



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

2331/82

12/4-8

P6-82-108

Ц.Вылов, В.М.Горожанкин, К.Я.Громов,  
А.И.Иванов, И.Ф.Учеваткин, В.Г.Чумин

К ВОПРОСУ О ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИИ ЭНЕРГИИ  
СВЯЗИ ДЕЙТРОНА

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

Результаты измерения энергии связи дейтрона  $\epsilon_D$  и уточнения разности масс нейтрона и атома водорода ( $n - {}^1\text{H}$ ) опубликованы нами в 1978 г.<sup>/1/</sup> Эксперимент проводился по общепринятой схеме измерения энергий гамма-квантов  $E_D$  в реакции захвата тепловых нейтронов водородом, но впервые с применением пика полного поглощения в  $\text{Ge(Li)}$ -детекторе. Для градуировки спектрометра была использована система нормалей энергии гамма-лучей<sup>/2/</sup>, основанная на

$$E_{\gamma}(411,8 - {}^{198}\text{Hg}) = 411,794 \pm 0,007 \text{ кэВ} \quad /3/$$

Полученное значение

$$\epsilon_D = 2224,572 \pm 0,040 \text{ кэВ} \quad /2/$$

отличалось от наиболее точного<sup>/4/</sup> на величину  $/95 \pm 20/$  эВ. Эту расходимость мы объяснили влиянием "эффекта поля" при использовании пика двойного вылета аннигиляционных квантов из  $\text{Ge(Li)}$  детектора.

Позже были опубликованы результаты новых экспериментов:

$$\epsilon_D = 2224,564 \pm 0,017 \text{ кэВ} \quad /5/$$

$$\epsilon_D = 2224,575 \pm 0,009 \text{ кэВ} \quad /4/$$

Эти измерения выполнены относительно нормалей<sup>/7/</sup>, которые создавались в предположении

$$E(411,8 - {}^{198}\text{Hg}) = 411,8044 \pm 0,0011 \text{ кэВ} \quad /8/ \quad /5/$$

Формальный пересчет /2/ с учетом /5/ дает

$$\epsilon_D = 2224,628 \pm 0,016 \text{ кэВ} \quad /6/$$

Налицо расходимость результатов за пределами погрешностей, которую в работе<sup>/5/</sup> авторы объясняли возможным вкладом "эффекта поля" при измерении энергий  $\gamma$ -лучей в условиях неточечной геометрии.

В наших экспериментах, однако, условия измерений выбраны так, что в пределах погрешностей "эффект поля" не наблюдался. Причины же расхождения связаны со систематической расходимостью значений нормалей энергии, полученных в<sup>/2/</sup> и<sup>/7/</sup>, которая при  $E_{\gamma} \sim 2223,2$  кэВ равна 55 эВ /см. рис.49 в<sup>/2/</sup> /. Напомним, что градуировку спектрометра по энергии мы проводим на основе 6

нормалей <sup>/2/</sup> и при измерении  $E_D$  были использованы нормали в области  $E_\gamma \sim 1,3-2,6$  МэВ.

Для более точного сравнения наших данных <sup>/1/</sup> и результатов новых экспериментов <sup>/5,6/</sup> естественно провести градуировку с применением общей системы нормалей. Реально это можно сделать на базе данных <sup>/7/</sup>. Обработка результатов 10 измерений <sup>/1/</sup> в этом случае дает:

$$E_D = 2224,567 \pm 0,012 \text{ кэВ} \quad /7/$$

$/ a_1 = 0,008 \text{ кэВ}; a_2 = 0,010 \text{ кэВ}; a_3 = 0,004 \text{ кэВ}; a_4 = 0,006 \text{ кэВ}/$ , что прекрасно согласуется с <sup>/3/</sup> и <sup>/4/</sup>.

