

СИЛОВАЯ ФУНКЦИЯ ГЕРМАНИЯ-71 И ПРОБЛЕМА $\nu_e \leftrightarrow \tilde{\nu}_e$ ОСЦИЛЛАЦИЙ

*А.А.Боровой, Ю.С.Лютостанский, И.В.Панов,
С.Х.Хакимов, Н.Б.Шульгина*

Рассчитаны силовая функция и сечение реакции $^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ga}$. В применении к исследованию $\nu_e \leftrightarrow \tilde{\nu}_e$ -осцилляций показано, что учет переходов в возбужденные состояния ^{71}Ge приводит приблизительно к двукратному увеличению полного сечения по сравнению с сечением перехода между основными состояниями ^{71}Ga и ^{71}Ge .

В работе ¹ был предложен эксперимент по исследованию различия ν_e и $\tilde{\nu}_e$. Идея его состоит в том, чтобы в потоке $\tilde{\nu}_e$ и от мощного ядерного реактора попытаться обнаружить процесс



Хотя в последние годы точность опытов по поиску $2\beta(0\nu)$ распада, также направленных на изучение различия ν_e и $\tilde{\nu}_e$, значительно возросла, исследование реакции (1) может дать новую и независимую информацию особенно в области $\nu_e \leftrightarrow \tilde{\nu}_e$ осцилляций.

Степень перекрытия состояний ν_e и $\tilde{\nu}_e$ обычно характеризуется величиной $\alpha^2 = \frac{\sigma_{\text{эксп}}}{\sigma_{\text{расч}}} \equiv \frac{\sigma_{\text{расч}}}{\sigma_e}$, т. е. отношением измеренного сечения реакции (1) к рассчитанному в предположении $\tilde{\nu}_e \equiv \nu_e$ (см., например, работу ¹⁴).

В работе ¹ $\sigma_{\text{расч}}$ было получено для перехода на основное состояние ^{71}Ge . В настоящей работе на основе расчета силовой функции оценивается полная величина $\sigma_{\text{расч}}$ с учетом возбужденных состояний ядра германия-71.

Сечение реакции (1) $\sigma(E_\nu)$ дается выражением

$$\sigma(E_\nu) = \frac{g_A^2}{\pi c^3 h^4} \int_0^{E_\nu - Q} p_e E_e F(Z, E_e) S_\beta(E') dE' , \quad (2)$$

где g_A – аксиально-векторная константа взаимодействия, p_e и E_e – импульс и энергия электрона, $F(Z, E_e)$ – функция Ферми, Q – пороговая энергия, $S_\beta(E')$ – силовая функция, определяемая как приведенная вероятность перехода на единицу энергии и $E_e = E_\nu - Q - E' + m_e c^2$. В формуле (2) все члены кроме силовой функции известны с достаточной точностью. Что касается силовой функции, то в литературе существуют примеры ее расчета в рамках различных моделей ^{2, 3}. В настоящей работе силовая функция рассчитывалась с использованием теории конечных ферми-систем ⁴. Решалась задача на собственные функции φ и собственные значения ω для эффективного β - поля с учетом только раз-

решенных переходов. Использовалось локальное $\vec{\tau}_1 \vec{\tau}_2$ и $\vec{\tau}_1 \vec{\tau}_2 \vec{\sigma}_1 \vec{\sigma}_2$ квазичастичное взаимодействие, параметризованное константами f'_0 и g'_0 . В расчете использовалось отношение $g'_0/f'_0 = 0,93$, полученное в⁵ из обработки экспериментальных данных по гамов-теллеровскому резонансу (ГТР). Решения ω давали спектр изобарических состояний (ИС) в широком интервале от основного состояния (ОС) до ГТР. Вычеты φ определяли матричные элементы перехода из ОС ⁷¹Ga в возбужденные ИС ⁷¹Ge.

