

Исследование фоторасщепления
ядра ^{181}Ta методами наведенной
активности и разделения
фотонейтронов по
множественности – надежность и
достоверность данных

Докладчик:
Татьяна Полевич

План выступления

- Введение. Эксперименты по фотоядерным реакциям
- Экспериментальные данные
- Новый критерий надежности
- Проверка данных
- Новый экспериментально-теоретический подход
- Сравнение оцененных данных с экспериментальными
- Выводы

ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Получение фотонов:

- Квазимоно-энергетические аннигиляционные фотоны
- Тормозные фотоны

Определение множественности нейтронов:

- Метод кольцевых отношений (Ливермор, США [2])
- Энергетическая калибровка эффективности детектора (Сакле, Франция [1])
- Метод наведенной активности (Москва, Россия [10]; Бразилия [9])

[1] R.Bergere, H.Beil, A.Veyssiere. *Photoneutron Cross Sections of La, Tb, Ho and Ta. Nucl.Phys., (1968).*

[2] R.L.Bramblett, J.T.Caldwell, G.F.Auchampaugh, S.C.Fultz. *Photoneutron Cross Sections of ¹⁸¹Ta and ¹⁶⁵Ho. (1963).*

[9] E.Woly nec, M.N.Martins. *Discrepancies between Saclay and Livermore Photoneutron Cross Sections. (1987).*

[10] Б.С.Ишханов, С.Ю.Трощев. *Дипольный гигантский резонанс в тяжелых деформированных ядрах. (2011).*

