

## 55. ЦЕЗИЙ

Рассмотрение состояния дел по нейтронным данным для всех изотопов цезия выполнено В.Г.Проняевым. Им же выданы рекомендации о включении файлов оцененных данных в РОСФОНД. Подстрочные примечания о необходимости введения данных о вероятностях образования долгоживущих изомеров сделаны М.Н.Николаевым.

### 55.1. Цезий-129

Возможный путь образования в реакторе – реакция (n,d) на барии-130 (содержание – 0.1%).

Период полураспада:  $(32.06 \pm 0.06)$  часа.

Мода распада:  $\varepsilon^-$  100%.

Спин основного состояния:  $1/2^+$ .

#### Файлы

JEFF-3.1/A – оценка 2003 года файла для активационной библиотеки основанная на данных из активационной библиотеки ADL-3. Другие файлы представляют библиотеки данных по распаду и не содержат оценок нейтронных сечений.

#### Данные

Все нейтронные сечения для  $^{129}\text{Cs}$  из JEFF-3.1/A имеющие значения выше  $10^{-4}$  барн приведены на рисунке 1. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей.

#### Заключение

Файл  $^{129}\text{Cs}$  из библиотеки JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>1</sup>.

#### Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

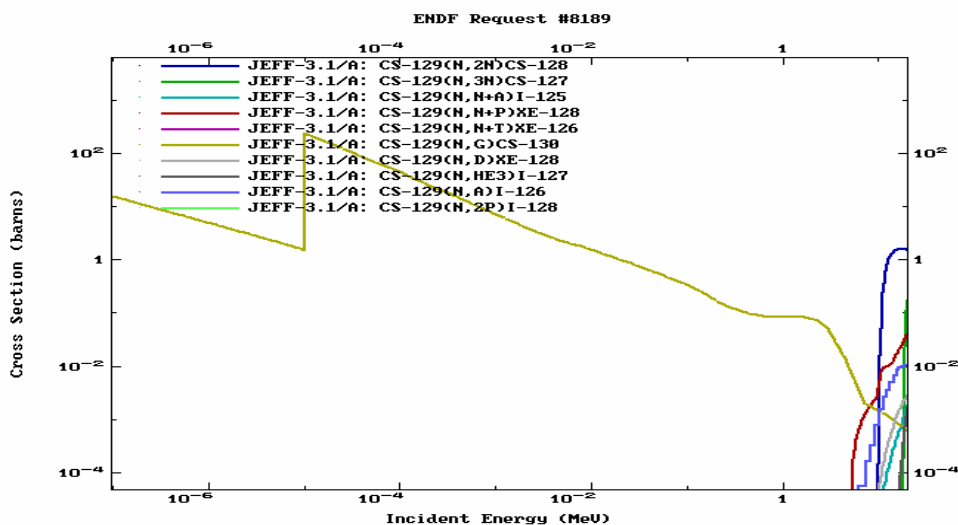


Рис. 1. Нейтронные сечения из библиотеки JEFF-3.1/A.

<sup>1</sup> Данные о парциальных сечениях всех реакций, содержащиеся в файле MF=10, просуммировать по подсекциям и включить в файл MF=3. Вести файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущего изомера  $^{129}\text{Xe}^m$ , используя данные из файла MF=10. Файл MF=10 исключить. – М.Н.

## 55.2. Цезий-131

Возможный путь образования в реакторе – реакция (n,d) на барии-132 (содержание – 0.1%).

Период полураспада:  $(9.689 \pm 0.016)$  дней.

Мода распада:  $\epsilon^-$  100%.

Спин основного состояния:  $5/2^+$ .

### Файлы

JEFF-3.1/A – оценка 2003 года файла для активационной библиотеки основанная на данных из активационной библиотеки ADL-3. Другие файлы представляют библиотеки данных по распаду и не содержат оценок нейтронных сечений.

### Данные

Все нейтронные сечения для  $^{131}\text{Cs}$  из JEFF-3.1/A имеющие значения выше  $10^{-4}$  барн приведены на рисунке 2. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей.

### Заключение

Файл  $^{131}\text{Cs}$  из библиотеки JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>2</sup>.

### Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

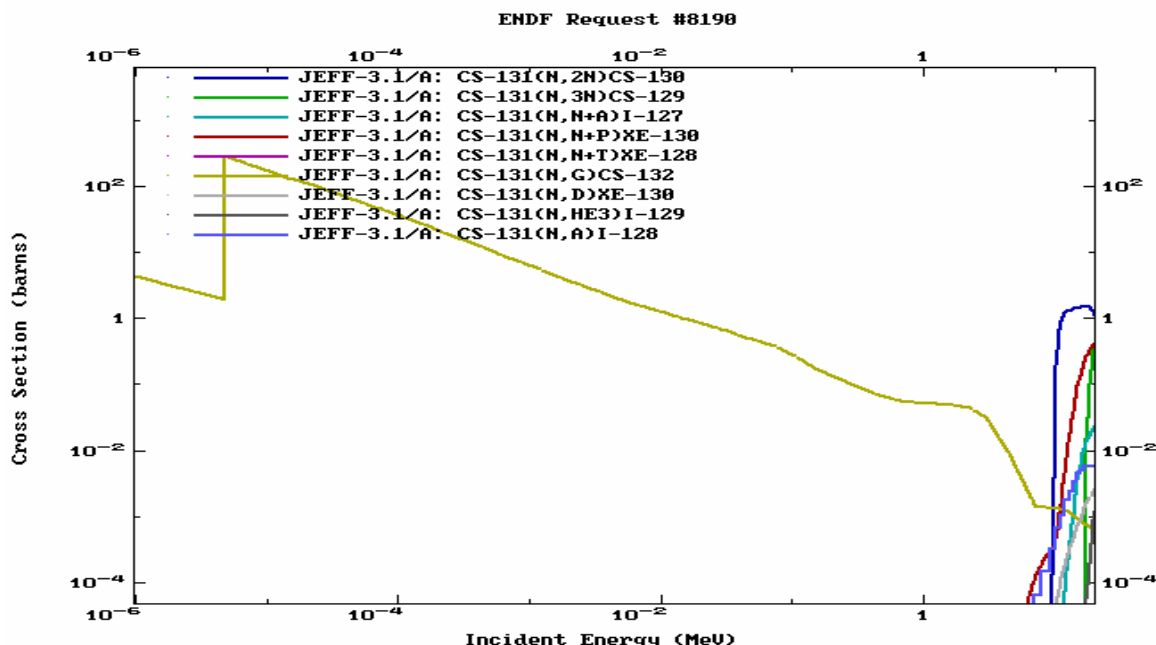


Рис. 2. Нейтронные сечения из библиотеки JEFF-3.1/A.

<sup>2</sup> Данные о парциальных сечениях всех реакций, содержащиеся в файле MF=10, просуммировать по подсекциям и включить в файл MF=3. Вести файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущих изомеров  $^{129}\text{Xe}^m$  и  $^{129}\text{Xe}^m$ , используя данные из файла MF=10. Файл MF=10 исключить. – М.Н.

### 55.3. Цезий-132

Возможные пути образования в реакторе – реакция (n,p) на барии-132 (содержание – 0.1%) и реакция (n,2n) на природном цезии-133.

Период полураспада:  $(6.480 \pm 0.006)$  дней.

Моды распада:  $\epsilon^-$  98.13%,  $\beta^-$  1.87%.

Спин основного состояния:  $2^+$ .

#### Файлы

JEFF-3.1/A – оценка 2003 года файла для активационной библиотеки основанная на данных из активационной библиотеки ADL-3. Другие файлы представляют библиотеки данных по распаду и не содержат оценок нейтронных сечений.

#### Данные

Все нейтронные сечения для  $^{132}\text{Cs}$  из JEFF-3.1/A имеющие значения выше  $10^{-4}$  барн приведены на рисунке 3. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей.

#### Заключение

Файл  $^{132}\text{Cs}$  из библиотеки JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>3</sup>.

#### Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

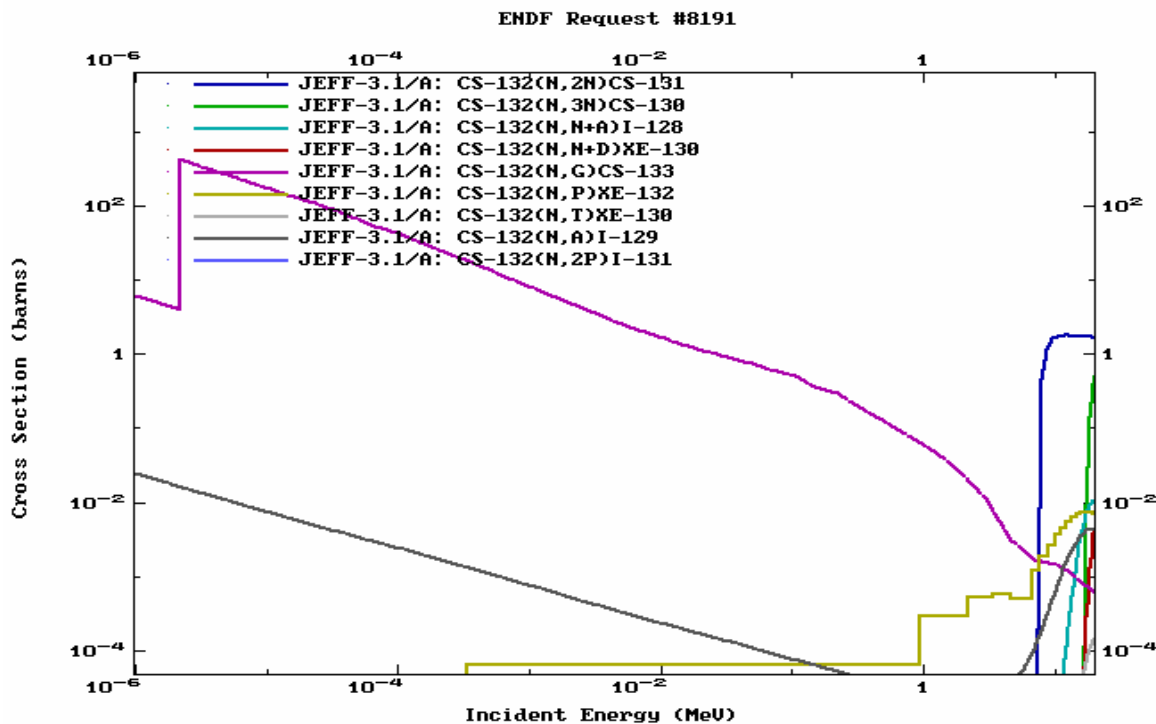


Рис. 3. Нейтронные сечения из библиотеки JEFF-3.1/A.