Учитывая фундаментальность величины  $E_D$ , мы провели новую серию из 5 экспериментов в тех же геометрических условиях, что и в <sup>/1/</sup>, но с использованием более качественного Ge(Li) детектора с двумя открытыми торцами фирмы "ORTEC" /объем - 100 см<sup>3</sup>, энергетическое разрешение при  $E_\gamma \sim 1,3$  МэВ - 1,9 кэВ, отношение пик/комpton при  $E_\gamma \sim 1,3$  МэВ - 35:1, эффективность - 15%. Полученное значение равно

$$E_D = 2224,561 \pm 0,010 \text{ кэВ} \quad /8/$$

$/ a_1 = 0,007 \text{ кэВ}; a_2 = 0,001 \text{ кэВ}; a_3 = 0,004 \text{ кэВ}; a_4 = 0,006 \text{ кэВ}/$ .

Таким образом, результатом всех наших экспериментов по измерению энергии связи дейтрона следует считать:

$$E_D = 2224,563 \pm 0,009 \text{ кэВ} \quad /9/$$

$/ a_1 = 0,005 \text{ кэВ}; a_2 = 0,005 \text{ кэВ}; a_3 = 0,004 \text{ кэВ}; a_4 = 0,006 \text{ кэВ}/$ . Средневзвешенное значение по имеющимся в настоящее время измерениям <sup>/3/</sup>, <sup>/4/</sup> и <sup>/9/</sup> равно:

$$E_D = 2224,568 \pm 0,008 \text{ кэВ} \quad /10/$$

$/ a_1 = 0,004 \text{ кэВ}; a_2 = 0,004 \text{ кэВ}; a_3 = 0,004 \text{ кэВ}; a_4 = 0,006 \text{ кэВ}/$ .

С учетом <sup>/10/</sup> разность масс нейтрона и атома водорода, определяемая по формуле

$$n - {}^1\text{H} = E_D - ({}^1\text{H}_2 - {}^2\text{H}), \quad /11/$$

равна

$$n - {}^1\text{H} = 782,336 \pm 0,007 \text{ кэВ}. \quad /12/$$

Формулу <sup>/11/</sup> можно переписать и иначе:

$$n - 1 = E_D - ({}^1\text{H}_2 - {}^2\text{H}) + ({}^1\text{H} - 1), \quad /13/$$

где  $(n-1)$  в масс-спектрологии называют "превышением" массы нейтрона. Воспользовавшись значениями  $({}^1\text{H}_2 - {}^2\text{H})$  и  $({}^1\text{H} - 1)$  из работы <sup>/9/</sup>, получаем

$$n - 1 = 8071,370 \pm 0,024 \text{ кэВ}, \quad /14/$$

или

$$n - 1 = 8664,902 \pm 0,013 \cdot 10^{-6} \text{ а.е.м.} \quad /15/$$

При вычислении погрешностей  $(n - {}^1\text{H})$  и  $(n-1)$  использована вариант-ковариантная матрица, рассчитанная в работе <sup>/5/</sup> /табл.3<sup>/5/</sup> / для смешанных уравнений масса - длина волны. Таким образом, относительная погрешность определения массы нейтрона в а.е.м. равна 0,015 ppm, рекомендованная же величина массы нейтрона в <sup>/11/</sup> имеет погрешность 0,037 ppm.

В заключение хотелось бы отметить следующее:

1. Имеющиеся в настоящее время данные о значении энергии связи дейтрона согласуются между собой и позволяют увеличить более чем в 2 раза относительную точность оценки массы нейтрона. Не следует, однако, забывать, что значение  $E_D$  получено в относительных измерениях энергий  $\gamma$ -лучей и, следовательно, существенным становится вопрос о нормалях энергий  $\gamma$ -лучей.

2. Новое значение энергии <sup>/411,8-<sup>198</sup>Hg</sup> <sup>/8/</sup> получено только в одной лаборатории. Очевидна необходимость повторения этого измерения.

3. Значительные успехи в разработке кристалл-дифракционных гамма-спектрометров /КДГС/ дают возможность для создания более точного и внутренне согласованного набора нормалей, но в основном в области энергий меньше 600 кэВ. Между тем область радиоактивного распада простирается до 5 МэВ, и это приводит к необходимости использования различных косвенных методов при создании набора нормалей энергий с требуемой точностью. Эта процедура неоднозначна и требует независимых экспериментов в различных лабораториях. Напомним, что именно из-за такой неоднозначности результаты <sup>/3/</sup>, <sup>/4/</sup> и <sup>/6/</sup> не согласуются между собой, и для выяснения степени расхождения мы использовали набор нормалей энергий гамма-лучей <sup>/7/</sup>.