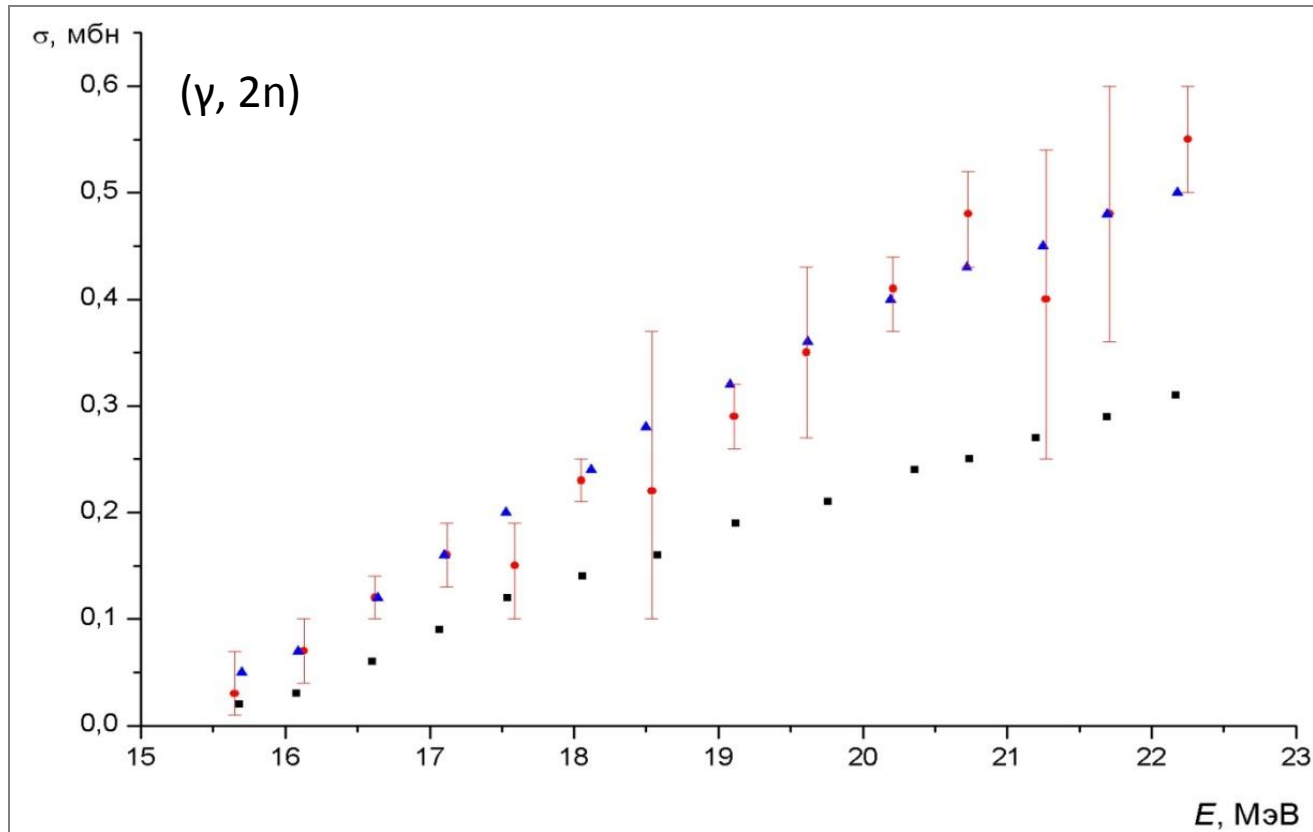
Проблема: расхождения данных

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

$\sigma_{\text{инт}}^{\text{с}}(\gamma, n) / \sigma_{\text{инт}}^{\text{л}}(\gamma, n)$	1.68 (2180/1300)
$\sigma_{\text{инт}}^{\text{с}}(\gamma, 2n) / \sigma_{\text{инт}}^{\text{л}}(\gamma, 2n)$	0.89 (790/881)
$\sigma_{\text{инт}}^{\text{с}}(\gamma, xn) / \sigma_{\text{инт}}^{\text{л}}(\gamma, xn)$	1.22 (3760/3062)

Данные сильно различаются, в чем причина?
Какие из них верные?

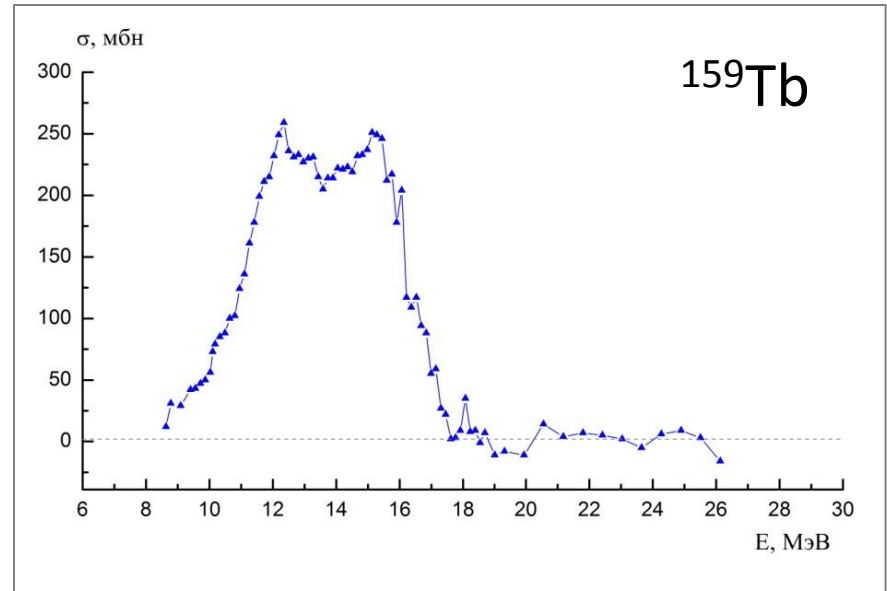
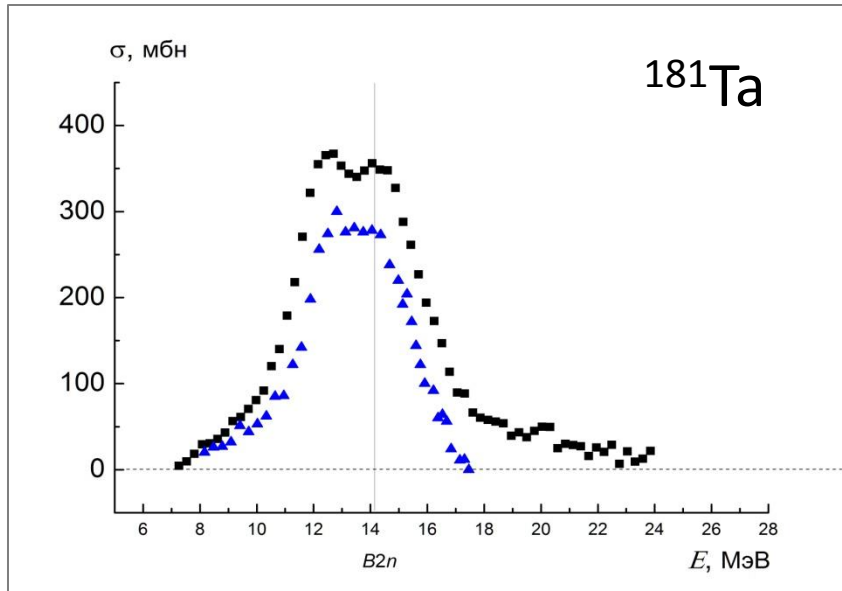
Проблема: расхождения данных