<sup>3</sup> Данные о парциальных сечениях всех реакций, содержащиеся в файле MF=10, просуммировать по подсекциям и включить в файл MF=3. Вести файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущего изомера  $^{129\text{m}}\text{Xe}$ , используя данные из файла MF=10. Файл MF=10 исключить. – М.Н.

## 55.4. Цезий-133

Может содержаться в ядерном топливе как продукт деления.

Содержание в естественной смеси: 100%.

Спин основного состояния:  $7/2^+$ .

### Файлы

Новая оценка для  $^{133}\text{Cs}$ , включая резонансную и быструю области энергий, была выполнена в 2000 году для библиотеки ENDF/B-VIIb2. В связи с этим нет необходимости проводить анализ файлов из других библиотек, а достаточно показать непротиворечивость её совокупности экспериментальных данных.

### Тепловая и резонансная область

Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата в файле хорошо согласуется с оценками приведёнными в Атласе Мухабхаба 2006. Статистический анализ распределений нейтронных ширин и расстояний между уровнями показывает, что как в s-, так и в p- волне отсутствует по крайней мере заметный пропуск резонансов, который может вести к недооценке сечения захвата в резонансной области энергий. На рисунке 4 показано сравнение оценённого сечения захвата в области разрешённых и неразрешённых резонансов с имеющимися экспериментальными данными. Учитывая невысокое разрешение для некоторых данных в резонансной области, в целом наблюдается хорошее согласие. Хорошее согласие с экспериментальными данными наблюдается и для полного сечения ниже энергии первого резонанса.

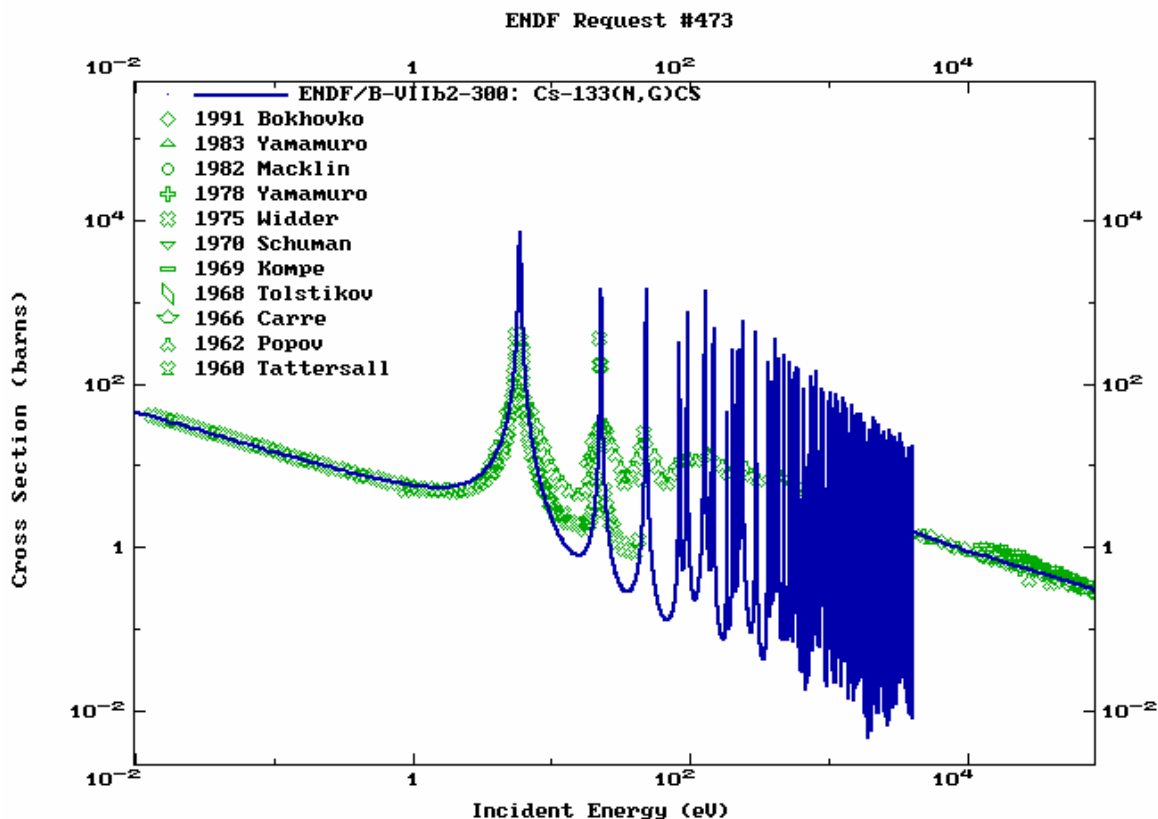


Рис. 4. Сравнение сечения захвата в тепловой, а так же в области разрешённых и неразрешённых резонансов из библиотеки ENDF/B-VIIb2 с имеющимися экспериментальными данными.

