нуклонные столкновения при 10 Бэв/с

В работах [3] и [3а] был теоретически рассмотрен вопрос о изобарном состоянии при столкновении с нуклонами протонов с импульсом 10 Бэв/с.

В работе [4] было проведено сравнение с опытом и сделан вывод о вкладе изобарного состояния  $\sim 20\%$ . В работе [4а] сделан вывод, что 50% р-р-столкновений при 6,2 Бэв описывается изобарной моделью. В работе [4б], анализируя взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов с энергией 4,5 Бэв с ядрами фотоэмульсии, авторы объясняют результаты на основе изобарной модели. Приближенный расчет с учетом опытных данных ранее упоминался в [5] /поперечный импульс нуклонов  $\sim 0,5$  Бэв/с/. Произведем расчет столкновения с нуклоном протона с импульсом 10 Бэв/с в предположении, что вначале образуется одна или две изобары, которые распадаются изотропно в собственной системе на нуклон и  $\pi^-$ -мезон. Рассчитаем два варианта, когда изобары имеют поперечный импульс, равный нулю или 0,5 Бэв/с.

В таблице 1 даны результаты расчета.

2 изобары			Изобара + нуклон				
$P_{\perp}$	$\Psi^*$ - угол вылета в с.ц.м.	$\Psi$ - угол вылета в л.с.	в л.с. (впер. и наз.)	$P_{\perp}$	$\Psi^*$ угол вылета изобары в с.ц.м.	$\Psi$ - угол вылета изобары в л.с.	в л.с. (впер. и наз.)
0	0	0	0,992	0	0	0	0,994
"	"	"	0,32	"	"	"	0,28
0,5	15,5°	3°	0,99	0,5 Бэв/с	13°	2,5°	0,992
"	164,5°	41°10'	0,52	"	167°	41°20'	0,60

Из таблицы 1 видно, что в лабораторной системе практически несущественна разница между случаями образования одной или двух изобар и дальнейший расчет будет проведен для двухизобарного процесса.

В собственной системе изобары скорость мезона при ее распаде равна 0,86, т.е. меньше, чем скорость изобары, вылетающей вперед в л.с., поэтому угловое распределение мезонов в л.с. от распада этих изобар будет заключено в узком переднем конусе и сравнение с опытом затруднительно. Произведем расчет углового распределения  $\pi^-$ -мезонов в л.с. от распада изобар, вылетающих в с.ц.м. в заднюю полусферу. Для случая  $P_{\perp} = 0$  при изотропии распада в собственной системе расчет сводится к нахождению функции  $\frac{d\cos\alpha^*}{d\cos\alpha}$  по обычной формуле преобразования углов, где  $\alpha^*$  и  $\alpha$  углы вылета мезона в системе изобары и в л.с. В случае  $P_{\perp} \neq 0$  изобара движется в л.с. под углом  $\Psi$  и средний угол вылета мезона в л.с.  $\bar{\alpha}$  в зависимости от угла  $\alpha^*$  для  $\alpha$  дается формулой:

$$\bar{\alpha}(\alpha^*) = \frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \arccos[\cos\Psi \cos\beta(\alpha^*) + \sin\Psi \sin\beta(\alpha^*) \sin\varphi] d\varphi,$$

где  $\beta(\alpha^*)$  - угол вылета мезона относительно движения изобары в л.с., а

$\psi$  - угол в плоскости, перпендикулярной направлению движения изобары в л.с.

Расчет  $\bar{\alpha}(\alpha^*)$  был произведен для угла  $\psi = 41^\circ$ , соответствующего  $p_{\perp} = 0,5$  Бэв/с. Угловое распределение в л.с. выражается функцией  $\frac{d\cos\alpha^*}{d\cos\bar{\alpha}}$ .

На рис. 1 даны угловые распределения  $\pi^-$ -мезонов, построенные по функции  $\frac{d\cos\alpha^*}{d\cos\alpha}$  для всех углов  $\alpha$  при распаде обеих изобар - кривая 1, и для функции  $\frac{d\cos\alpha^*}{d\cos\bar{\alpha}}$  от распада изобары, вылетающей в с.п.м. назад и для  $\bar{\alpha} \geq 41^\circ$  - кривая 2. Гистограмма, приведенная на рис.1, дает нормированное на одинаковую площадь с кривыми 1 и 2 экспериментальное угловое распределение в р-р-столкновениях для звезд с числом лучей 2 и 4, которое построено по данным работы [6]. Доля мезонов, вылетающих в л.с. в заднюю полу-сферу, равна для  $p_{\perp} = 0$  - 16%, а для  $p_{\perp} = 0,5$  Бэв/с - 12%. Опытная величина  $p_{\perp}$  по данным [6] составляет  $10,372 \pm 0,025$  Бэв/с и следовательно, соответствующая этому значению кривая углового распределения мезонов должна пройти между кривыми 1 и 2.