- Саклэ [1]
- Ливермор [2]
- Бразилия [9]

Саклэ: перебор нейтронов из реакции (γ , 2n) в (γ , n)

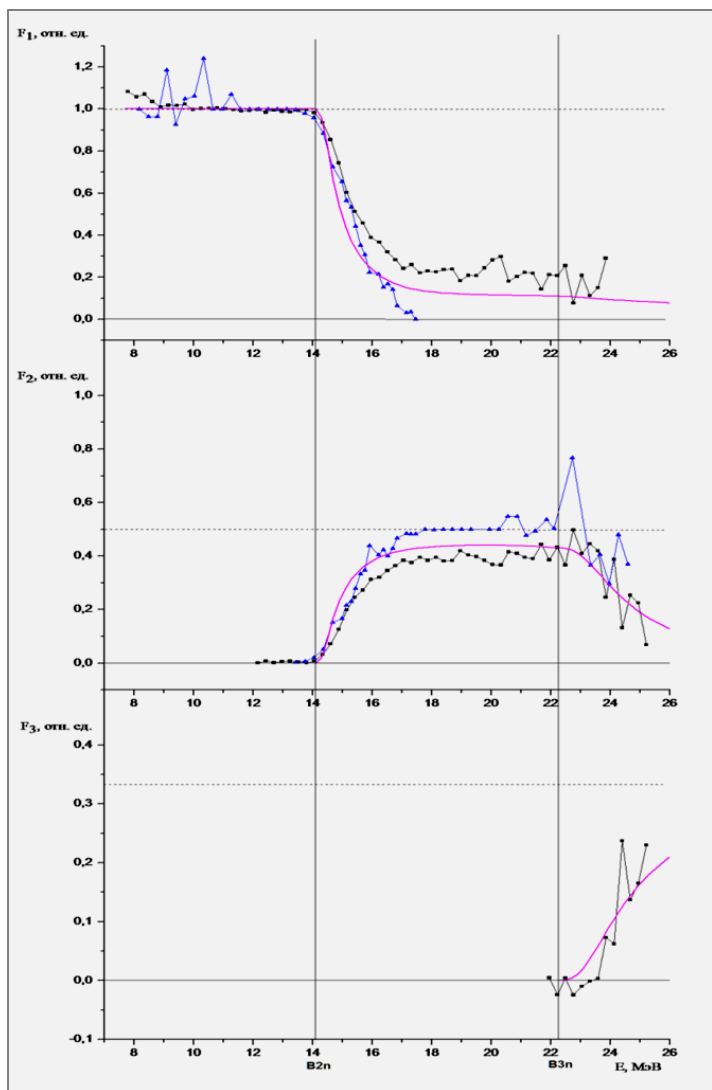
Проблема сечения (γ, n) Ливермора



- Саклэ [1]
- Ливермор [2]

Сечение Ливермора (γ, n) резко спадает после порога реакции ($\gamma, 2n$), малая ширина резонанса.

Переходные функции множественности как новый критерий надежности данных



$$F_1^{\text{теор}} = \sigma^{\text{теор}}(\gamma, n) / \sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)$$

$$F_2^{\text{теор}} = \sigma^{\text{теор}}(\gamma, 2n) / \sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)$$