## Область быстрых нейтронов

Сечения в области нейтронов быстрых энергий были получены с помощью программы EMPIRE при учёте вкладов всех возможных механизмов реакций. Качество описания экспериментальных данных по полному сечению показано на рисунке 5, а сечения (n,2n) – на рисунке 6.

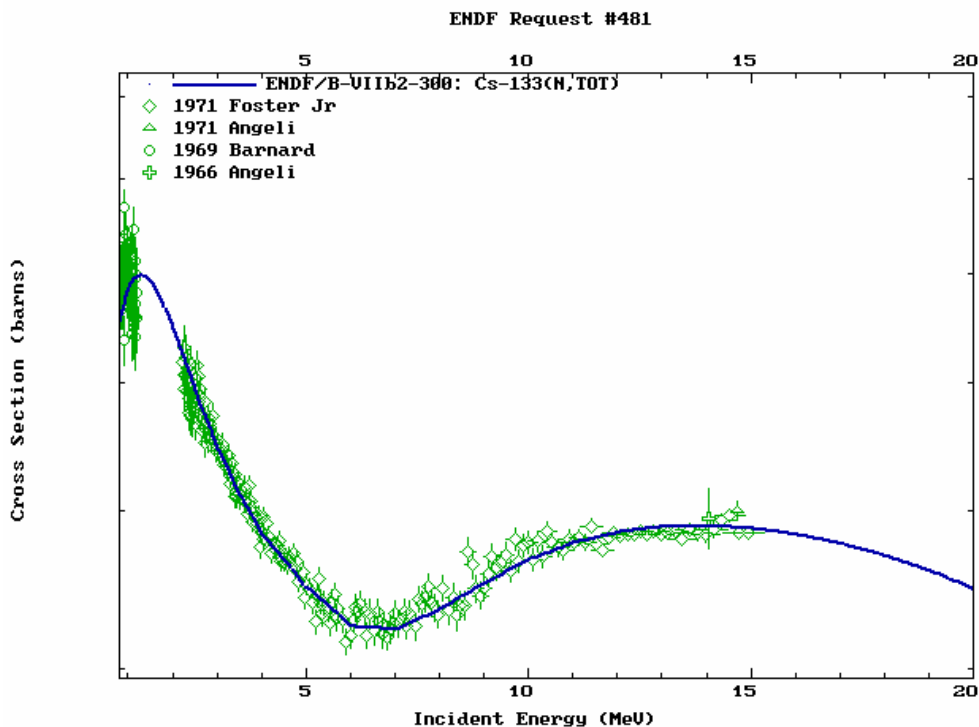


Рис. 5. Сравнение полного сечения из библиотеки ENDF/B-VIIb2 с имеющимися экспериментальными данными.

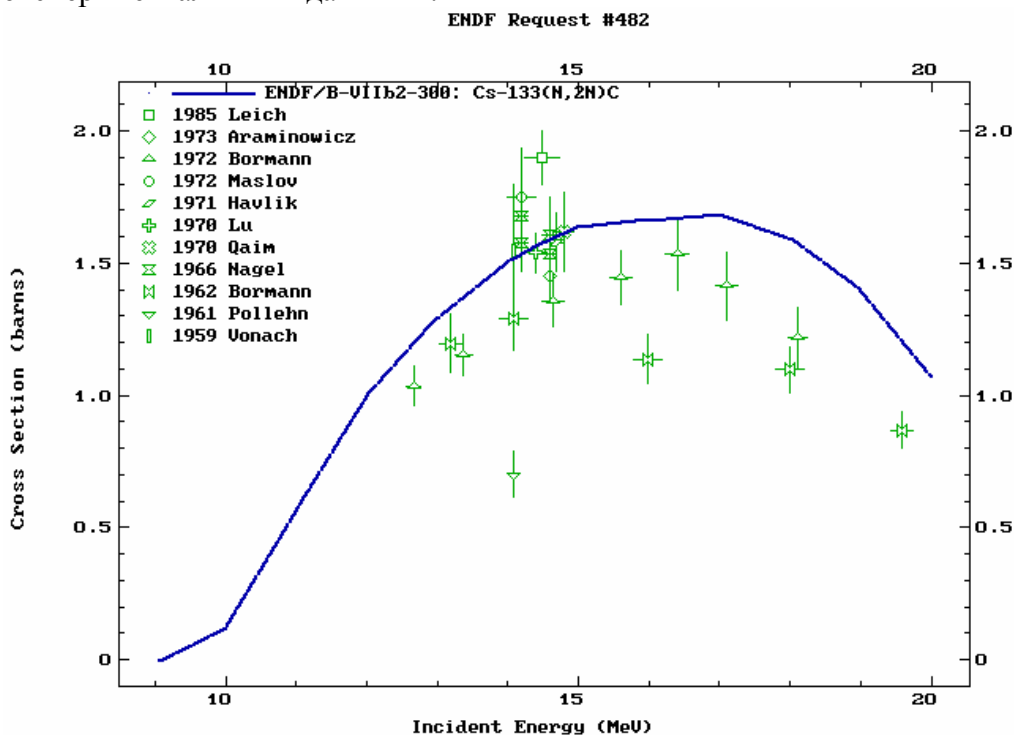


Рис. 6. Сравнение сечения (n,2n) из библиотеки ENDF/B-VIIb2 с имеющимися экспериментальными данными.

