

## Данные о фоторасщеплении ядра $^{127}\text{I}$ : эксперименты и оценка

А. И. Давыдов<sup>1,\*</sup>, В. В. Варламов<sup>2,†</sup>, С. С. Бельшев<sup>1</sup>, В. Н. Орлин<sup>2</sup>, Б. С. Ишханов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова  
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 26.06.2019; Подписана в печать 01.08.2019)

В настоящей работе с помощью объективных физических критериев достоверности исследованы экспериментальные сечения парциальных фотонейтронных реакций для ядра  $^{127}\text{I}$ , независимо полученные в двух лабораториях. Обнаружено, что имеющиеся в наличии экспериментальные сечения не отвечают этим критериям достоверности. Показано, что источником таких несоответствий являлся использованный метод разделения нейтронов по множественности, основанный на измерении кинетической энергии нейтронов, который может приводить к занижению сечений реакции  $(\gamma, 1n)$  и к завышению реакции  $(\gamma, 2n)$ . Также было обнаружено, что в одном из экспериментов значительная часть нейтронов из реакции  $(\gamma, 1n)$  была утеряна. С помощью экспериментально-теоретического метода оценки были получены новые сечения парциальных и полной фотонейтронной реакций для ядра  $^{127}\text{I}$ , удовлетворяющие физическим критериям достоверности данных.

PACS: 25.20.-x

УДК: 539.17

Ключевые слова: фотонейтронные реакции, систематические погрешности, физические критерии достоверности, оцененные сечения.

Для решения большого числа фундаментальных и прикладных задач необходимо наличие достоверных данных по сечениям как полных, так и парциальных фотонейтронных реакций в области энергий гигантского дипольного резонанса (ГДР). Большинство экспериментальных данных из этой области энергий были получены в двух независимых лабораториях — Лоренсовской Ливерморской Национальной Лаборатории (США) и в Центре ядерных исследований Франции в Сакле. Как показали предыдущие исследования [1–3], эти экспериментальные данные сильно отличаются друг от друга. Так, сечения реакции выхода нейтронов

$$\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots, \quad (1)$$

включающей в себя все образующиеся нейтроны, полученные в лаборатории Сакле, систематически оказываются в среднем на  $\sim 10\%$  больше, чем аналогичные сечения Ливермора. В то же время, сечения парциальных реакций  $(\gamma, 1n)$ ,  $(\gamma, 2n)$  и  $(\gamma, 3n)$  отличаются друг от друга значительно сильнее (до  $100\%$  величины). При этом эти различия являются определенно систематическими — как правило, сечения реакции  $(\gamma, 1n)$  в Сакле систематически оказываются больше, чем сечения этой же реакции, полученной в Ливерморе, в то время как сечения реакции  $(\gamma, 2n)$ , наоборот, оказываются больше в Ливерморе (рис. 1).

При этом экспериментальные данные, полученные в обеих лабораториях, не соответствуют сечениям, теоретически рассчитанным в рамках комбинированной

модели фотоядерных реакций, и специально введенным объективным физическим критериям достоверности данных, представляющим собой переходные функции множественности нейтронов

$$F_i = \frac{\sigma(\gamma, in)}{\sigma(\gamma, xn)}. \quad (2)$$

Согласно определениям (2) функция  $F_1$  не может превышать значения 1.00,  $F_2$  — значения 0.50,  $F_3$  — 0.33 и т.д. Превышение функциями  $F_i$  соответствующих предельных значений означает, что разделение фотонейтронов между каналами с различной множественностью в конкретном эксперименте было выполнено некорректно. Ранее было показано [1–3], что во многих случаях данные, полученные и в Сакле, и в Ливерморе, предложенным критериям достоверности не удовлетворяют, что позволяет утверждать, что такие экспериментальные данные не являются достоверными. Выполненные ранее исследования показали, что расхождения такого рода появились в результате погрешностей использованного метода разделения нейтронов по множественности, основанном на измерении кинетической энергии образующихся фотонейтронов.

В результате использования этого метода многие нейтроны из реакции  $(\gamma, 1n)$  оказались ошибочно идентифицированы как нейтроны из реакции  $(\gamma, 2n)$ , в результате чего сечения реакции  $(\gamma, 1n)$  оказались занижены вплоть до появления в них физически запрещенных отрицательных значений, а сечения реакции  $(\gamma, 2n)$ , напротив, оказались завышены вплоть до появления в соответствующих переходных функциях множественности значений, превышающих физически допустимый предел  $F_2 = 0.50$ . Для получения оцененных данных, свободных от проблем экспериментально-теоретического определения множественности нейтронов, был предложен специальный экспериментально-теоретический