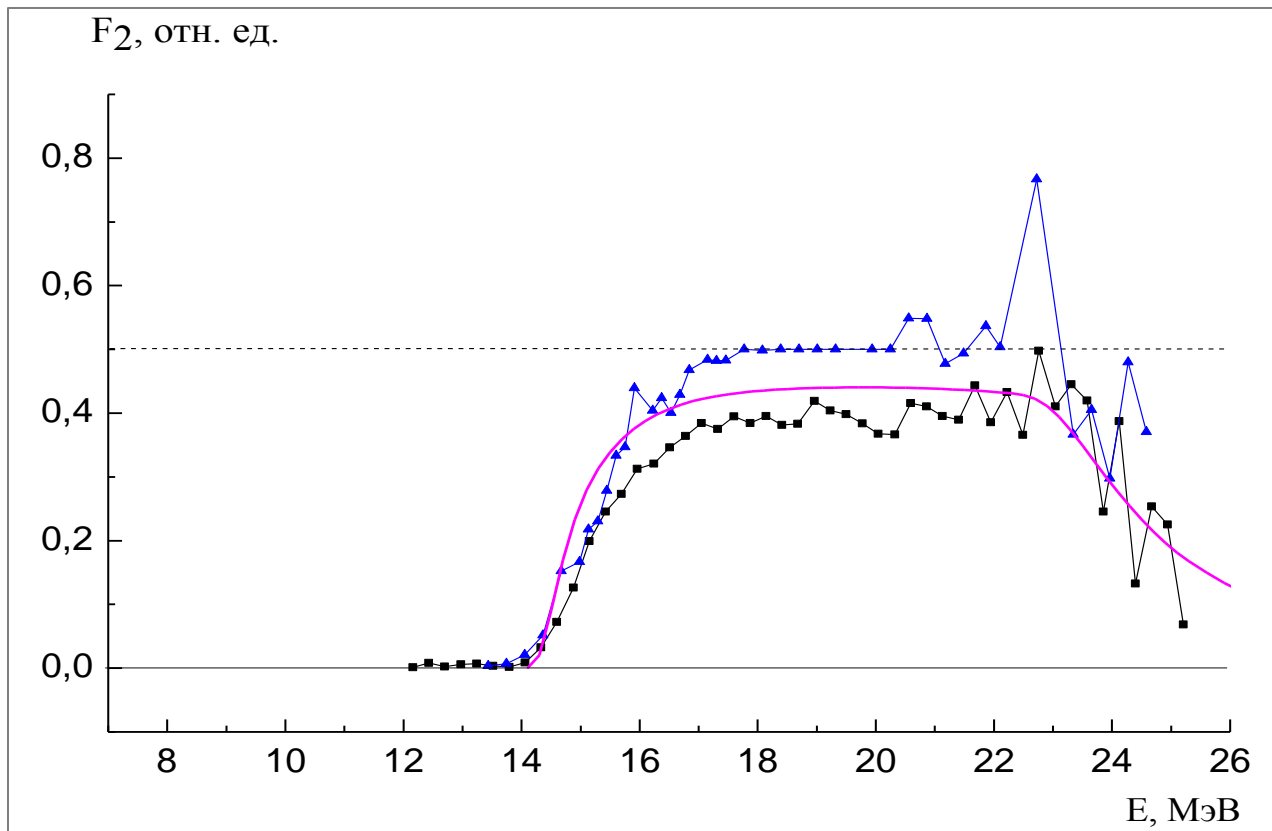
$$F_3^{\text{теор}} = \sigma^{\text{теор}}(\gamma, 3n) / \sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)$$

$$F_2 = \frac{\sigma(\gamma, 2n)}{\sigma(\gamma, xn)} = \frac{\sigma(\gamma, 2n)}{\sigma(\gamma, n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots}$$

Преимущества функции F_2 :

- физична при $F_2 \leq 0,5$
- после порога $(\gamma, 2n)$ плавно возрастает до 0,5 и уменьшается после порога $(\gamma, 3n)$
- Саклэ [1]
- Ливермор [2]
- Теория [10, 11]

Переходная функция множественности F_2



- Саклэ [1]
- Ливермор [2]
- Теория [10, 11]

Ливермор: сечение $(\gamma, 2n)$ переопределено

Саклэ: сечение $(\gamma, 2n)$ недоопределено

Вопрос:
что же делать?