## Заключение

Учитывая, что новая оценка хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными и рекомендована рабочей группой по оценке сечения как наилучшая, файл  $^{133}\text{Cs}$  из библиотеки ENDF-VIIb2 может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>4</sup>.

### Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

## 55.5. Цезий-134

В ядерном топливе может присутствовать как продукт деления.

Период полураспада:  $(2.0652 \pm 0.0004)$  лет.

Моды распада:  $\epsilon^-$  3e-04%,  $\beta^-$  99.9997%.

Спин основного состояния:  $4^+$ .

### Файлы

ENDF/B-VI (JEF-2) – оценка 1974 года.

JENDL-3.2 – оценка 1990 года.

CENDL-3 – оценка 1999 года.

ENDF/B-VIIb2 – в тепловой и резонансной области энергий ( $E_n < 180$  эВ) оценка основывается на резонансных параметрах из Атласа Мухабхаба 2006, а для области неразрешённых резонансов и области высоких энергий - на оценке JENDL-3.2.

### Тепловая и резонансная область

Так как резонансные параметры в Атласе-2006 не отличаются от приведённых в предыдущей оценке (MU81), то оценки JENDL-3.2 и ENDF/B-VIIb2 практически совпадают. Сечение захвата в области неразрешённых резонансов из библиотеки ENDF/B-VIIb2 (JENDL-3.2) показаны на рисунке 7 в сравнении с последними экспериментальными данными (Патронис, 2004). Экспериментальные данные представляют сечения, усреднённые по спектру Максвелла и показанные для средней энергии спектра. Очевидно, что расхождение между данными только возрастёт, если процедуру усреднения по спектру Максвелла провести для оценённого сечения.

---

<sup>4</sup> Следует включить файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера  $^{133}\text{Xe}^m$ , используя данные файла MF=10 из EAF-2003. Образование  $^{131}\text{Xe}^m$  в рамках данного файла описать невозможно, поскольку данные о сечении реакций (n,d) и (n,n'p) в нем не представлены. – М.Н.

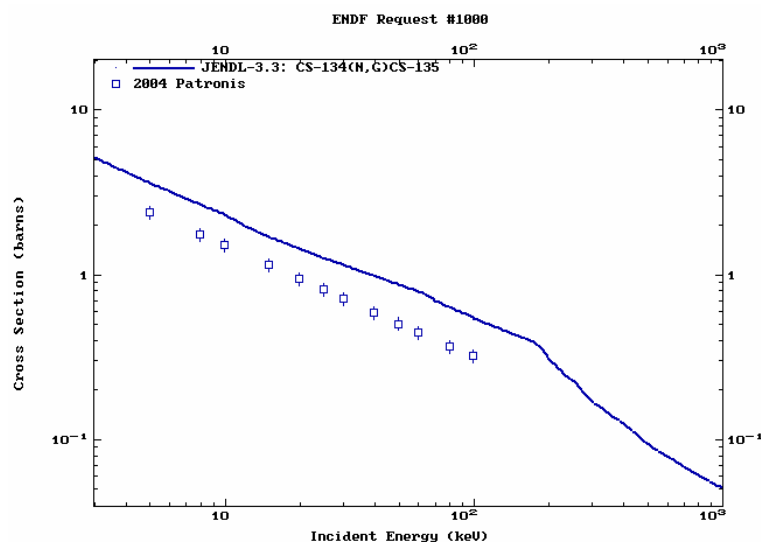


Рис. 7. Сравнение сечения захвата из библиотеки JENDL-3.2 (ENDF/B-VIIb2) с экспериментальными данными.

### Область быстрых нейтронов

Экспериментальные данные в области энергий быстрых нейтронов практически отсутствуют. Сечения в области нейтронов быстрых энергий для последних оценок в быстрой области энергий (JENDL-3.2 и CENDL-3) были получены в оптико-статистических модельных расчётах с учётом вклада прямых процессов. Учитывая, что согласие между двумя независимыми оценками является неплохим, можно говорить о достаточной надёжности оценок основных сечений полученных в модельных расчётах.

### Заключение

Файл  $^{134}\text{Cs}$  из библиотеки ENDF-VIIb2 может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>5</sup>. Сечение захвата в области неразрешённых резонансов в дальнейшем должно быть переоценено с учётом новейших данных Патрониса.

**Автор проведенного отбора оцененных данных**  
В.Г.Проняев.

## 55.6. Цезий-135

В ядерном топливе может присутствовать как продукт деления.  
Период полураспада:  $(2.3 \pm 0.3) \cdot 10^6$  лет.  
Мода распада:  $\beta$  100%.  
Спин основного состояния:  $7/2^+$ .

### Файлы

ENDF/B-VI: Оценка 1974 года, существенная ревизия в 1998 году (MF=2, 3).

BROND-2: Оценка 1985 года, данные взяты из JENDL-1; сечение захвата выше 30 эВ пересмотрено.

