

## 36.КРИПТОН

### 36.1. Криптон-78

Содержание в естественной смеси 0.35%.

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г. выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличие от предыдущей состоит в пересмотре параметров разрешенных резонансов в соответствии с атласом С.Мухабхаба 2006 г. Пересмотр состоял в небольшой коррекции нейтронных ширин. Две последние оценки содержат область неразрешенных резонансов, простирающуюся до 100 кэВ.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. Во всех оценках эта область содержит 4 s-резонанса включая связанное состояние. Максимальная энергия – 640 эВ. В JEFF-3.1 RRR простирается до 865эВ, в JENDL-3.3 и ENDF/B-VII - до 800 эВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	13.6	8.8	4.8	23.3
JENDL-3.3	14.1	7.9	6.2	25.4
ENDF/B-VIIb2	12.5	7.8	4.7	24.8
Kondaiah-68			4.71±0.68	

Сечение захвата, принятое в JENDL-3.3, превышает результат единственного измерения на два стандартных отклонения, что и послужило, вероятно, основанием для пересмотра ширин.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

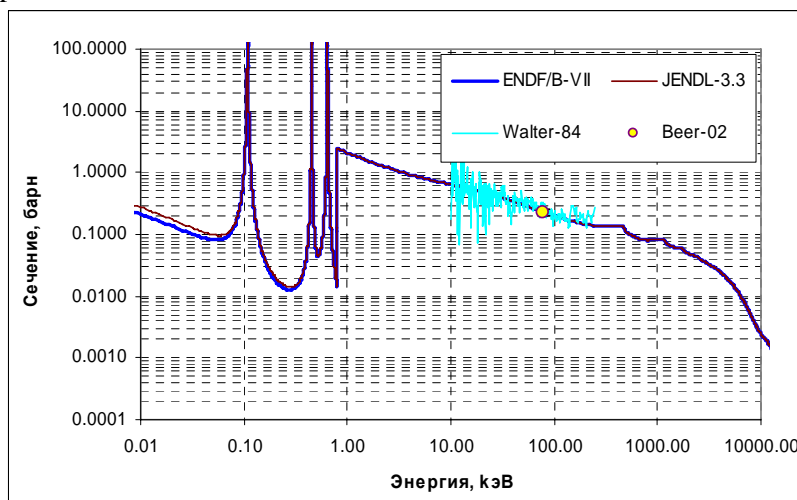


Рис.1. Сечение захвата.

Согласие с экспериментами вне резонансной области прекрасное.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

## Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 36.2. Криптон-79

Радиоактивен ( $T_{1/2}=35.04$  ч). Захватывая орбитальный электрон превращается в бром-79. В реакторах может образовываться за счет реакции  $^{78}\text{Kr}_{(0.35\%)}(n,\gamma)$  или  $^{80}\text{Kr}_{(2.25\%)}(n,2n)$ .

Полных наборов оцененных нейтронных данных ни в одной библиотеке нет. Последняя оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Из нее следуют следующие значения теплового сечения захвата и резонансного интеграла:

$\sigma_c=26.4$  барн

$RI=109$  барн

Экспериментальных данных для проверки оцененных сечений не имеется.

## Заключение

Включить в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в секцию MT=103 файла MF=3. Файлы MF=8 и MF=10 опустить.

### Автор рекомендации

Николаев М. Н.

## 36.3. Криптон-80

Содержание в естественной смеси 2.28%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $2.23 \cdot 10^{-9}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличие от предыдущей состоит в том, что параметры разрешенных резонансов приняты в соответствии с атласом С.Мухабхаба 2006 г. Параметры, однако, пересмотрены не были. Две последние оценки содержат область неразрешенных резонансов, простирающуюся до 100 кэВ.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов, простирающуюся до 1000 эВ. В JEFF-3.1 эта область содержит 5 s-резонансов, включая связанное состояние. Максимальная энергия – 927 эВ. В JEFF-3.1 и ENDF/B-VII в RRR содержится 11 резонансов (включая связанное состояние) с максимальной энергией 2045 эВ. Введена также область неразрешенных резонансов, простирающаяся до 100 кэВ, но