Новый экспериментально-теоретический ПОДХОД

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, n) = F_1^{\text{теор}} \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn) = \frac{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, n)}{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)} \underline{\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)}$$

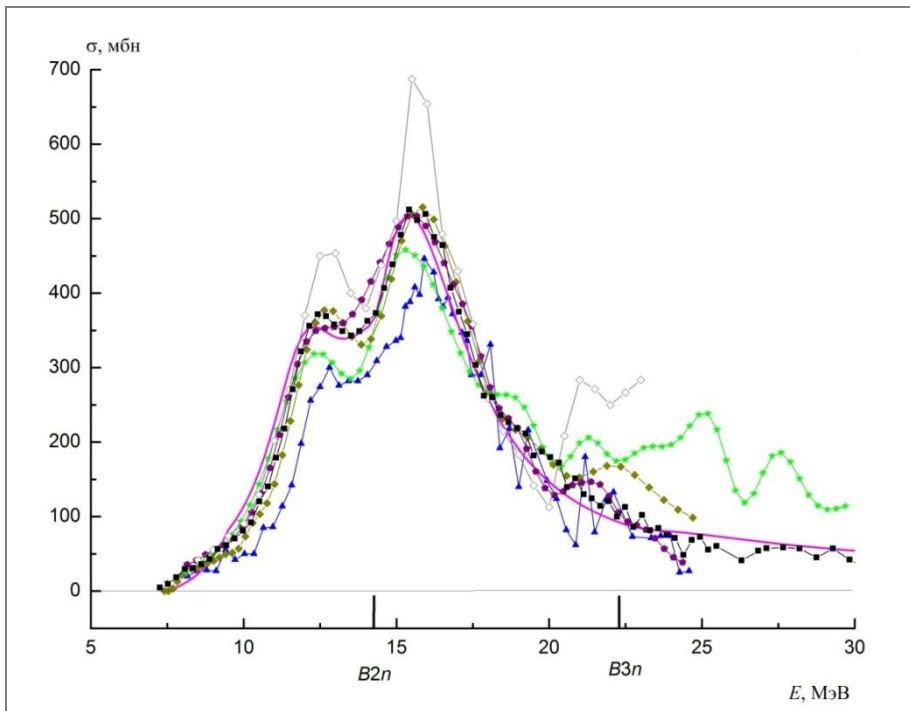
$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 2n) = F_2^{\text{теор}} \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn) = \frac{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, 2n)}{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)} \underline{\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)}$$

$$\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, 3n) = F_3^{\text{теор}} \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn) = \frac{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, 3n)}{\sigma^{\text{теор}}(\gamma, xn)} \underline{\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)}$$

Не зависит от проблем разделения нейтронов по множественности!

Какое сечение выбрать в качестве $\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$?

