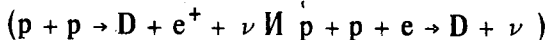


РЕАКЦИИ p - p НА СОЛНЦЕ

М.Гари

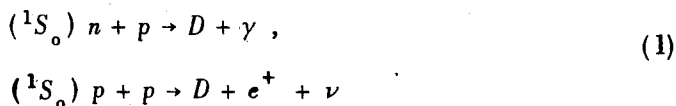
Рассмотрен вклад обменных токов в реакциях p - p на солнце. Указаны аргументы в пользу вычислений, приводящих к малым поправкам. Анализ основан на установлении связи изучаемых реакций с очень хорошо известным процессом радиационного n - p -захвата (также при тепловых энергиях). Ожидаемые поправки на обменные мезонные токи к амплитудам p - p -реакций составляют $\delta = 2 - 3\%$, что недостаточно для объяснения измеренной интенсивности потока солнечных нейтрино.

В недавней статье Андреева и соавторов [1] высказанно соображение, что вклад обменных мезонных токов в амплитуды p - p - и p - e - p -реакций на солнце может увеличивать сечение в два раза. Это противоречит результату, полученному в работе [2], где для эффекта обменных токов найдена величина 4,4%.

Поскольку сечение p - p -реакций является критическим параметром для оценки выхода солнечных нейтрино, представляется необходимым обсудить этот вопрос дополнительно. Соображение о возможном увеличении сечения основано, главным образом, на том, что не известно поведение волновых функций дейтрона и системы p - p на малых межнуклонных расстояниях. Ниже мы увидим, однако, что имеются ограничения

на значения волновых функций в области малых расстояний, опирающиеся на измеренное с высокой точностью сечение весьма схожего процесса радиационного n - p -захвата ($n + p \rightarrow D + \gamma$). (Долгое время эта реакция оставалась загадочной, однако, теперь она объяснена вполне удовлетворительно (см. [3, 4]).

Рассмотрим два процесса



при одной и той же энергии (см. по поводу деталей [5]). Как видно из (1) обе реакции являются переходами ${}^1S_0 \rightarrow {}^3S_1 + D_1^3$. Одночастичные и двухчастичные (отвечающие обменным токам) операторы могут быть записаны следующим образом

$$\begin{aligned} O_1 &= \frac{G}{2} (\tau_1 - \tau_2)^\alpha (\vec{\sigma}_1 - \vec{\sigma}_2), \\ O_2 &= \frac{G}{2} \{ [(\vec{\sigma}_1 \times \vec{\sigma}_2) q_I + T_{12}^{(\pi)} g_{II}] (\tau_1 \times \tau_2)^\alpha + \\ &+ [(\vec{\sigma}_1 - \vec{\sigma}_2)(h_I + h_{II}^r p_{12}^r + h_I^\sigma p_{12}^\sigma) + \\ &+ T_{12}^{(\pi)}(h_{III} + h_{II}^r p_{12}^r + h_{II}^\sigma p_{12}^\sigma)] (\vec{\tau}_1 - \vec{\tau}_2)^\alpha \}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для магнитного дипольного перехода имеем

$$G = \mu_B, \quad \alpha = Z.$$

Аналогично для гаммов-теллеровских переходов

$$G = -g_A, \quad \alpha = \pm (\text{т. е. } \tau^\pm = \tau_1 \pm i\tau_2),$$

$g_I \cdot g_{II} \cdot n_I \cdot n_{II}$ — величины, определяемые вкладом эффектов мезонного обмена. Мы подчеркиваем существенную связь между операторами как одночастичными, так и двухчастичными магнитного дипольного и гамма-теллеровского переходов.

Внимательный анализ с учетом мезон-нуклонных формфакторов и поправок на обмен тяжелыми мезонами дает для сечения радиационного n - p -захвата поправку на обменные токи в пределах от 10,1% до 10,8%. Эксперимент ($\sigma_{\text{exp}} = 334,2 \pm 0,5$ мВ) требует поправки 10,55%. Таким образом, наблюдаемое сечение объясняется с точностью до 1%! Такой же подход дает для мезонных эффектов в p - p -реакциях поправку к сечению около 5%.

Если мы хотели бы изменить волновые функции в системе p - p , мы должны были бы сделать то же самое в случае n - p . Поэтому сильно увеличивая сечение p - p -реакций, мы в такой же мере изменим и сечение радиационного n - p -захвата, что приведет к противоречию с экспериментальными данными. Разумеется, можно всегда предположить, что волновые функции систем p - p и n - p на очень малых расстояниях не имеют между собой ничего общего, однако это представляется весьма сомнительным.

В заключение следует заметить, что возможность трактовать p - p -реакции как упомянутый выше магнитный дипольный переход является действительно счастливым обстоятельством, поскольку этот переход, по видимому, является одним из лучше всего понятых в ядерной физике.

Наш анализ дает

$$\delta = \frac{\langle D + e^+ + \nu | O_1 | pp \rangle}{\langle D + e^+ + \nu | O_2 | pp \rangle} = 2 - 3\%.$$

Более подробное освещение вопроса содержится в ссылке [5].

Институт теоретической физики
Рур-университет, Бохум

Поступила в редакцию
2 мая 1978 г.

Химический институт
им. Макса Планка
Отдел ядерной физики, Майнц, ФРГ

Литература

- [1] Ю.М. Андреев, Э.В. Бугаев, Ю.С. Копысов. Письма в ЖЭТФ, 25, 593, 1977.
- [2] M.Gari, A.H.Huffman. Ap. J., 178, 543, 1972.
- [3] D.O.Riska, G.E.Brown. Phys. Lett., 38B, 193, 1972.
- [4] M.Gari, A.H.Huffman. Phys. Rev., C7, 994, 1973.
- [5] M.Gari. The Solar p - p reaction — a well known quantity?, Proceedings of the Solar neutrino conference, Brookhaven National Lab. USA, Jan. 5 — 7 1978, G.Friedlander to be published.