Опытное значение доли мезонов, вылетающих назад в л.с. равно 1,7%. Это малое значение, а также сравнение гистограммы с расчетными кривыми для углов больше  $90^\circ$  позволяют заключить, что изобарное состояние не играет существенной роли в неупругих столкновениях нуклонов. (Заметим, что при изотропном угловом распределении мезонов в с.п.м., сталкивающихся нуклонов, когда их импульс равен 0,5 Бэв/с в л.с., назад вылетает 1%.

#### б) $\pi^-$ -мезон-нуклонные столкновения при 7 Бэв/с<sup>х/</sup>

Оценим вклад изобарных состояний, образующихся при столкновении  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 7 Бэв/с с нуклонами. Для этого по экспериментальному спектру протонов (рис.2,1) восстановлен средний спектр изобар. Использовалось то обстоятельство, что при двухчастичном распаде изобары с данной энергией спектр протонов в лабораторной системе координат постоянен от  $E_{\min}^p = \gamma_{43}(E_0 - p_0\beta_{43})$  до  $E_{\max}^p = \gamma_{43}(E_0 + p_0\beta_{43})$ , где  $E_0$  и  $p_0$  энергия и импульс протона в системе изобары. Отсюда определялось среднее значение энергии протонов для каждой энергии

<sup>х/</sup> Все экспериментальные данные, используемые в этом параграфе, взяты из работы [1].

изобары  $E_p^* = \frac{E_{\min}^* + E_{\max}^*}{2}$  и строилась зависимость  $E_{\pi^+}(E_p^*)$ , по которой и восстанавливался средний спектр изобар (рис.2,2). Таким образом, мы считаем, что изобара образуется во всех случаях, даже в тех, где протону передается большой импульс, что ведет к завышению оценки.

Далее принимается, что средний угол вылета изобар такой же как у протонов

$$\bar{\theta}_{\pi^+} = \arcsin \frac{\bar{P}_L}{P} = \arcsin \frac{0.37}{1.01} = 21,5^\circ$$

При этом значении  $\bar{\theta}_{\pi^+}$ , используя энергетический спектр изобар (рис.2,2) и считая, что распад в системе изобары изотропен, авторы рассчитали угловое распределение  $\pi^+$ -мезонов от распада изобар в лабораторной системе координат (рис.3,1).

На том же рисунке нанесено экспериментальное угловое распределение  $\pi^+$ -мезонов в л.с. от столкновений  $\pi^+$ -мезонов с энергией 7 Бэв с нуклонами (рис.3,2). Оба распределения нормированы на одну площадь. Из их сравнения видно, что если в расчетном назад летит 15 % всех мезонов [расчет, проведенный для случая, когда вначале имеется один  $\pi^+$ -мезон и изобара, вылетающая под  $0^\circ$  дает 16,5% ], то в экспериментальном - 2,1%.

Заметим, что при изотропном угловом распределении  $\pi^+$ -мезонов с импульсом 0,53 Бэв/с в с.ц.к. ( $\pi^+, N$ ), получим 2%  $\pi^+$ -мезонов, вылетающих назад в л.с.

Далее была рассмотрена вероятность изобарного состояния в ( $\pi^+, N$ ) - взаимодействиях на основе случаев с идентифицированным протоном и с одним или с несколькими  $\pi^+$ -мезонами. Для этой цели была рассчитана энергия  $Q_{p,\pi^+}$  пары протона и  $\pi^+$ -мезона, рождающихся при распаде изобары. Значения  $Q_{p,\pi^+}$  были определены для всех возможных пар протон- $\pi^+$ -мезон. Всего было рассчитано 108 таких пар в 88 ( $\pi^+, N$ )-столкновениях.

Доля изобар была рассчитана из отношения числа случаев, соответствующих изобарному состоянию, к числу всех пар, умноженное на среднее число  $\bar{N}_{\pi^+} = 2,5$  всех заряженных  $\pi^+$ -мезонов в звездах с идентифицированным протоном.

Определение границ в величине  $Q_{p,\pi}$  можно провести по точности измерений импульсов  $\bar{p}_p$  и  $\bar{p}_\pi$  -  $\pm 15\%$ . В соответствии с этим  $\Delta Q_{p,\pi} \leq 25\%$  т.е.  $Q_{p,\pi}^{(I'')} = (160 \pm 40)$  Мэв в с.д.м. ( $\pi, N$ ). В этом случае доля изобарного состояния в ( $\pi, N$ ) - взаимодействиях равна 13%. Если бы ошибку при определении  $Q_{p,\pi}$  считать равной 15%, то доля изобарного состояния уменьшается до 6%.