Выбор $\sigma^{\text{эксп}}(\gamma, \text{хп})$

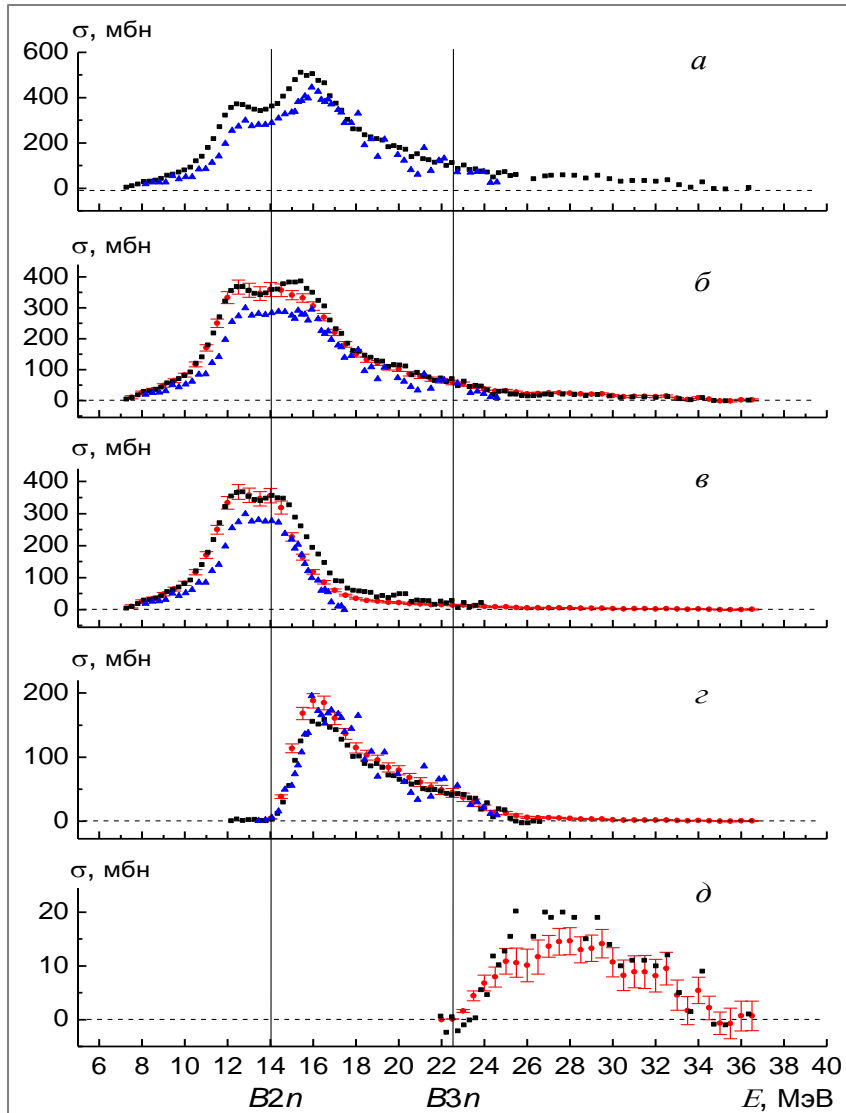


Данные Саклэ хорошо согласуются с теорией на всей шкале энергий

Источник данных	$\sigma^{\text{инт}}$, МэВ·мбн	$\sigma^{\text{инт}}/\sigma^{\text{инт}}$, * отн.ед.
квазимоноэнергетические фотоны		
Саклэ [1]	3288.3 ± 6.6	1
Ливермор [2]	2667.6 ± 49.5	1.24
тормозное γ -излучение		
Ишханов и др.[3]	3112.3 ± 54.3	1.05
Беляев и др. [4]	3246.7 ± 7.7	1.01
Богданкевич и др. [5]	3685.8 ± 41.5	0.89
приближенные к Саклэ данные Ливермора		
Варламов и др. [6]	3369.4 ± 40.4	0.98
теоретические расчеты		
Теория [7, 8]	3272.8 ± 47.4	0.99

* Предел интегрирования $E^{\text{инт}} = 20$ МэВ

Новые оцененные данные, сравнение с экспериментальными



	Реакция	$\frac{\sigma_{\text{инт. оцен.}}}{\sigma_{\text{инт. Саклэ}}}$	$\frac{\sigma_{\text{инт. оцен.}}}{\sigma_{\text{инт. Ливермор}}}$
a)	(γ, xn)	1	1.24
б)	(γ, sn) $\sigma(\gamma, sn) = \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 3n)$	0.96	1.30
в)	(γ, n)	0.88	1.46
г)	($\gamma, 2n$)	1.16	1.05
д)	($\gamma, 3n$)		-

Предел интегрирования $E^{\text{инт}} = 25 \text{ МэВ}$

- Саклэ
- Ливермор
- Оцененные данные

Новые оцененные данные, сравнение с экспериментальными

Саклэ:

- Вклад в (γ, xn) реакции (γ, n) переопределен на 12%
- реакции $(\gamma, 2n)$ - недоопределен на 16%;

Ливермор:

- Сечение (γ, xn) недоопределено на 24%
- (γ, n) недоопределен на 46%
- $(\gamma, 2n)$ – недоопределен всего на 5%;

	Реакция	$\frac{\sigma_{\text{инт. оцен.}}}{\sigma_{\text{инт. Саклэ}}}$	$\frac{\sigma_{\text{инт. оцен.}}}{\sigma_{\text{инт. Ливермор}}}$
а)	(γ, xn)	1	1.24
б)	(γ, sn) $\sigma(\gamma, sn) = \sigma(\gamma, n) + \sigma(\gamma, 2n) + \sigma(\gamma, 3n)$	0.96	1.30
в)	(γ, n)	0.88	1.46
г)	$(\gamma, 2n)$	1.16	1.05
д)	$(\gamma, 3n)$		-

Предел интегрирования $E^{\text{инт}} = 25$ МэВ

Сравнение оцененных данных с результатами экспериментов по методу наведенной активности

Отношения	Эксперимент			Оценка
	Сакле [4]	Ливермор [5]	Наведенная активность [19]	Настоящая работа
сечений $\sigma(\gamma,2n)/\sigma(\gamma,n)$	0.36 (797.4/2189.5)	0.67 (887.0/1315.7)		0.49 (958.3/1956.3)
выходов $Y(\gamma,2n)/Y(\gamma,n)$	0.24	0.42	0.34 ± 0.07	0.33 *
сечений $\sigma(\gamma,3n)/\sigma(\gamma,n)$	0.063 (137.4/2189.5)			0.055 (107.3/1956.3)
выходов $Y(\gamma,3n)/Y(\gamma,n)$	0.02		$0.023 - 0.025^{**}$)	0.018**

* наша оценка отношения выходов реакций по их сечениям.