\*E-mail: alexdavydovmet@gmail.com

†E-mail: VVVarlamov@gmail.com

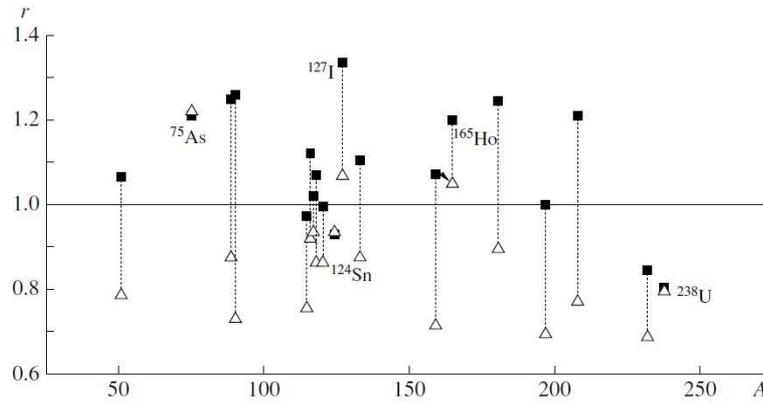


Рис. 1: Систематика отношений  $r = \sigma_{\text{Сакле}}^{\text{инт}} / \sigma_{\text{Ливермор}}^{\text{инт}}$  интегральных сечений парциальных реакций  $(\gamma, 1n)$  — заполненные квадраты и  $(\gamma, 2n)$  — пустые треугольники

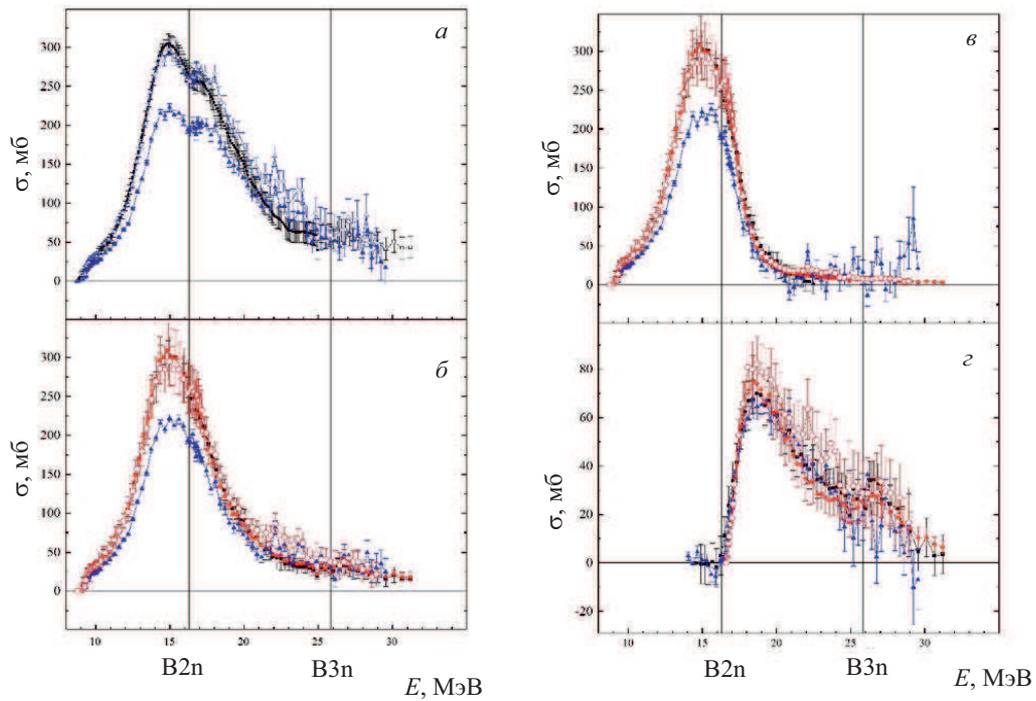


Рис. 2: Экспериментальные сечения Сакле [4] (квадраты), экспериментальные данные Ливермора [5] (треугольники), скорректированные экспериментальные сечения Ливермора (пустые треугольники), данные (круги), оцененные по скорректированным экспериментальным данным сечения (пустые круги). а — реакция  $(\gamma, xn)$ , б — реакция  $(\gamma, sn)$ , в — реакция  $(\gamma, 1n)$ , г — реакция  $(\gamma, 2n)$

метод оценки парциальных сечений фотонейтронных реакций [1]. В этом методе, для получения сечения парциальной реакции  $(\gamma, in)$ , сечение реакции выхода нейтронов  $(\gamma, xn)$ , по существу не зависящее от метода в Ливерморе разделения нейтронов по множественности, поскольку включает в себя все образующиеся нейтроны, умножается на теоретически рассчитанное значение соответствующей переходной функции множественности (2), также не зависящее от экспериментального метода разделения нейтронов по множественности.