На рис. 4 гистограмма представляет распределение  $Q_{p,\pi}$  для всех рассчитанных пар протон- $\bar{\pi}$ -мезон, а заштрихованный прямоугольник - долю изобар, соответствующую  $Q_{p,\pi}^{(I'')} = (160 \pm 40)$  Мэв.

Как видно из гистограммы, изобарная доля не выделяется заметно на фоне широкого распределения в этой части спектра.

В соответствии с приведенными сопоставлениями, аналогично нуклон-нуклонному случаю, можно заключить, что образование изобарных состояний в ( $\pi, N$ ) - взаимодействиях не дает существенного вклада.

Отметим, что в рассмотрении везде использовалась изобара с массой 1,24 Бэв. Если допустить участие изобар с большими массами, распадающимися на  $\bar{\pi}$  - мезон и нуклон, то расчетная доля мезонов, вылетающих назад, должна бы еще возрасти.

В заключение авторы выражают благодарность Н.Н.Говоруну за помощь в расчетах, коллективу авторов работы [6] за ознакомление с результатами и коллективу авторов работы [1] за полезные обсуждения.

Рукопись поступила в издательский отдел  
8 сентября 1960 года.



Л и т е р а т у р а

- [1] В.А.Беляков, Ван Шу-фень, В.В.Глаголев, Н.Далхажав, Р.М.Лебедев, Н.Н.Мельникова, В.А.Никитин, В.Петржилка, В.А.Свиридов, М.Сук, К.Д.Толстов. Неупругие взаимодействия  $\bar{K}^0$ -мезонов с нуклонами при энергии 7 Бэв. Препринт ОИЯИ № Р-530; ЖЭТФ (в печати).
- [2] Ван Шу-фень, Т.Вишки, И.М.Граменицкий, В.Г.Гришин, Н.Далхажав, Р.М.Лебедев, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий, В.Н.Стрельцов. Неупругие взаимодействия с нуклонами протонов с энергией 9 Бэв. Препринт ОИЯИ, Р-526.
- [3] И.Е.Тамм. Доклад на IX конференции по физике высоких энергий 1959 г. в Киеве.
- [3a] И.М.Дремин, Д.С.Чернавский. ЖЭТФ, т.38, 229 (1960).
- [4] Ван Шу-фень, И.М.Граменицкий, В.Г.Гришин, Н.Далхажав, Р.М.Лебедев, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий, В.Н.Стрельцов. Материалы IX конференции по физике высоких энергий в 1959 г. в г.Киеве.
- [4a] H.Winzeler et al, Nuovo Cimento, XVII, 8 (1960).
- [4b] H.N.Aly and C.M.Fisher, Nuovo Cimento, XVII, 98 (1960).
- [5] Материалы У1 сессии Ученого Совета ОИЯИ, май 1959 г. (Замечания К.Д.Толстова).
- [6] Т.Вишки, И.М.Граменицкий, З.Корбел, А.А.Номофилов, М.И.Подгорецкий, Л.Роб, В.Н.Стрельцов, Д.Тувдендорж, М.С.Хвастунов и др. Представлено на X конференцию по физике высоких энергий в 1960 г. в Рочестере.

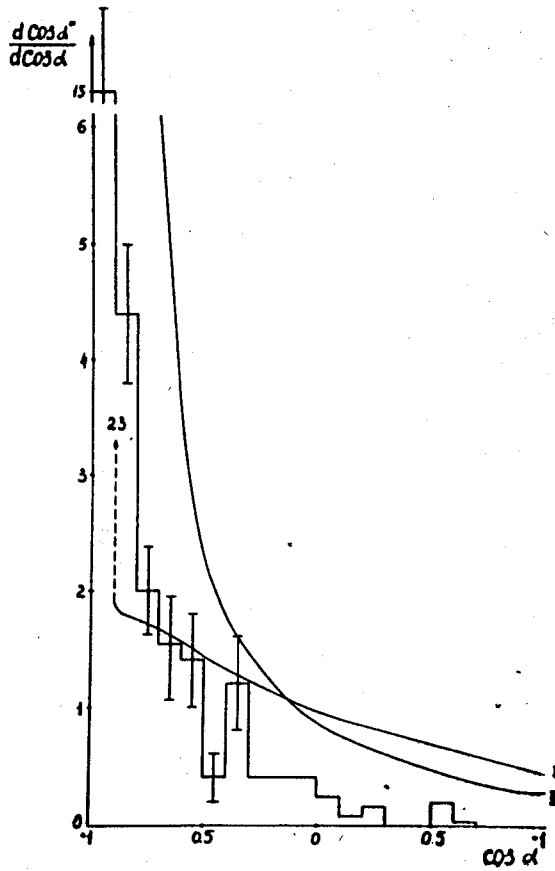


Рис. 1. Спектр  $\pi$ -мезонов в лабораторной системе для p-p-столкновений.