** суммарный выход реакции $^{181}\text{Ta}(\gamma,3n)^{178}\text{Ta}$ с образованием конечного ядра в основном и изомерном состояниях.

Выводы

- Оцененные сечения парциальных фотонейтронных реакций (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, и $(\gamma, 3n)$ на ядре ^{181}Ta лишены проблем разделения нейтронов по множественности
- Оцененные сечения согласуются с результатами экспериментов, использовавших метод наведенной активности
- Физически недостоверное поведение специально введенной переходной функции множественности $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$, полученной по данным Ливермора, обусловлено очень большой (46 %) недоопределенностью числа нейтронов с множественностью 1
- Вследствие сечение реакции (γ, n) , полученное в Ливерморе, ведет себя весьма нетипично и физически недостоверно
- Большая недоопределенность числа нейтронов с множественностью 1 в Ливерморе приводит к существенно меньшему (24 %) по сравнению с данными других экспериментов сечению реакции полного выхода нейтронов

Спасибо за внимание!
Вопросы?

Параметры изотопов ядра Ta

Реакция	$T_{1/2}$	E_{γ} , кэВ
$^{181}\text{Ta}(\gamma, n)^{180}\text{Ta}$	8.154 час	93.326, 103.557
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 2n)^{179}\text{Ta}$	1.82 год	63, 65
$^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178}\text{Ta}$ (g. st.) $^{181}\text{Ta}(\gamma, 3n)^{178}\text{Ta}$ (m. st)	9.31 мин 2.36 час	1351, 1403 313.44, 325.56, 426.38

Список статей

- [1] R.Bergere, H.Beil, A.Veyssiere. Photoneutron Cross Sections of La, Tb, Ho and Ta. Nucl.Phys., A121 (1968) 463.
- [2] R.L.Bramblett, J.T.Caldwell, G.F.Auchampaugh, S.C.Fultz. Photoneutron Cross Sections of ^{181}Ta and ^{165}Ho . Phys.Rev., 129 (1963) 2723.
- [3] Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Е.В.Лазутин, И.М.Пискарев, О.П.Шевченко. Гигантский дипольный резонанс на ядре ^{181}Ta . Письма ЖЭТФ, 10 (1969) 30.
- [4] С.Н.Беляев, В.П.Синичкин. Прецизионный фотоядерный эксперимент по изучению промежуточной структуры ДГР на ядре ^{181}Ta . Динамика и оптимизация пучков. Труды Восьмого международного совещания, Саратов, 25 – 29 июня 2001 г. Издательство Саратовского ГУ, 2002, стр. 81.
- [5] О.В.Богданкевич, Б.И.Горячев, В.А.Запевалов. Расщепление гигантского резонанса в средне-тяжелых ядрах. ЖЭТФ, 42 (1962) 1504.
- [6] В.В.Варламов, Песков Н.Н., Руденко Д.С., Степанов М.Е. Согласованная оценка сечений фотонейтронных реакций по данным, полученным в экспериментах на пучках квазимоноэнергетических аннигиляционных фотонов в Ливерморе (США) и Сакле (Франция). Вопросы атомной науки и техники. Серия: «Ядерные константы», 1-2 (2003) 48.
- [7] Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин. Полумикроскопическое описание гигантского дипольного резонанса. ЭЧАЯ, 38 (2007) 460.
- [8] Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин. Предравновесная модель фотоядерных реакций, базирующаяся на Ферми-газовых плотностях. Ядерная физика, 71 (2008) 517.
- [9] E.Wolynec, M.N.Martins. Discrepancies between Saclay and Livermore Photoneutron Cross Sections. Revista Brasileira Fisica, 17 (1987) 56.
- [10] Б.С.Ишханов, С.Ю.Трощев. Дипольный гигантский резонанс в тяжелых деформированных ядрах. Вестник МГУ, Серия 3, № 4 (2011) 3.