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, in) = F_i^{\text{теор}} \cdot \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn). \quad (3)$$

В настоящей работе экспериментально-теоретический метод оценки сечений парциальных реакций применялся для ядра  $^{127}\text{I}$ . Это ядро, вместе с некоторыми другими ядрами, выделяется из общей картины (рис. 1). Так, для ядра  $^{127}\text{I}$  (как и для ядер  $^{75}\text{As}$  [6] и  $^{165}\text{Ho}$ ) оба интегральных сечения парциальных реакций, полученных в Сакле, оказываются больше, чем сечения, полученные в Ливерморе,

в то время, как в остальных ядрах интегральное сечение реакции  $(\gamma, 2n)$  полученное в Сакле меньше, чем аналогичное сечение Ливермора. Кроме того, различие отношений интегральных сечений  $r$  реакций  $(\gamma, 1n)$  и  $(\gamma, 2n)$ , полученных для этого ядра в Сакле и Ливерморе, очень велико — 1.37 и 1.07, соответственно (рис. 1). Следует отметить, что значение 1.37 отношения интегральных сечений для реакции  $r(\gamma, 1n)$  является наибольшим среди данных для 19 ядер, исследованных как в Сакле, так и в Ливерморе (рис. 1).

В ходе работы с помощью экспериментально-теоретического метода оценки сечений парциальных фотонейтронных реакций, основанном на использовании объективных физических критериев достоверности, были получены новые сечения парциальных реакций, не зависящие от проблем разделения нейтронов по множественности (рис. 2). Было установлено, что основной причиной недостоверности экспериментальных данных Сакле является сложная и неоднознач-

ная связь множественности нейтронов с их кинетической энергией. Это справедливо и для данных Ливермора, ещё большая недостоверность которых обусловлена тем, что большая часть нейтронов из реакции  $(\gamma, 1n)$  была утеряна. Если с учетом такой потери нейтронов провести процедуру нормировки экспериментальных данных Ливермора на экспериментальные данные Сакле, то обнаружится, что данные для реакции  $r(\gamma, 1n)$ , полученные при оценке, основанной на скорректированных данных Ливермора, почти не отличаются от соответствующих данных, оцененных с помощью данных Сакле, и их недостоверность может быть обусловлена аналогичными погрешностями сортировки нейтронов по множественности. Вместе с тем, расхождения сечений реакции  $(\gamma, 1n)$  значительно возрастают.

Работа поддержана Исследовательским Контрактом 20501 (Координационный исследовательский проект F41032) и грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» №18-2-6-93-1.

- [1] Варламов В. В., Ишханов Б. С., Орлин В. Н., Четверткова В. А. // Изв. РАН. Сер. физ. 2010. **74**. С. 875.  
 [2] Варламов В. В., Давыдов А. И., Ишханов Б. С. // Ядерная физика. 2019. **82**, № 1. С. 16.  
 [3] Varlamov V. V., Davydov A. I., Ishkhanov B. S., Orlin V. N. // European Phys. J. A. 2018. **54**. P. 74.  
 [4] Bergere R., Beil H., Carlos P., Veysiére A. // Nuclear

Physics A. 1968. **121**(2). P. 463.

- [5] Bramblett R. L., Caldwell J. T., Berman B. L., Harvey R. R., Fultz S. C. // Phys. Rev. 1966. **148**. P. 1198.  
 [6] Varlamov V. V., Davydov A. I., Kaidarova V. D., Orlin V. N. Physical Review C. Nuclear Physics. 2019. **99**. P. 2.

## New data on photodisintegration of nucleus $^{127}\text{I}$ : experiments and evaluation

A. I. Davydov<sup>1,a</sup>, V. V. Varlamov<sup>2,b</sup>, S. S. Belyshev<sup>1</sup>, V. N. Orlin<sup>2</sup>, B. S. Ishkhanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

<sup>2</sup>Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

E-mail: <sup>a</sup>alexdavdovmet@gmail.com, <sup>b</sup>VVVarlamov@gmail.com

Experimental partial reaction cross sections for the  $^{127}\text{I}$  nucleus obtained independently in two laboratories were analyzed using objective physical data reliability criteria. It was found that the available experimental cross sections do not satisfy these reliability criteria. The source of such discrepancies was the neutron multiplicity sorting method used, based on measuring the kinetic energy of neutrons, which can lead to an underestimation of the reaction cross sections  $(\gamma, 1n)$  and to an overestimation of the reaction  $(\gamma, 2n)$ . Also it was found that a significant portion of the neutrons from the  $(\gamma, 1n)$  reaction was lost in one of two experiments under discussion. Using the experimental-theoretical evaluation method, new cross sections for partial and total photoneutron reactions for the  $^{127}\text{I}$  nucleus satisfying the physical data reliability criteria were obtained.

PACS: 25.20. -x

**Keywords:** photoneutron reactions, systematic uncertainties, physical criteria of data reliability, evaluated cross sections PACS (photonuclear reactions).

Received 26 June 2019.

### Сведения об авторах

1. Давыдов Александр Иванович — студент; e-mail: alexdavdovmet@gmail.com.
2. Варламов Владимир Васильевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, гл. науч. сотрудник; e-mail: Varlamov@depni.sinp.msu.ru.
3. Бельшев Сергей Сергеевич — ассистент; e-mail: belyshev@depni.sinp.msu.ru.
4. Орлин Вадим Николаевич — доктор физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: OrlinVN@yandex.ru.
5. Ишханов Борис Саркисович — доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. Отделом НИИЯФ МГУ, зав. кафедрой; e-mail: BSI@depni.sinp.msu.ru.