JEF-2: Оценка 1975 года, существенная ревизия в 1985 и 1988 годах (MF=2), в 1989 году.

<sup>5</sup> Следует включить файл MF=9 с вероятностями образования долгоживущего изомера  $^{133}\text{Xe}^m$ , используя данные файла MF=10 из EAF-2003.

JENDL-3: Оценка 1984 года, взята из JENDL-2, существенная ревизия - в 1990 году.

CENDL-3: Оценка 1999 года. В тепловой области и области разрешённых резонансов совпадает с JENDL-3.

ENDF/B-VIIb2: Оценка 2005 года. Оценка в резонансной области основывается на новых параметрах из Атласа (Мухабхаб, 2006), оценка в области неразрешённых резонансов и быстрой области взята из JENDL-3.2 с несущественными поправками формата. Число резонансов, включённых в файл заметно увеличилось.

### Тепловая и резонансная область

Учёт большего числа резонансов в ENDF/B-VIIb2 практически не изменил сечения в тепловой точке, но уменьшил величину резонансного интеграла захвата с более чем 60 барн в старых оценках – до 50.8 барна. Это улучшило согласие с независимой оценкой, основанной на прямых измерениях резонансного интеграла ( $37.9 \pm 2.7$ ) барна по сравнению с другими файлами. Учитывая, что заметная доля резонансного интеграла набирается в области неразрешённых резонансов, необходима переоценка. Сечение захвата в области неразрешённых резонансов из библиотеки ENDF/B-VIIb2 (JENDL-3.2) показаны на рисунке 8 в сравнении с последними экспериментальными данными (Патронис, 2004). Как видно, новейшие экспериментальные данные так же указывают на то, что сечение захвата в ENDF/B-VIIb2 (JENDL-3.2) в кэВ-ной области также завышены процентов на 30 и нуждаются в переоценке. Наиболее близкие значения к данным Патрониса содержатся в оценке BROND-2.

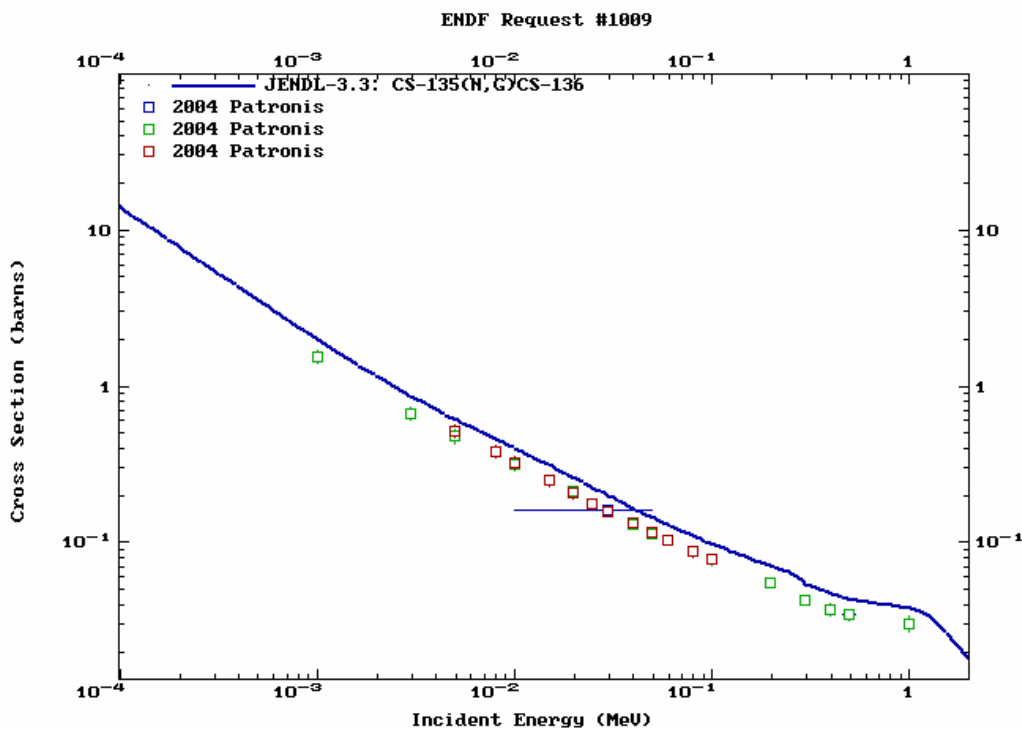


Рис. 8. Сравнение сечения захвата из библиотеки JENDL-3.2 (ENDF/B-VIIb2) с экспериментальными данными.



## **Область быстрых нейтронов**

Экспериментальные данные в области энергий быстрых нейтронов практически отсутствуют. Сечения в области нейтронов быстрых энергий для последних оценок в быстрой области энергий (JENDL-3.2 и CENDL-3) были получены в оптико-статистических модельных расчётах с учётом вклада прямых процессов. Учитывая, что согласие между двумя независимыми оценками является неплохим, можно говорить о достаточной надёжности оценок основных сечений полученных в модельных расчётах.

