3/XII-66

ЯФ, 1967, т. 6, в. 2,
с. 412-415

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р2 - 3001

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.С. Барашенков, Г.М. Зиновьев, В.М. Мальцев

СТАТИСТИЧЕСКАЯ УНИТАРНО-СИММЕТРИЧНАЯ ТЕОРИЯ АННИГИЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

1966

P2 - 3001

В.С. Барашенков, Г.М. Зиновьев, В.М. Мальцев

СТАТИСТИЧЕСКАЯ УНИТАРНО-СИММЕТРИЧНАЯ ТЕОРИЯ АННИГИЛЯЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Направлено в ЯФ

В настоящее время едва ли не единственной теорией, позволяющей рассчитывать множественное образование частиц при аннигиляционных процессах, является статистическая теория Ферми. При этом, как было показано многими авторами (см., например, работы [1-4], где приведена подробная библиография), согласие с экспериментом достигается лишь в том случае, если учитываются резонансные взаимодействия π -мезонов. Однако число возможных каналов аннигиляции в этом случае оказывается настолько большим, что вычисления становятся затруднительными даже при использовании электронно-счетных машин.

Оказывается, что расчеты можно значительно упростить, если предположить унитарную симметрию взаимодействующих частиц. Выражение для статистического веса канала, в котором рождается n частиц, будет иметь вид

$$W_n(E_0;p,q) = V_n(E_0) M_n(E_0) \frac{S_n}{G_n} U_n(p,q),$$

где V_n, M_n и S_n – соответственно, пространственный, энергетический и спиновый веса, а G_n – множитель, учитывающий тождественность рождающихся частиц, все эти множители имеют в точности тот же вид, что и в обычной теории Ферми [1-4] (E_0 – энергия сталкивающихся частиц). Множитель $U_n(p,q)$ – "унитарный вес" представляет собой число различных возможностей получить определенное SU_3 -представление (p,q), взяв прямое произведение всех синглетных n_1, октетных n_8 и декуплетных n_{10} "частиц" конечного состояния. Для каждого парциального канала реакции вес $U_n(p,q)$ можно вычислить, применяя формулы работы [5] к последовательному умножению представлений

$$\underbrace{(3,0)\otimes\cdots\otimes(3,0)}_{n_{10}}\otimes\underbrace{(1,1)\otimes\cdots\otimes(1,1)}_{n_8}\otimes\underbrace{(0,0)\otimes\cdots\otimes(0,0)}_{n_1}.$$

Полученные таким образом значения для случая аннигиляции барионов (т.е. для $N+\bar{N}$, $N+\bar{Y}$, $\bar{N}+Y$ и $Y+\bar{Y}$) приведены в таблице 1. Полный статистический вес реакции получаем суммированием весов всех допустимых состояний (p,q), через которые идет реакция

$$W_n(E_0) = \sum_{(p,q)} k^2_{(p,q)}(I, I_3, Y)\, W_n(E_0; p,q),$$

где $k_{(p,q)}(I, I_3, Y)$ – коэффициент Клебша-Гордона для искомого состояния (I, I_3, Y) в соответствующем представлении (p,q). Для практически наиболее важных случаев $p\bar{p}$ и $n\bar{p}$ – аннигиляций значения квадратов этих коэффициентов указаны в таблице II. Статистические веса каналов, в которых рождаются частицы, принадлежащие к одному и тому же SU_3 -мультиплету, различаются в этом случае лишь квадратами соответствующих коэффициентов Клебша-Гордона.

Как и в общепринятой модели, чтобы получить правильную вероятность образования пар K -мезонов, в выражение для статистического веса каналов с K -мезонными парами следует ввести множитель λ^m, где m – число рождающихся пар K -мезонов, а величина постоянной λ подбирается из сравнения с экспериментом /3/. С точки зрения SU_3 -симметрии это можно рассматривать как введение некоего нарушения симметрии, приводящего к расщеплению эффективной постоянной связи.

В таблице III сравниваются теоретические и экспериментальные данные для случая аннигиляции остановившихся антипротонов в водороде. При вычислениях учитывались синглет ϕ -мезон, псевдоскалярный и векторный октеты мезонов. Для вероятностей различных типов распада мезонов η, ρ, ω и ϕ использовались известные экспериментальные значения.

Из таблицы видно, что расчетные величины близки к экспериментальным, заметное расхождение наблюдается лишь для каналов с небольшим числом рождающихся частиц, особенно для двухчастичных каналов, где в ряде случаев вообще трудно говорить о каком-либо согласии эксперимента и теории. Для расчета таких каналов требуется какой-то более детальный подход, и этот вопрос пока остается открытым. Отметим, что в средние величины вклад каналов с небольшим числом невелик.

Приведенные в таблице III относительные вероятности вычислены при значении постоянной $\lambda = 0{,}034$, определенном из условия, чтобы полная вероятность всех каналов с K -мезонами согласовалась с ее экспериментальным значением $W_k \approx 4{,}6\%$. Это значение λ в несколько раз меньше, чем соответствующая эффективная постоянная в выражении для статистического веса, не учитывающем унитарной симметрии /3/.

Величина постоянной λ оказывается также несколько меньше, чем значение ее, определенное из сравнения с опытами по $\pi^+ p$ -взаимодействиям /7/. Возможно, это обусловлено тем, что постоянная λ в случае аннигиляции и в случае πN -взаимодействий имеет различный физический смысл: в первом случае она характеризует рождение пар $K\bar{K}$, во втором случае – образование пар YK. Впрочем, учитывая низкую точность данных по $\pi^{\pm} p$ – взаимодействиям, этому различию едва ли следует придавать сейчас серьезное значение.