При построении силовой функции $S_\beta(E)$ учитывалась фрагментация высоколежащих ИС за счет влияния многочастичных конфигураций, что эффективно приводит к их уширению, которое рассчитывалось по формуле Брейта – Вигнера, как в⁶. Ширина, согласно⁴, выбиралась в виде

$$\Gamma(E') = \alpha(E')^2 + \beta(E')^3 + \dots , \quad (3)$$

В расчетах $S_\beta(E)$ достаточно взять только первый член разложения с $\alpha \approx \epsilon_F^{-1}$, учитываяший влияние трехквазичастичных конфигураций. В настоящей работе использовалось $\alpha = 0,018$, полученное из усредненных экспериментальных ширин ГТР⁷. Описанная методика расчета S_β использовалась ранее при прогнозировании структуры $S_\beta(E)$ изотопов рубидия⁶ и вероятности эмиссии нескольких запаздывающих нейтронов для ряда ядер⁸. Эти прогнозы были подтверждены впоследствии экспериментально.

Результаты расчета S_β для ^{71}Ge представлены на рис. 1. В структуре силовой функции четко выделяются три изобарических состояния с энергиями $E_1 = 1 - 2 \text{ МэВ}$, $E_2 = 4 - 5 \text{ МэВ}$, $E_3 = 10 - 11 \text{ МэВ}$, два из которых с энергиями E_3 и E_2 – это ГТР и коллективное ИС типа поляризации остова⁵. Для описания основного и первых двух возбужденных состояний использовались известные оценки, как и в^{2, 3}.

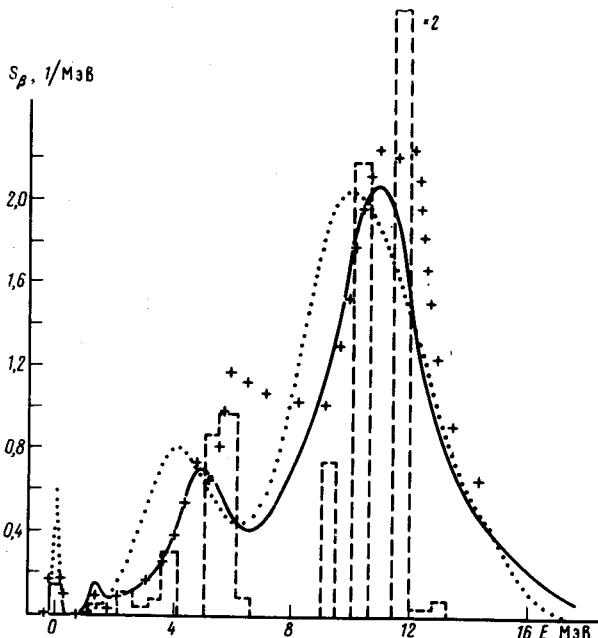


Рис. 1. Силовая функция ^{71}Ge ($q = 0,5$)

Для определения степени чувствительности сечения $\sigma(E_\nu)$ к выбору силовой функции были также проведены расчеты с силовыми функциями² и³. Все силовые функции ГТ переходов были нормированы на $3(N - Z)/2$, т. е. считалось, что "quenching" равен 0,5. Результаты расчетов с этими силовыми функциями приведены на рис. 2.

Полное сечение взаимодействия получим, свернув $\sigma(E_\nu)$ со спектром реакторных антineйтрино (в предположении, что $\nu_e \equiv \tilde{\nu}_e$). Существует несколько вариантов экспериментальных^{9,10} и теоретических^{11,12} спектров реакторных антineйтрино. Авторы провели расчеты для всех перечисленных выше вариантов, определив тем самым чувствительность сече-

ния к изменению спектра антинейтрино. В отличие от хлор-argonового, галий-германиевый детектор имеет низкий порог чувствительности (235,7 кэВ) и неопределенность низкоэнергетического участка спектра антинейтрино должна сказываться на результате. Для оценки влияния этого фактора проводилось варьирование низкоэнергетической части спектра в пределах от 0 до двух $\tilde{\nu}_e$ /МэВ.

