

96. КЮРИЙ

96.0. Общие замечания

Для библиотеки файлов нейтронных данных РОСФОНД следовало отобрать нейтронные данные для одиннадцати долгоживущих изотопов кюрия.

Ниже анализируются оцененные нейтронных данных изотопов кюрия из известных национальных библиотек на предмет их соответствия имеющимся экспериментальным данным и непротиворечивости их современным теоретическим моделям. Используемые экспериментальные данные взяты из международной библиотеки EXFOR на состояние 2006 года.

96.1. Кюрий-240

Оценки сечений Cm-240 имеются в библиотеках JENDL-3.3 и JEFF-31.

Оценка JEFF-3.1 выпущена в 2005 году и включает оценку JENDL-3.3 без заметных изменений.

Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году и основана на оценке T.Nakagawa (JAERI) 1995 г.

1. Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 240$ (атомный вес);

1.3. $AW = 237.993$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 27$ дней, доминирует α -распад (99.5%) с вкладом $3.9E-6\%$ спонтанного деления и 0.5% ϵ -захвата.

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог-}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0380 | .0382 | Cm-243 |
| 16 | n,2n | -7.450 | 7.481 | Cm-242 |
| 17 | n,3n | -13.817 | 13.875 | Cm-241 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 6.076 | 0 | Cm-244 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов.

Область разрешенных резонансов в оценках JENDL-3.3 и JEFF-31 ограничена энергией 150 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы приведены в таблице 1. Экспериментальных данных нет. Приведенные в таблице величины рассчитаны по теоретическим параметрам резонансов.

Таблица 1 – Резонансные свойства Cm-240.

| | JENDL-3.3 | JEFF-3.1 |
|-----------------------|-----------|----------|
| σ_{tot} | 198.4 | 198.4 |
| σ_{el} | 13.1 | 13.1 |
| σ_f | 9.8 | 9.8 |
| σ_γ | 175.6 | 175.6 |
| I_f | 44.6 | 44.6 |
| I_γ | 668.0 | 668.0 |

На рисунках 1-3 представлены оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов.

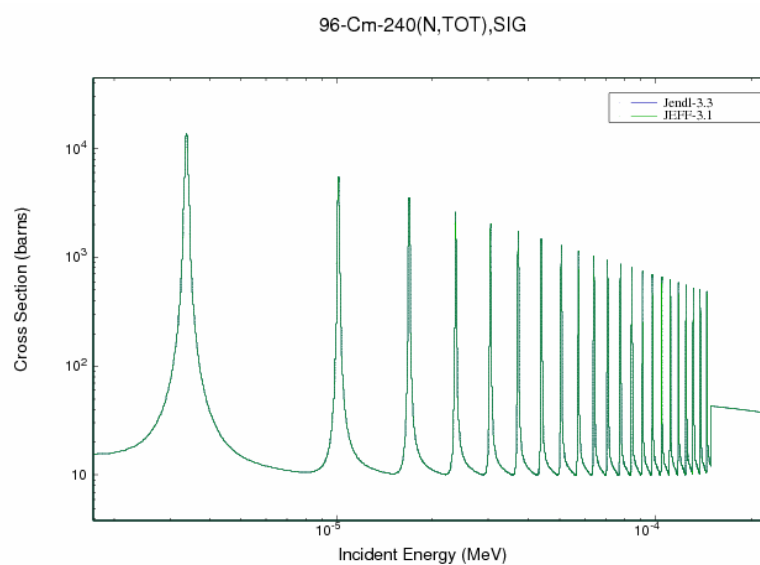


Рисунок 1. Полное сечение Cm-240 в области энергий разрешенных резонансов.

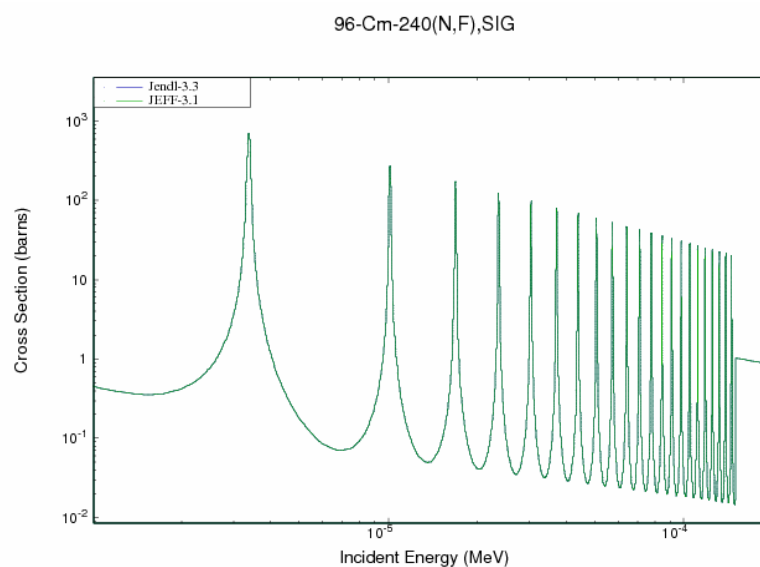


Рисунок 2. Сечение деления Cm-240 в области энергий разрешенных резонансов.