рекомендуемая только для учета резонансной самоэкранировки сечений, заданных в файле MF=3 начиная с 1 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	20.7	8.9	11.7	68.3
JENDL-3.3= ENDF/B-VIIb2	18.8	7.3	11.5	59.8
Barabandv-72			15.6±1.9	
Bradly-71			11.4±0.4	56.1±2.8
Fastwood-63			15.5±1.6	
Reynolds-60			12.5±1.5	

Согласие оценок с экспериментальными данными удовлетворительно

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

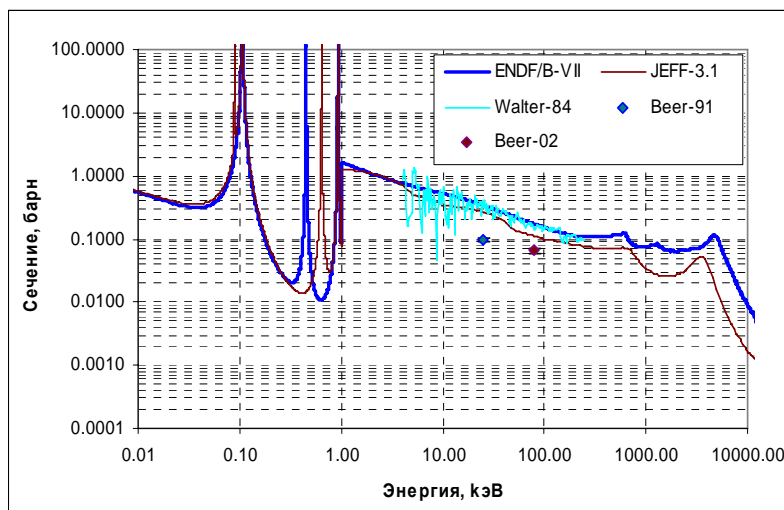


Рис.1. Сечение захвата.

Обращает внимание существенное различие в оценках резонансной структуры.

В новой оценке отсутствуют резонансы при 89.2 эВ и 640 эВ, но появился сильный резонанс при 450 эВ. Странно, что несмотря на то, что число резонансов в интервале от 1 до 2 кэВ - их 6 – вдвое превышает число резонансов от 0 до 1 кэВ, граница RRR сохранена прежней -1 кэВ.

Вне резонансной области наблюдается существенное расхождение в экспериментальных данных – недавние результаты Бира лежат втрое ниже данных Уолтера, на которые опирается оценка.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2. Желательна переоценка сечений в области разрешенных и неразрешенных резонансов с учетом всей совокупности экспериментальных данных.

**Автор рекомендации**

Николаев М.Н.

## 36.4. Криптон-81

Радиоактивен ( $T_{1/2}=2.29 \cdot 10^5$  лет). Захватывая орбитальный электрон превращается в бром-81. В реакторах может образовываться за счет реакции  $^{80}\text{Kr}_{(0.35\%)}(n,\gamma)$  или  $^{82}\text{Kr}_{(2.25\%)}(n,2n)$ . Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $1.81 \cdot 10^{-11}$ .

Полных наборов оцененных нейтронных данных ни в одной библиотеке нет. Последняя оценка нейтронных сечений содержится в EAF-2003. Из нее следуют следующие значения теплового сечения захвата и резонансного интеграла:

$\sigma_c=20$  барн

$RI=78$  барн

Экспериментальных данных для проверки оцененных сечений не имеется.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку сечений из EAF-2003. Сечения возбуждения изомерных состояний, содержащиеся в файле MF=10, сложить по подсекциям и суммы занести в секцию MT=103 файла MF=3. Файлы MF=8 и MF=10 опустить.

### Автор рекомендации

Николаев М. Н.

## 36.5. Криптон-82

Содержание в естественной смеси 11.58%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $2.85 \cdot 10^{-6}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличие от предыдущей состоит в том, что параметры разрешенных резонансов приняты в соответствии с атласом С.Мухабхаба 2006 г. Параметры, однако, пересмотрены не были.

Все оценки содержат область разрешенных резонансов. В JEFF-3.1 эта область простирается до 100 эВ и содержит 2 s-резонанса, включая связанное состояние. Максимальная энергия – 39.8 эВ.

