

## ИЗМЕРЕНИЕ БЕТА-СПЕКТРА ОСКОЛКОВ ДЕЛЕНИЯ $^{235}\text{U}$ И ПРОБЛЕМА СПЕКТРОВ РЕАКТОРНЫХ $\tilde{\nu}_e$

*А.А.Боровой, В.И.Копейкин, Л.А.Микаэлли*

Приводятся результаты измерения бета-спектров продуктов деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами. Обсуждается противоречивая ситуация, возникающая при сопоставлении расчетных спектров  $\beta^-$  и  $\tilde{\nu}_e$  с экспериментальными спектрами  $\beta^-$  и спектрами  $\tilde{\nu}_e$ , полученными в нейтринных экспериментах на ядерных реакторах.

Знание спектров реакторных  $\tilde{\nu}_e$  необходимо, как известно, для фундаментальных исследований на ядерных реакторах, а также в связи с проблемами нейтринной диагностики внутриреакторных процессов [1]. Интерес к ним в последнее время резко возрос в связи с ведущимися [2, 3] и готовящимися [4] поисками осцилляций Понтекорво [5].

На протяжении ряда лет две группы – американская (AG) и советская занимались расчетами спектров  $\tilde{\nu}_e$ , используя выходы и схемы распадов осколков деления; в последнее время к ним присоединилась новая группа в США (DV). Новейшие данные этих групп опубликованы в работах 1978 – 1980 г. [6 – 8].

Несмотря на то, что авторы пользуются малоразличающимися массивами данных о продуктах деления, их результаты не совпадают друг с другом. Основные различия связаны, по-видимому, с тем обстоятельством, что около 30% схем распада, а также выходы некоторых осколков не известны и авторам приходится делать относительно них различные гипотезы.

В этих условиях все данные вызывают определенные сомнения и для выяснения истины требуется дополнительный критерий. Таким критерием служит степень совпадения расчетных спектров  $\beta^-$ -электронов, получаемых одновременно со спектром  $\tilde{\nu}_e$ , с  $\beta^-$ -спектрами осколков деления, полученных экспериментально.

За последние десять лет появилась только одна работа, посвященная измерениям  $\beta^-$ -спектров осколков деления  $^{235}\text{U}$  [9]. Поэтому мы предприняли новые измерения спектров электронов, возникающих при делении  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами. Мы не обсуждаем методические вопросы, так как сейчас нас интересует только сравнение  $\beta^-$ -спектров, полученных расчетным и экспериментальным путем и сравнение соответствующих им спектров  $\tilde{\nu}_e$ .

Результаты – расчетные и экспериментальные по  $\beta^-$ -спектрам представлены на рис. 1. За единицу приняты расчетные значения советской группы [7]. Из рис. 1 видно, что наши данные в области энергий 1,5 + 7 МэВ хорошо согласуются как с экспериментом [9], так и с расчетами советской и американской (AG) групп.

Расчетный спектр группы (DV) лежит ниже и расхождения увеличиваются с ростом энергии. В области энергий выше 7 МэВ увеличивают-

ся ошибки и различие между всеми спектрами, однако сейчас это не имеет большого значения из-за малого вклада этой области в сечения.

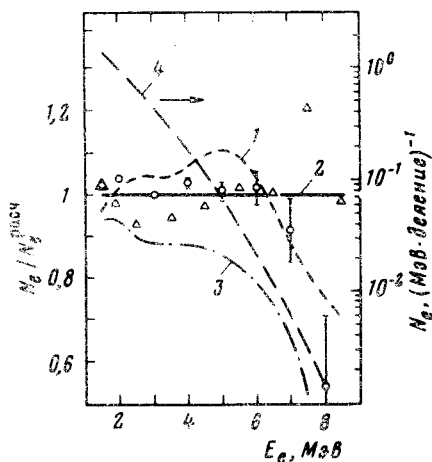


Рис. 1. Отношение спектров электронов от осколков деления  $^{235}\text{U}$  расчетных (кривые) и экспериментальных (точки) работ к данным работы [7]. Кривые: 1 – работа (AG) [6], 2 – [7], 3 – (DV) [8]. Точки:  $\circ$  – настоящая работа,  $\Delta$  – [9], 4 – спектр электронов от осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами [7]