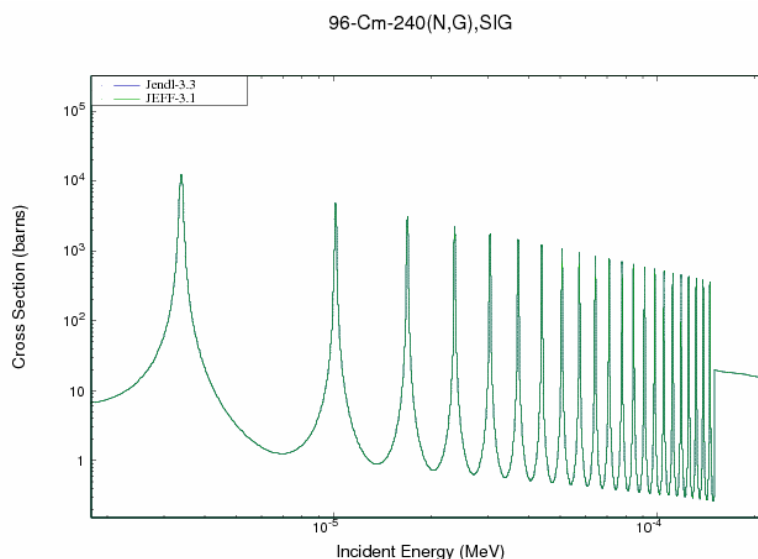


Рисунок 3. Сечение радиационного захвата в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов.

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

JENDL-3.3 150 эВ – 30 кэВ

JEFF-31 150 эВ – 30 кэВ

Экспериментальных данных, оцененные данные получены расчетом по моделям ядерных реакций.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

В этой области при отсутствии экспериментальных данных трудно судить о достоверности представленных данных. При дальнейшем анализе используются только физические представления и эмпирические систематики, позволяющие исключить явно ошибочные зависимости.

Полное сечение (MT=1).

В быстрой области энергий нейтронов экспериментальных данных нет. Нет оснований для критических замечаний. Энергетическая зависимость полного сечения в быстрой области энергий показана на рисунке 4.

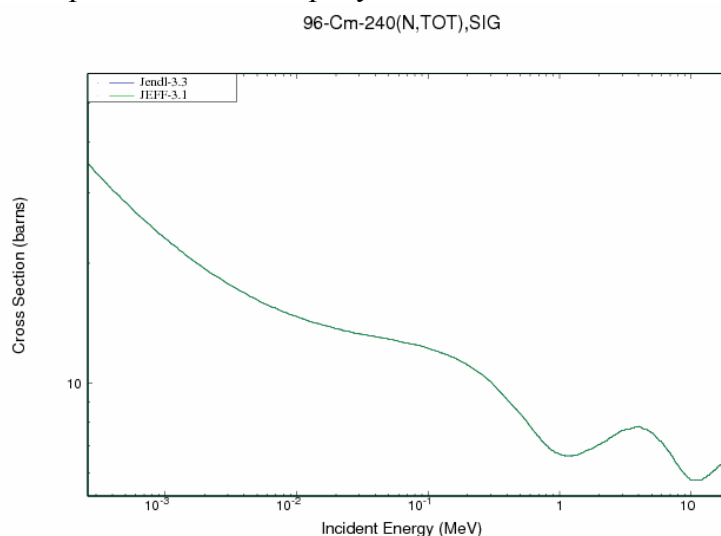


Рисунок 4. Полное сечение в области энергий нейтронов 30 кэВ – 20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. Нет основания для критических замечаний.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных также нет. На рисунке 5 показано оцененное интегральное сечение неупругого рассеяния. Представленная зависимость не соответствует физическим представлениям и нуждается в новой оценке.