В JENDL-3.3 RRR распространена до 400 эВ и содержит 6 резонансов (включая связанное состояние ) с максимальной энергие 1659 эВ. Положения резонансов соответствуют указанным в Справочнике Мухабхаба-81. Исключен лишь резонанс при 1.55 кэВ, который, вероятно, принадлежит  $^{83}\text{Kr}$ . Всем резонансам приписан спин  $\frac{1}{2}$  и положительная четность. Всем им приписана та же средняя нейтронная ширина, что и первому резонансу (единственного, для которого она была известна). Радиационные

ширины одинаковы для всех резонансов, их значение обеспечивает тепловое сечение захвата.

В ENDF/B-VII также, как и в JEFF-3.1, описано 2 резонанса, но область разрешенных резонансов ограничена 40 эВ.

Две последние оценки содержат область неразрешенных резонансов, простирающуюся до 100 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1=JENDL-3.3	33.95	9.77	30.17	183.1
ENDF/B-VIIb2	33.95	14.78	19.16	165.3
Macnamara-50			45±15	
Lucar-77			18±4 (ground)	120±40 (g)
Kondaiah-68			20±3.5 (meta)	
Rubi-65			3±1	

Сумма результатов Лукара и Кондайя -  $38 \pm 5$  - согласуется с результатом Макнамары. Однако можно сомневаться, что Лукар измерял только сечение образования  $^{83}\text{Kr}$  только в основном состоянии. Это сомнение, очевидно, и побудило оценщиков ENDF/B-VII понизить тепловое сечение захвата. С другой стороны, Руби получил намного меньшее сечение образования изомера с периодом полураспада 1.86 ч. и это говорит в пользу снижения оцененного сечения. Тем не менее, представляется, что оценка JENDL-3.3 является более взвешенной.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

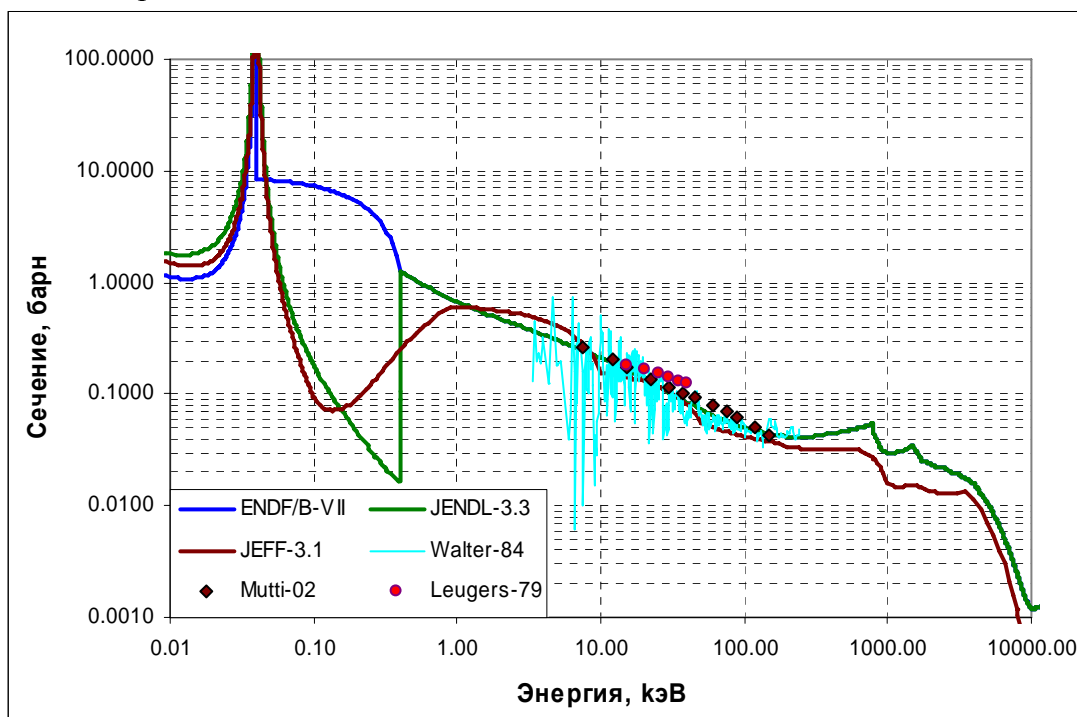


Рис.1. Сечение захвата.