4. На данном этапе необходима осторожность при использовании данных с КДГС: анализ результатов <sup>/10,11/</sup> показал, что даже на одном приборе систематические погрешности могут значительно превысить статистические.

5. Мы вправе ожидать изменения коэффициента пересчета длины волны - энергия  $\nu \lambda$  <sup>/12/</sup> в результате очередной процедуры согласования фундаментальных констант.

Таким образом, при решении задачи измерения энергии связи дейтрона появляется много принципиальных вопросов по методике и технике прецизионной гамма-спектроскопии. От их решения во многом зависит точность определения величины массы нейтрона.

Авторы благодарят А.Ф.Щуся, В.Б.Бруданина, Л.А.Вылову и Н.И.Рухадзе за помощь в обработке экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вылов Ц. и др. ЯФ, 1978, 28, с. 1137.
2. Вылов Ц., Осипенко Б.П., Чумин В.Г. ЭЧАЯ, 1978, т. 9, вып.6, с. 1350.
3. Murray G., Graham R.L., Geiger J.S. Nucl.Phys., 1965, v. 63, p. 313.
4. Taylor H.W., Neff N., King J.D. Phys.Lett., 1967, 24B, p. 659.
5. Greenwood R.C., Chrien R.E. Phys.Rev.C., 1980, 21, p.498.
6. C. van der Leun, P. de Wit, C. Alderliesten. Cont. Grenoble conf. on neutron-capture gamma-ray spectra.
7. Greenwood R.C., Nelmer R.C., Gehrke R.J. NIM, 1979, 159, p. 465.
8. Kessler E.G. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 40, p. 171.
9. Wapstra A.N., Bos K. At Data Nucl. Data Tables, 1977, 19, p. 177; 1977, 20, p. 1.
10. Желепов Б.С., Шестопалова С.А. Ядерно-спектроскопические нормалы. Атомиздат, 1980, с. 69.
11. Kessler E.G. et al. Phys.Rev.Lett, 1978, 40, p. 171.
12. Фундаментальные физические константы ГСССД 1-76, Изд-во, "Стандарты", 1976.

Вылов Ц. и др. К вопросу о переопределении энергии Р6-82-108 связи дейтрона

Проанализированы эксперименты по измерению энергии связи дейтрона в реакции захвата тепловых нейтронов водородом в предположении  $/411,8-^{198}\text{Hg}/ = 411,8044 \pm 0,0011$  кэВ. Показано, что при использовании общей системы нормалей энергии опубликованные данные согласуются между собой. Проведена новая серия экспериментов с помощью  $\text{Ge(Li)}$  детектора  $/100 \text{ см}^3/$ . Результатом новых и ранее выполненных нами измерений следует считать оценку  $\epsilon_D = 2224,563 \pm 0,009$  кэВ.

Средневзвешенное значение опубликованных экспериментальных данных равно:  $\epsilon_D = 2224,568 \pm 0,008$  кэВ.

С помощью этого значения улучшена более чем в 2 раза относительная погрешность измерения массы нейтрона. Проанализировано общее состояние дел с нормальми энергий  $\gamma$ -лучей, влияющих существенным образом на точность определения массы нейтрона.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем. ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Vylov Ts. et al. On Redetermination of Deuteron Binding Energy P6-82-108

Experiments on measuring the binding energy of deuteron produced in the reaction of thermal neutron capture by hydrogen under assumption that  $(411,8-^{198}\text{Hg}) = 411.8044 \pm 0.0011$  keV are analysed. It is shown that when using standard general system the results of published measurements agree well. A new set of experiments by means of the  $100 \text{ cm}^3 \text{ Ge(Li)}$  detector has been performed. It has been obtained that

$$\epsilon_D = 2224,563 \pm 0.009 \text{ keV.}$$

By earlier experimental data value equals

$$\epsilon_D = 2224,568 \pm 0.008 \text{ keV.}$$

Using this value the relative error for neutron mass has been improved by more than twice. The general situation in normals of  $\gamma$ -rays, which affect considerably the accuracy of neutron mass determination is analysed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.

Рукопись поступила в издательский отдел  
11 февраля 1982 года.