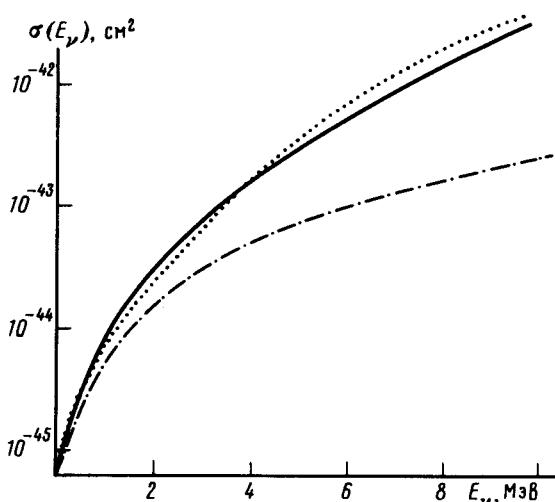


Рис. 2. Сечение реакции ${}^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-) {}^{71}\text{Ge}$ как функция энергии нейтрино:
— расчет с силовой функцией авторов;
··· ··· — расчет с силовой функцией ²;
- - - - сечение перехода между основными состояниями ${}^{71}\text{Ga}_{qs} \rightarrow {}^{71}\text{Ge}_{qs}$

Результаты расчетов показали, что величина полного сечения не слишком сильно зависит как от вида используемой силовой функции, так и от типа спектра реакторных антинейтрино и его начального участка, за исключением теоретического спектра ¹². Величина сечения колеблется от $71,3 \cdot 10^{-45}$ см²/деление для силовой функции ² и спектра ¹⁰ до $91,5 \cdot 10^{-45}$ см²/деление для силовой функции авторов и спектра ⁹. Это различие связано, главным образом, с наличием пика при энергии 1,31 МэВ в силовой функции авторов и отсутствием такого в силовой функции ². Отношение полного сечения к сечению перехода в основное состояние также варьирует в пределах 25% от 2,1 до 2,6, а основной вклад в эту величину дает пик силовой функции в диапазоне 4 – 5 МэВ. Зависимость сечения от константы спин-изоспинового взаимодействия g'_0 оказалась слабой: 10%-ному изменению g'_0 соответствует 3%-ное изменение полного сечения.

Авторы благодарят Ю.В.Галонова за полезное обсуждение.

Литература

- Барabanov I.P., Боровой A.A., Гаврин B.H. и др. Препринт ИЯИ, П-0466, 1986.
- Mathews G.J., Bloom S.D., Fuller G.M., Bahcall J.N. Phys. Rev. C, 1985, 32, № 3.
- Klapdor H.V., Grotz K. MPI-1985 -V9.
- Мигдал А.Б. Теория конечных ферми-систем. М.: Наука, 1983.
- Галонов Ю.В., Лютостанский Ю.С. ЭЧАЯ, 1981, 12, 1324.
- Ljutostansky Yu.S., Panov I.V. Z. Phys., 1983, A313, 235.
- Ljutostansky Yu.S., Sirotkin V.K., Panov I.V. Phys. Lett., 1985, 161B, 9.
- Aleksankin V.G., Ljutostansky Yu.S., Sirotkin V.K. Neutron Physics, 3, p. 124 – 128, Moscow 1980.
- Vogel P. et al. Phys. Rev. C, 1981, 24, 1543.
- Klapdor H.V., Metzinger J. Phys. Lett., 1982, 112B, 22.
- Avignone F.T. Phys. Rev. D, 1970, 2, 2609.
- Avignone F.T., Greenwood Z.D. Phys. Rev. C, 1980, 22, 594.
- Kroscheck D. et al. Phys. Rev. Lett., 1985, 55.
- Bahcall J.N., Primakoff H. Phys. Rev. D, 1978, 18, 3463.

Поступила в редакцию
16 апреля 1987 г.