Минимум при 120 эВ в оценке JEFF-3.1 обусловлен интерференционным минимумом от резонансов, лежащих за пределами RRR. В оценке JENDL-3.3 этот минимум искажен резким переходом от одного представления к другому. Аномальное

поведение сечения захвата в ENDF/B-VII выше 40 эВ свидетельствует о весьма неудачном подборе средних резонансных параметров.

Вне резонансной области все оценки близки друг к другу и обоснованы экспериментальными данными.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку JEFF-3.1.

#### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

## 36.6. Криптон-83

Содержание в естественной смеси 11.49%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $5.58 \cdot 10^{-3}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная Группелааром и Менапасом (H. Gruppelaar, E. Menapace).

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г., принявшей оценку Ю-Ксианг Жуанга и Чонг-ха Кай (Yoy-Xiang Zhuang, Chong-hai Cai) из CENDL-3. Все оценки содержат область неразрешенных резонансов, содержащую 3 резонанса (из них одно связанное состояние) с максимальной энергией 233 эВ, но простирающиеся по-разному: JEFF-3.1 – до 529.63 эВ, две остальные – до 272 эВ.

Две последние оценки содержат область неразрешенных резонансов.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1= JENDL-3.3	188.9	9.1	179.8	147.6
ENDF/B-VIIb2	211.6	13.5	198.1	188.4
Lucas-77			215±1.9	
Kennet-58			216±43	
Macnamara-50			205±110	

Согласие оценок с экспериментальными данными удовлетворительно

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

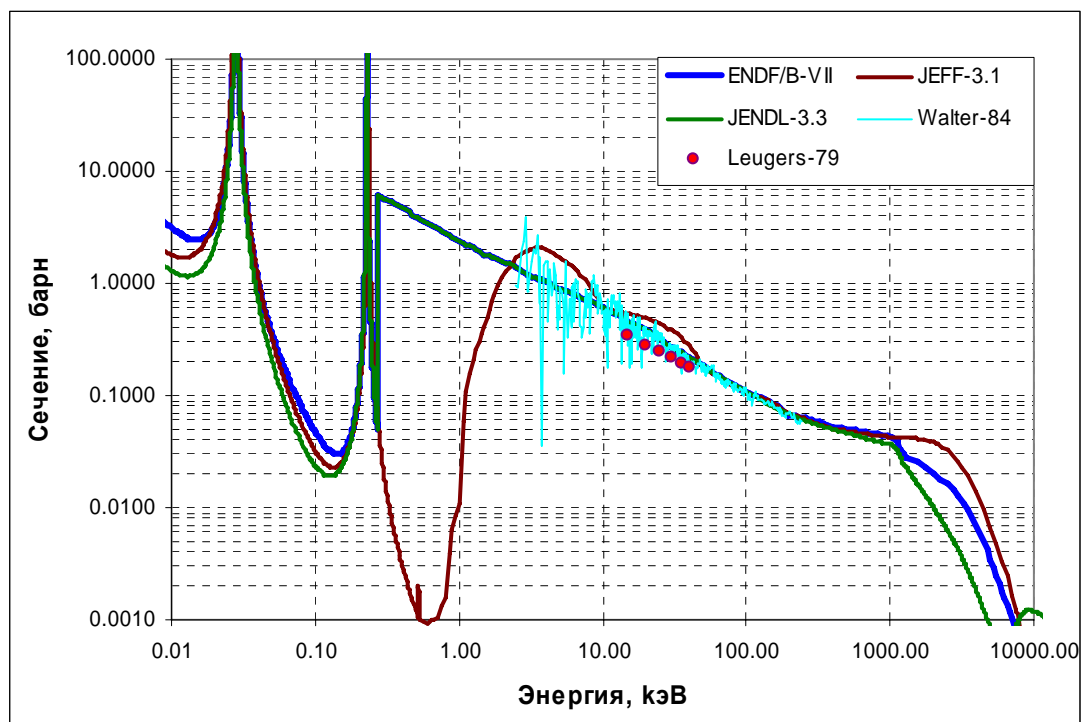


Рис.1. Сечение захвата.