1 - расчетный спектр для случая  $\rho_L = 0$

11 - расчетный спектр для случая  $\rho_L = 0,5$  Бэв/с

Опытный спектр - гистограмма.

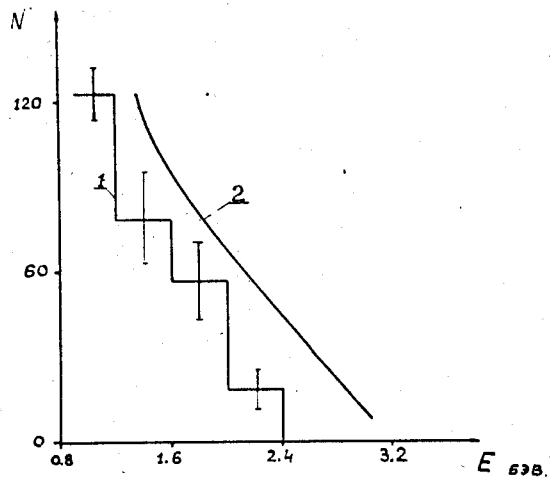


Рис. 2. 1. Экспериментальный спектр протонов в  $(\pi^+, N)$ -столкновениях.  
2. Восстановленный средний спектр изобар.

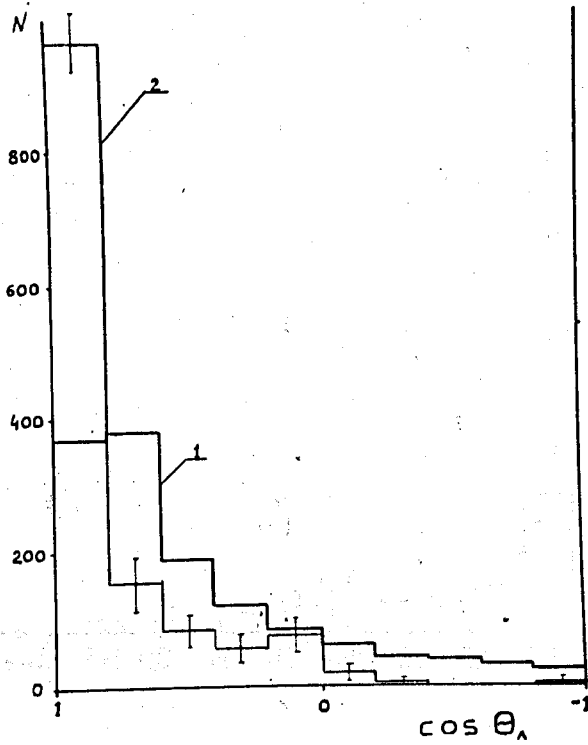


Рис. 3. 1. Расчетное угловое распределение  $\pi^-$ -мезонов от распада изобар.  
 2. Экспериментальное угловое распределение  $\pi^-$ -мезонов в  $(\bar{P}, N)$ -столкновениях.

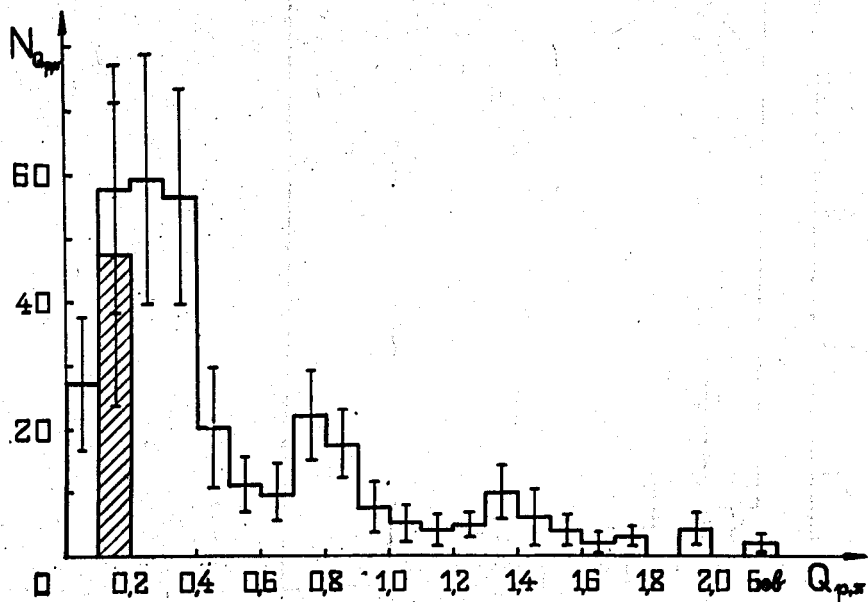


Рис. 4. Распределение  $Q_{p,\pi}$  для пар протон- $\pi$ -мезон в  $(p, N)$ -столкновениях.