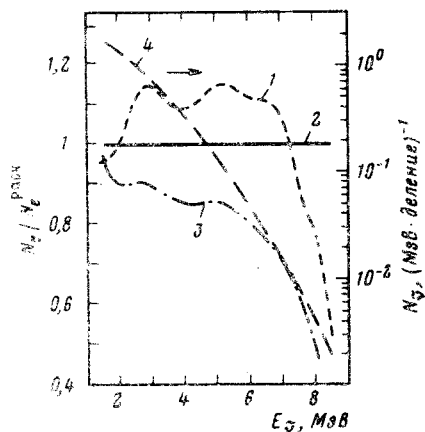


Рис. 2. Отношение спектров антинейтрино от осколков деления  $^{235}\text{U}$  к данным работы [7]; кривые 1 – работа (AG) [6], 2 – [7], 3 – (DV) [8], 4 – спектр антинейтрино от осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами [7]

Качественно такая же картина наблюдается и в спектрах  $\tilde{\nu}_e$ , показанных на рис. 2: спектр, представленный группой (DV), существенно мягче.

Исходя из приведенного обсуждения мы приходим к выводу, что в значимой области энергий  $\tilde{\nu}_e$  (до 7 МэВ) для расчетов ожидаемых эффектов следует пользоваться данными работ [6] и [7].

Обратимся теперь к результатам изучения реакции



на реакторах.

В работе [10] была проанализирована ситуация с работой Незрика и Райнеса [11] и показано, что ожидаемое сечение, подсчитанное по

спектрам советской группы ( $1,27 \cdot 10^{-43} \text{ см}^2$ ) лежит выше экспериментального ( $0,94 \pm 0,13$ )  $\cdot 10^{-43} \text{ см}^2$  приблизительно на 35%.

В конце 1980 г. опубликован спектр  $e^+$  реакции (1), полученный в Гренобле [2] в эксперименте, направленном на поиск осцилляций Понтекорво. Этот спектр, а также полное сечение, в пределах ошибок совпадает с расчетным спектром  $\tilde{\nu}_e$  группы (DV) и на 30 + 40 процентов ниже того, что можно ждать на основе спектров [6] и [7].

Таким образом, обсуждаемые данные плохо согласуются друг с другом. С одной стороны, расчеты советской и американской (AG) групп удовлетворительно подтверждаются измерениями  $\beta^-$ -спектров осколков и не подтверждаются данными реакторных экспериментов, а с другой стороны расчеты американской (DV) группы подтверждаются реакторным экспериментом в Гренобле и противоречат экспериментальным  $\beta^-$ -спектрам осколков.

Авторы эксперимента в Гренобле с некоторыми оговорками считают, что спектры  $\tilde{\nu}_e$  американской (DV) группы предпочтительнее других и приходят к выводу, что их результаты не противоречат отсутствию осцилляций Понтекорво (на расстоянии 8,7 м от реактора). Мы хотим обратить внимание на то, что возможна и другая точка зрения. Если приведенные выше данные не содержат неучтенных ошибок, то экспериментальная ситуация не противоречит тому, что а) спектры  $\tilde{\nu}_e$ , приводимые советской и американской (AG) группой близки к истинным; б) имеют место осцилляции Понтекорво, которые не разрешаются в наблюдаемом спектре  $e^+$  в реакторном эксперименте, но проявляются в уменьшении полного сечения.

Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию  
9 марта 1981 г.

## Литература

- [1] А.А.Боровой, Л.А.Микаэлян. АЭ, **44**, 508, 1978.
- [2] F. Boehm, J.F. Cavaignac et. al. Phys. Lett., **97B**, 310, 1980.
- [3] F. Reines, H.W. Sobel, E. Pasierb. Phys. Rev. Lett., **45**, 1307, 1980.
- [4] А.А.Боровой, С.Н.Кетов, Л.А.Микаэлян, А.В.Перфилов, А.Н.Херувимов. Препринт ИАЭ-3317/2, 1980.
- [5] С.М.Биленький, Б.М.Понтекорво. УФН, **123**, 181, 1977.
- [6] F.T. Avignone III, Z.D. Greenwood. Phys. Rev., **C22**, 594, 1980.
- [7] В.И.Копейкин. ЯФ, **32**, 1203, 1980.
- [8] B.R. Davis, P. Vogel et al. Phys. Rev., **C19**, 2259, 1978.
- [9] N. Tsoulfanidis, B.W. Wehring, M.E. Wyman. Nucl. Sci. Eng., **43**, 42, 1971.
- [10] А.А.Боровой, С.Н.Кетов, В.И.Копейкин, А.Н.Херувимов, К.Д.Школьник. ЯФ, **30**, 149, 1979.
- [11] F.A. Nezrick, F. Reines. Phys. Rev., **142**, 852, 1966.