Трудно отдать предпочтение какой-либо из оценок. Боле поздняя китайская оценка практически копирует японскую, обеспечивая чуть большее значение теплового сечения, но так же неестественно переходящая к описанию сечений средними резонансными параметрами. Провал в оценке JEFF-3.1 слишком глубок и нет согласия с результатами уолтера, появившимися позже.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2, в которой сечение захвата тепловых нейтронов ближе к экспериментальным данным

**Автор рекомендации**  
Николаев М.Н.

## 36.7. Криптон-84

Содержание в естественной смеси 57.00%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $1.03 \cdot 10^{-2}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличие от предыдущей состоит в том, что параметры разрешенных резонансов приняты в соответствии с атласом С.Мухабхаба 2006 г. (ниже 90 кэВ).

Все оценки содержат область разрешенных резонансов, содержащую 3 резонанса (из них одно связанное состояние) с максимальной энергией 233 эВ, но простирающиеся по-разному: JEFF-3.1 – до 529.63 эВ, две остальные – до 272 эВ.

Две последние оценки содержат область неразрешенных резонансов.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	6.834	6.751	0.083	3.45
JENDL-3.3	6.307	6.197	0.110	2.37
ENDF/B-VIIb2	3.85	3.74	0.11	2.12
Eastwood-63			0.042±0.004	
Macnamara-50			от 0.1 до 2	
Penzhorb-83			0.085±0.006 (meta)	
Kondaiah-68			0.090±0.013 (meta)	

Подтверждающие друг друга результаты измерения сечения образования изомера ( $T_{1/2}=4.48 \text{ ч}$ ) показывают ошибочность результата Иствуда, использовавшего в измерениях масс-спектрометрическую методику.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

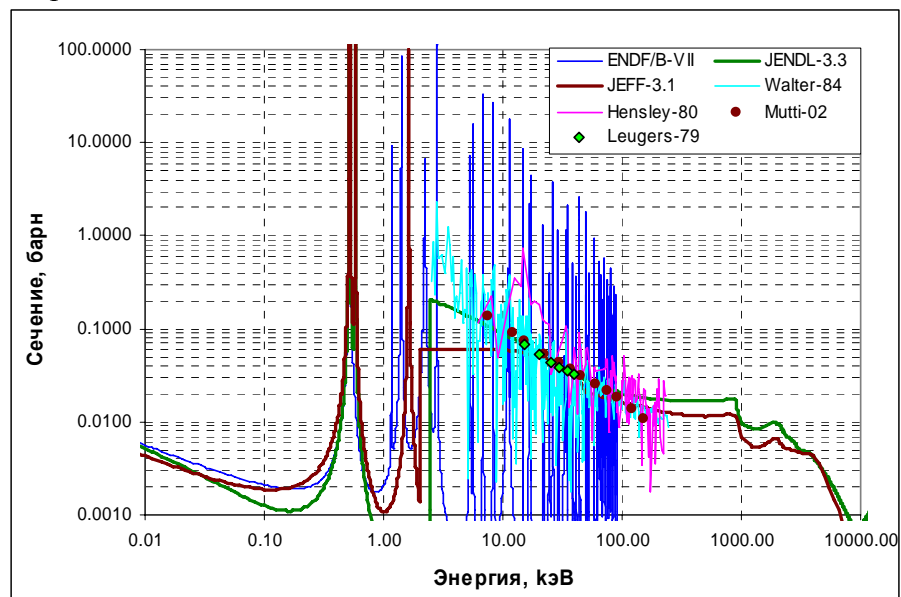


Рис.1. Сечение захвата.

Преимущество оценки ENDF/B-VIIb2, учитывающей какие-то новые данные, полученные с высоким разрешением, и подтверждаемой результатами измерений с низким разрешением, не вызывает сомнений.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку ENDF/B-VIIb2.

**Автор рекомендации**  
Николаев М.Н.



## 36.8. Криптон-85

Содержание в естественной смеси 57.00%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $2.86 \cdot 10^{-3}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления. В области от 1 до 100 кэВ структура сечений описывается с помощью средних резонансных параметров. Ниже 1 кэВ сечения задано плавными кривыми.