### **Заключение**

Файл  $^{135}\text{Cs}$  из библиотеки ENDF-VIIb2 может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД<sup>6</sup>. Сечение захвата в области неразрешённых резонансов и до 1 МэВ должно быть переоценено с учётом новейших данных Патрониса.

### **Автор проведенного отбора оцененных данных**

В.Г.Проняев.

---

<sup>6</sup> Дополнить файлом MF=9 с секцией 105 с вероятностью образования Хе-133m. Данные взять из EAF-2993.– М.Ниолаев.

## 55.7. Цезий-136

В ядерном топливе может присутствовать как продукт деления, образовываться в результате реакции  $^{135}\text{Cs}(n,\gamma)$  и др.

Период полураспада:  $(13.04 \pm 0.03)$  дней.

Мода распада:  $\beta^-$  100%.

Спин основного состояния:  $5^+$ .

### Файлы

ENDF/B-VI (JEF-2) – оценка 1974 года (взята из ENDF/B-V).

JENDL-3.2 – оценка 1990 года.

JEF-2 – оценка года (взята из ENDF/B-V), существенная ревизия выполнена в 1989 году (MF=2).

ENDF/B-VIIb2 – оценка взята из JENDL-3.2 с незначительной корректировкой формата.

### Тепловая и резонансная область

Экспериментальные данные для  $^{136}\text{Cs}$  отсутствуют за исключением недавних измерений сечений захвата усреднённых по спектру Максвелла с различной температурой (Патронис, 2004). Сравнение сечений захвата в области неразрешённых резонансов показывает, что модельные оценки дают завышенное сечение и JENDL-3 лучше согласуется с новейшими экспериментальными данными, чем ENDF/B-VI (рисунок 9).

### Область быстрых нейтронов

Экспериментальные данные в области энергий быстрых нейтронов отсутствуют. Сечения в области нейтронов быстрых энергий в JENDL-3.2 были оценены в оптико-статистических модельных расчётах с учётом вклада прямых процессов и физически более обоснованы, чем в ENDF/B-VI.

### Заключение

Файл  $^{136}\text{Cs}$  из библиотеки ENDF-VIIb2 может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД. Сечение захвата в области энергий неразрешённых резонансов и до 1 МэВ желательно переоценить с учётом новейших данных Патрониса.

### Автор проведенного отбора оцененных данных

В.Г.Проняев.

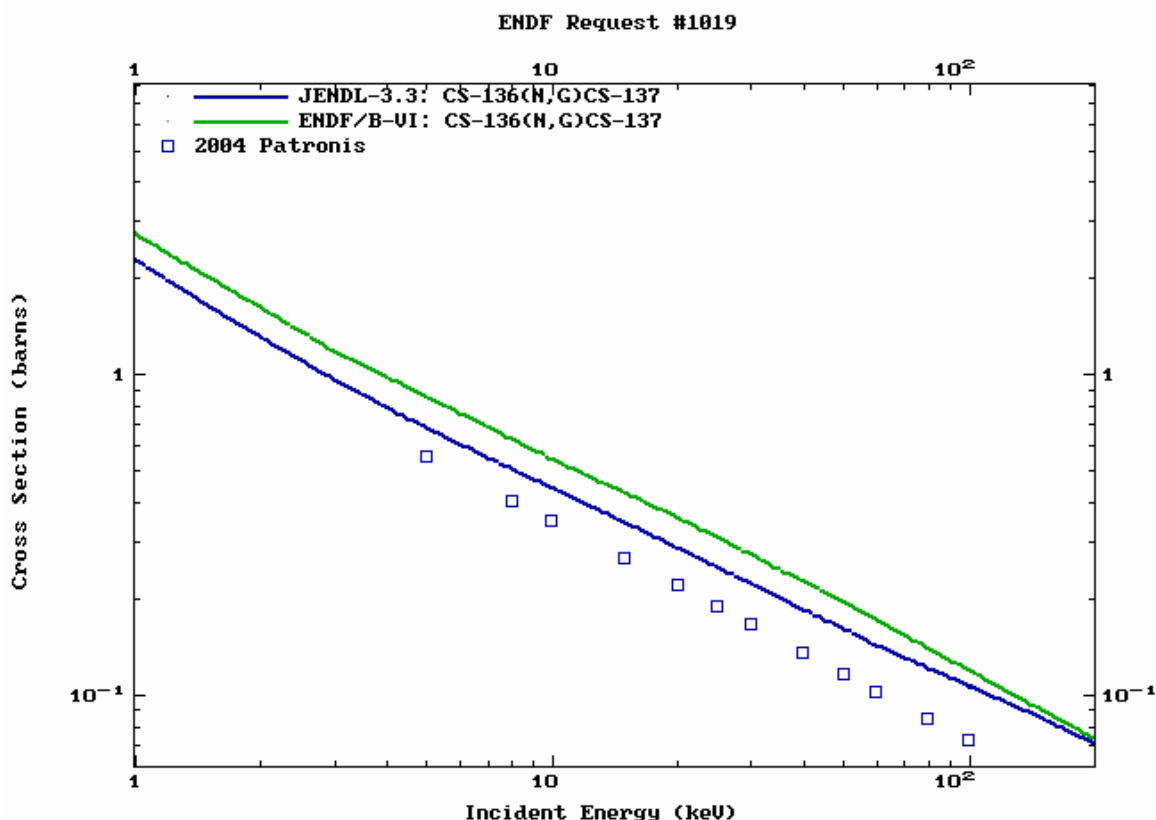


Рис. 9. Сравнение сечения захвата из библиотеки JENDL-3.2 и ENDF/B-VI с экспериментальными данными.