В таблице IV приведены результаты для $\bar{p}p$ -аннигиляции, полученные в рамках модели кварков /8/, широко обсуждаемой в настоящее время в литературе /9/, а также соответствующие экспериментальные результаты и результаты, полученные в нашей модели. Как видно, полученные нами результаты лучше согласуются с экспериментом.

В заключение авторам приятно выразить глубокую благодарность Д.И. Блохинцеву и Б.В. Струминскому за интересное обсуждение и ценные замечания.

Литература

1. V.S. Barashenkov, Fortschr. d. Phys. 9, 29 (1961).
2. MN Kretzschmar. Ann. Rev. of Nucl. Sci. 11, 1 (1961).
3. V.S. Barashenkov, V.M. Maltsev, Huang Tzu-chang. Acta Phys.Pol.23,765(1962).
4. С.З. Беленький, В.М. Максименко, Д.И. Никишов, И.Л. Розенталь. УФН, 62,1 (1957).
5. J.G. Kurijan, D. Lurie, A.J. Macfarlane. Journ. of Math. Phys. 6, 722 (1965).
6. C. Baltay, N. Barash, P. Franzini, P. Franberger, nN. Gelfand, R. Goldberg, L. Kirsch, G. Lutjens, D. Miller, I.C. Severiens, I. Steinberger, T.H. Tan, D. Tycko, R. Plano, D. Zanello, P. Yaeger. Phys. Rev. 139, 1659 (1965); 140, 1039 (1965) ; 140, 1042 (1965); 145, 1095 (1966); 145, 1103 (1966).
7. V.S. Barashenkov, G.M. Zinovjev, V.M. Maltsev. Phys. Lett. (в печати). Препринт ОИЯИ Р-2956, Дубна 1966.
8. Z.R.Rubinstein, H.Stern. Physics Letters 21, 447 (1966).
9. Harte J., R.H. Socolow, J. Vandermeulen. Preprint CERN, 66/1109/B/TH. 697/P3 em.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 октября 1966 г.

Таблица I.

Унитарный вес $U_n(p, q)$.

(p,q) / n_8	$U_n(0,0)$	$U_n(3,0)=U_n(0,3)$	$U_n(1,1)$	$U_n(2,2)$
2	I	I	2	I
3	2	4	8	6
4	8	20	32	33
5	32	I00	I45	I80
6	I45	525	702	999
7	702	2856	3598	5570
8	3598	I5834	I9I80	32284
9	I9I80	90390	I059I0	I73766
I0	I059I0	5III79	585546	I088220

Таблица II.

Значения коэффициента $k^2_{(p,q)}(J, J_3, Y)$

представление (p, q)		(0,0)	$(I,I)_I$	$(I,I)_2$	(3,0)	(0,3)	(2,2)
$p\bar{p}$	$k^2_{(p,q)}(J=1, J_3=Y=0)$	-	3/I0	I/6	I/6	I/6	I/5
	$k^2_{(p,q)}(J=J_3=Y=0)$	I/4	I/I0	I/2	-	-	3/20
$n\bar{p}$	$k^2_{(p,q)}(J=1, J_3=-1, Y=0)$	-	3/I0	I/6	I/6	I/6	I/5

J, J_3, Y - значения полного изотопического спина, его третьей проекции и гиперзаряда

Таблица III.

Распределение по лучам и вероятность некоторых каналов $p\bar{p}$ -аннигиляции в покое (в процентах)

	Теория	Эксперимент /6/
0 лучей *)	3,9	3,2 ± 0,5
2 луча *)	50,4	42,6 ± I,I
4 луча *)	40,I	45,8 ± I,0
6 лучей *)	I,0	3,8 ± 0,2
$\bar{n}$	4,7	4,65 ± 0,I5
$\pi^+\pi^-$	I,25	0,32 ± 0,03
K^+K^-	0,II	0,II ± 0,0I
$\pi^0\rho^0$	2,I	I,4 ± 0,2
$\eta\rho^0$	3,2	0,22 ± 0,I7
$\omega\rho^0$	8,2	0,7 ± 0,3
$\pi^+\pi^-\pi^0$	6,7	7,8 ± 0,9
$\pi^+\pi^-\rho^0$	2,4	5,8 ± 0,3
$\pi^+\pi^-\omega$	3,0	3,8 ± 0,4
$\pi^+\pi^-\eta$	2,5	I,2 ± 0,3
$\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$	5,0	5,8 ± 0,3
$\pi^0\pi^+\pi^+\pi^-\pi^-$	I6,6	I8,7 ± 0,9
$3\pi^+3\pi^-\pi^0$	<I	I,6 ± 0,3

*) Без учета пар K -мезонов.

Таблица IУ.

Распределения по числу заряженных частиц, вычисленные в модели кварков /9/, в унитарно-симметричной статистической модели и наблюдаемые экспериментальные значения /6/.

	I	2	3	4	5	6	7	8
	0 лучей	$\pi^+\pi^-$	$\pi^+\pi^-\pi^0$	$\pi^+\pi^- X^0$	$2\pi^+2\pi^-$	$2\pi^+2\pi^-\pi^0$	$2\pi^+2\pi^- X^0$	6 лучей
кварки(%)	I2,9	0,0	7,4	22,3	25,6	28,5	3,I	0,I
Эксперимент (%)	3,2±0,5	0,5±0,I	7,3±0,9	34,8±I,2	5,8±0,3	I8,7±0,9	2I,3±I,I	3,8±0,2
Унитарно - симметричная статистиче - ская модель (%)	3,9	I,25	6,7	42,4	5,0	I6,8	I8,3	I