ENDF/B-VIIb2 –Новая оценка Хермана, Обложинского, Сарера и Мухабхаба (Herman, Oblozinsky, Sayer, Mughabgh). Область разрешенных резонансов наполнена фиктивными резонансами, параметры которых сочинены Мухабхабом. Область неразрешенных резонансов отсутствует. Вне резонансной области оценка основана на современных теоретических моделях в возможной степени опирающихся на экспериментальные данные для соседних ядер.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	5.19	3.53	1.66	1.69
JENDL-3.3	7.95	6.29	1.66	1.77
ENDF/B-VIIb2	222243	1291	220952	268
<b>ENDF/B-VII.0</b>	<b>8.015</b>	<b>6.353</b>	<b>1.662</b>	<b>2.713</b>
<b>Bemis-72</b>			<b>1.66±0.20</b>	<b>1.8±1.0</b>
<b>Macnamara-50</b>			<b>15</b>	

Противоречие между результатами измерений сечения захвата тепловых нейтронов Макнамарой и Бемисом велико, но не идет ни в какое сравнение с противоречием в оценках.

*После завершения настоящей работы стала доступна окончательная версия библиотеки ENDF/B-VII (версия 0), в которой отмеченная ошибка устранена. Тепловые сечения и резонансный интеграл, рассчитанные с помощью программы NJOY, также включены в вышеприведенную таблицу. Они слегка отличаются от указанных в заголовочной секции файла.*

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными. *Пересмотренная оценка, принятая в ENDF/B-VII представляется предпочтительнее всех остальных.*

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку из ENDF/B-VII.0.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.

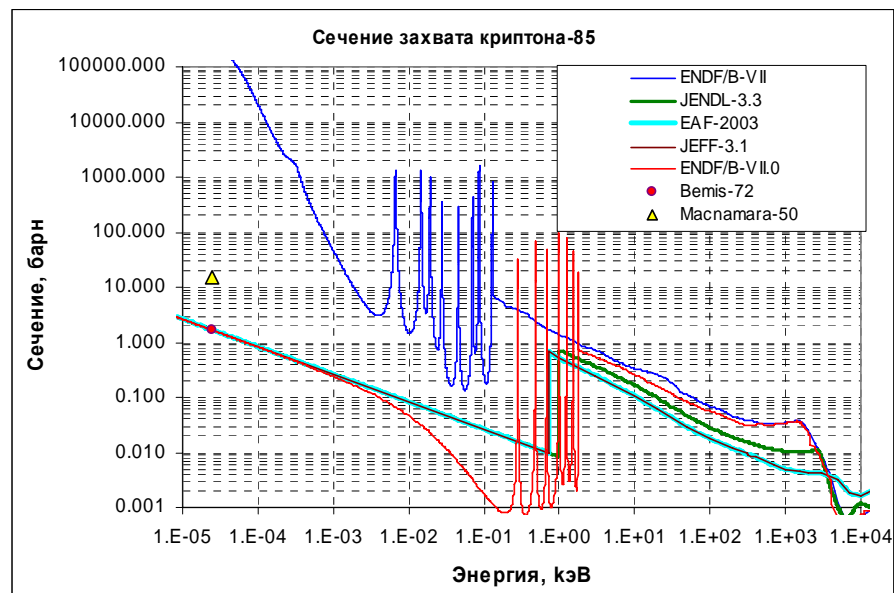


Рис.1. Сечение захвата.

### 36.9. Криптон-86

Содержание в естественной смеси 17.30%. Выход при делении урана-235 тепловыми нейтронами –  $2.00 \cdot 10^{-2}$ .

В современных библиотеках содержатся следующие оценки:

JEFF-3.1 – оценка 1982 г., выполненная группой специалистов для ENDF/B-V.

Область разрешенных резонансов содержит один резонанс.

JENDL-3.3 – оценка 1990г. японской группы специалистов по оценке данных для продуктов деления. Область разрешенных резонансов распространена до 640 кэВ. Она содержит параметры 33 s-резонансов (одно связанное состояние), 113 p-резонансов и 59 d-резонансов.