## 55.8. Цезий-137

В ядерном топливе может присутствовать как продукт деления.

Период полураспада:  $(30.03 \pm 0.05)$  лет.

Мода распада:  $\beta^-$  100%.

Спин основного состояния:  $7/2^+$ .

### Файлы

ENDF/B-VI: Оценка 1974 года.

JEF-2: Оценка 1977 года, существенная ревизия в 1985 и 1988 годах (MF=2), в 1989 году.

JENDL-3: Оценка 1984 года, взята из JENDL-2, существенная ревизия - в 1990 году (MF2, MF3).

CENDL-3: Оценка 1999 года. В тепловой области и области разрешённых резонансов совпадает с JENDL-3, за исключением области 80 – 100 кэВ.

ENDF/B-VIIb2: Оценка взята из JENDL-3.2 с несущественными поправками формата.

### Тепловая и резонансная область

Сравнение экспериментальных и оценённых тепловых сечений и резонансных интегралов захвата приведено в таблице 1. Как видно, JENDL-3 наилучшим образом описывает

тепловые сечения и резонансный интеграл хотя экспериментальное значение резонансного интеграла известно только для образования ядра-продукта в основном состоянии<sup>7</sup>.

Таблица 1. Сравнение тепловых сечений (барн, при 0.0253 эВ) и резонансных интегралов захвата (барн) из разных библиотек с имеющимися экспериментальными данными.

Библиотека Эксперимент	Полное	Захват	Упругое	Резонансный интеграл захвата
ENDF/B-VI	4.987	0.110	4.877	0.488
JEF-2	2.659	0.141	2.517	
JENDL-3 (ENDF/B-VIIb2)	3.79	0.25	3.54	0.36
CENDL-3	3.84	0.26	3.54	2.11
Maidana (1998)		0.253± 0.015 0.264±0.015		
Wada (2000)		0.27± 0.03		
Harada (1991)		0.25±0.02		0.36±0.07 (только в осн. сост.)

На рисунке 10 показано сравнение оценённого сечения захвата в области неразрешённых резонансов с последними экспериментальными данными Патрониса (2004). Как видно, все библиотеки существенно завышают сечения захвата в этой области энергий.

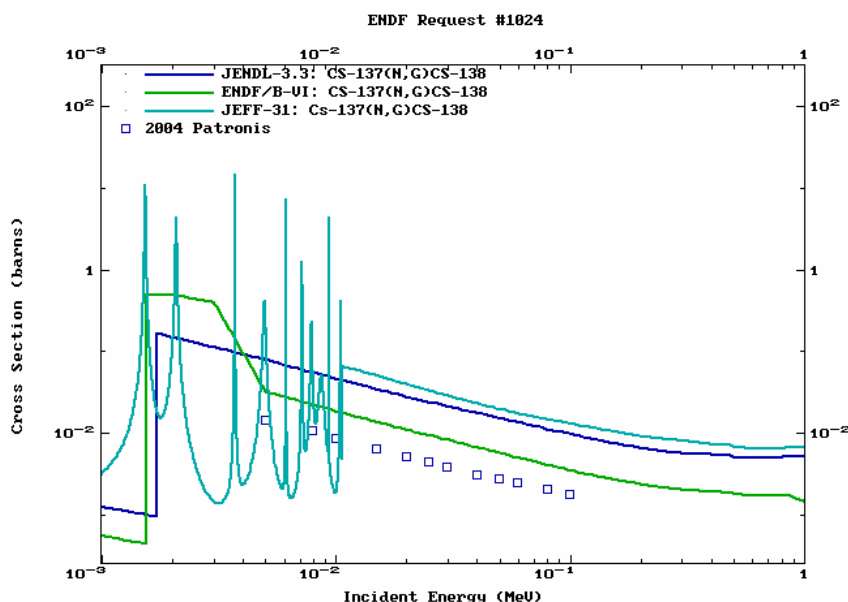


Рис. 10. Сравнение сечения захвата из библиотеки JENDL-3.2 и ENDF/B-VI и JEFF-3.1 (JEF-3.2) с экспериментальными данными.

<sup>7</sup> По оценке EAF-2003 вероятность образования ядра-продукта в основном состоянии при низких энергиях составляет 90%. – М.Н.

## **Область быстрых нейтронов**

Экспериментальные данные в области энергий быстрых нейтронов отсутствуют. Сечения в области нейтронов быстрых энергий в JENDL-3.2 были оценены в оптико-статистических модельных расчётах с учётом вклада прямых процессов и физически более обоснованы, чем в ENDF/B-VI.

## **Заключение**

Файл  $^{137}\text{Cs}$  из библиотеки ENDF-VIIb2 может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД. Сечение захвата в области энергий неразрешённых резонансов и до 1 МэВ должно быть переоценено с учётом данных Патрониса.

**Автор проведенного отбора оцененных данных**

В.Г.Проняев.