ENDF/B-VIIb2 – оценка WPEC SG23(рабочей группы по кооперации работ по оценке для международной библиотеки данных о продуктах деления), 1990 г. Отличие от предыдущей состоит в том, что параметры разрешенных резонансов приняты в соответствии с атласом С.Мухабхаба 2006 г. Связанное состояние отсутствует, а числа s-, p-и d-резонансов те же. RRR распространена до 950 кэВ.

Тепловые сечения и резонансные интегралы, следующие из оценок приведены ниже в сравнении с экспериментальными данными

Оценка	$\sigma(0.0253 \text{ эВ})$			RI
	Полное	Упругое	Захват	Захват
JEFF-3.1	6.105	6.048	0.061	0.135
JENDL-3.3	6.189	6.186	0.003	0.016
ENDF/B-VIIb2	5.474	5.473	0.0009	0.015
Macnamara-50			менее 2	
Hoagland-51			0.061	
Jensen-77			$0.003 \pm 0.001$	

Не ясно, что побудило оценщиков ENDF/B-VII понизить оценку сечения захвата втрое ниже и так низкого экспериментального результата. Это было достигнуто путем снижения радиационных ширин с 0.5 эВ до 0.153 эВ. Это привело к заметному занижению сечения захвата и в области сотен кэВ.

На рис.1. оцененные сечения захвата сравниваются друг с другом и немногими имеющимися экспериментальными данными.

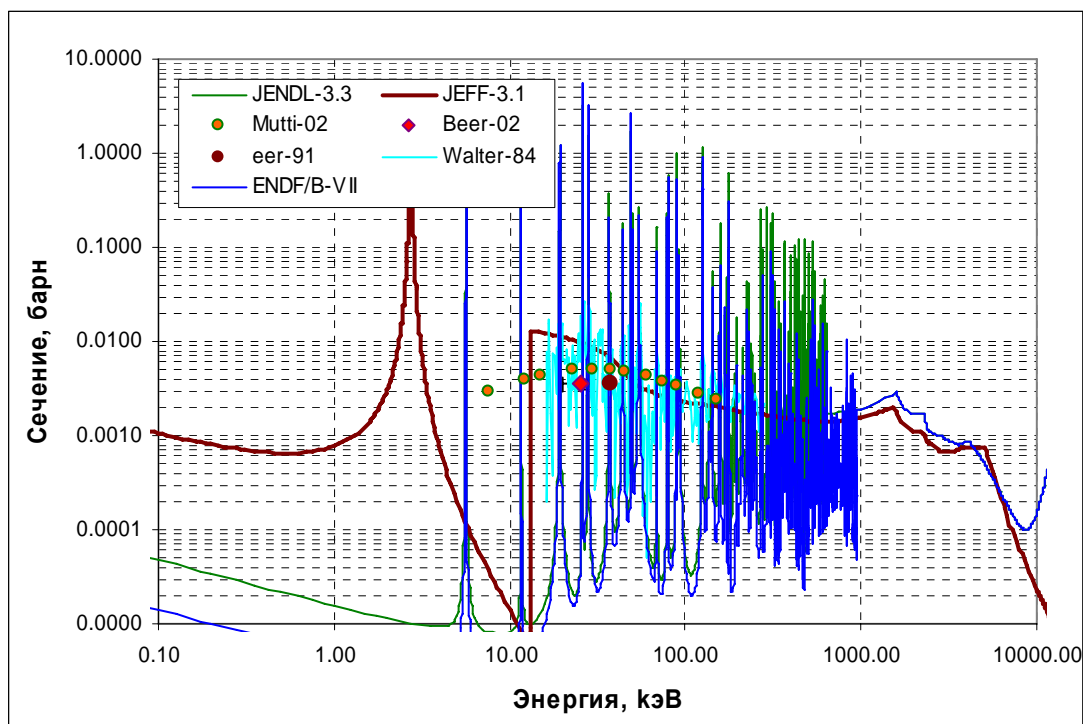


Рис.1. Сечение захвата.

Преимущество оценки ENDF/B-VIIb2, учитывающей какие-то новые данные, полученные с высоким разрешением, и подтверждаемой результатами измерений с низким разрешением, не вызывает сомнений.

Данные об образовании фотонов отсутствуют во всех оценках.

### Заключение

Включить в РОСФОНД оценку JENDL-3.3.

### Автор рекомендации

Николаев М.Н.