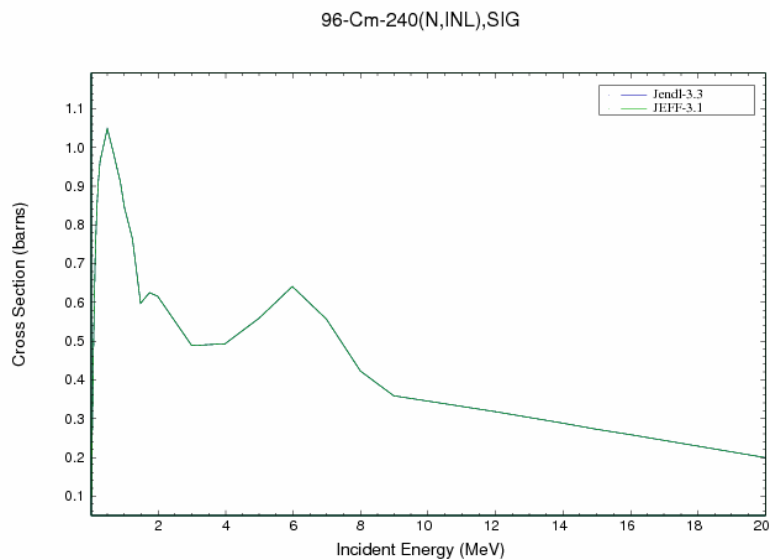


Рисунок 5. Сечение неупругого рассеяния Cm-240 в области энергий 1-20 МэВ..

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 6 показана оценка сечений деления. Представленная оценка соответствует примерно систематикам сечений деления /4/ и может быть рекомендована.

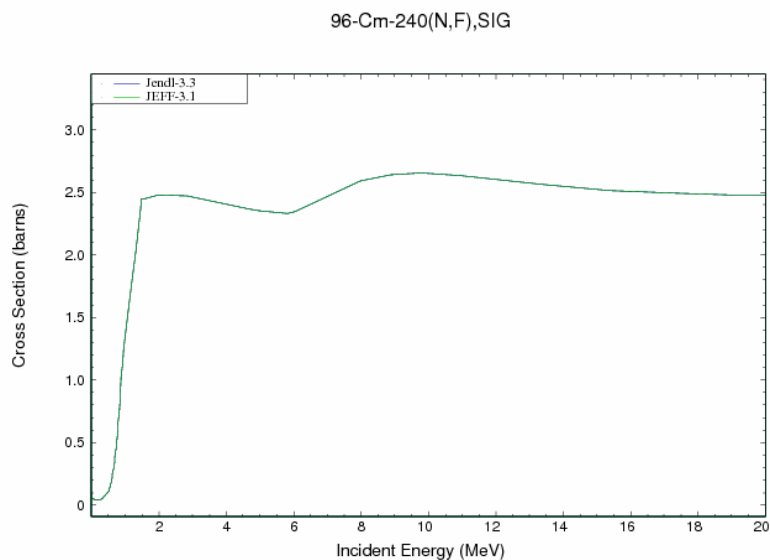


Рисунок 6. Сечение деления Cm-240 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /1/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /2/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

На рисунке 7 приведены оценки сечений радиационного захвата. Оценка примерно соответствует физическим представлениям.

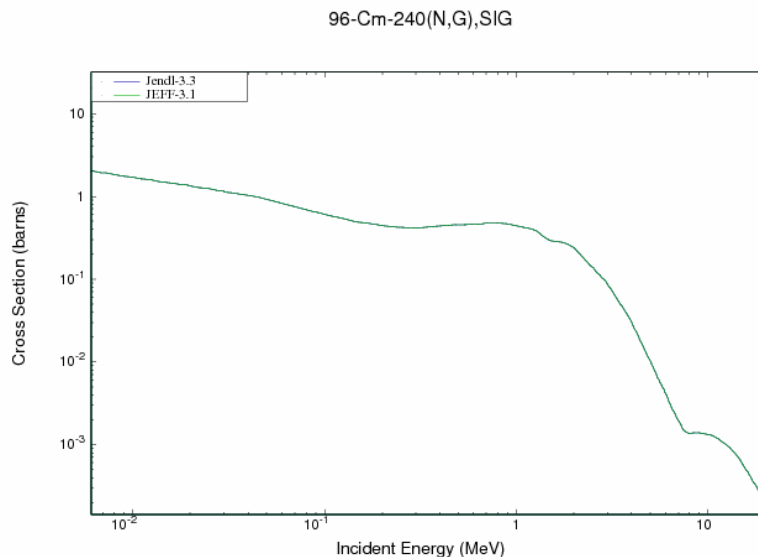


Рисунок 7. Сечение радиационного захвата в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет, все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Представленная оценка показана на рисунке 8 и примерно соответствует систематикам /3/.

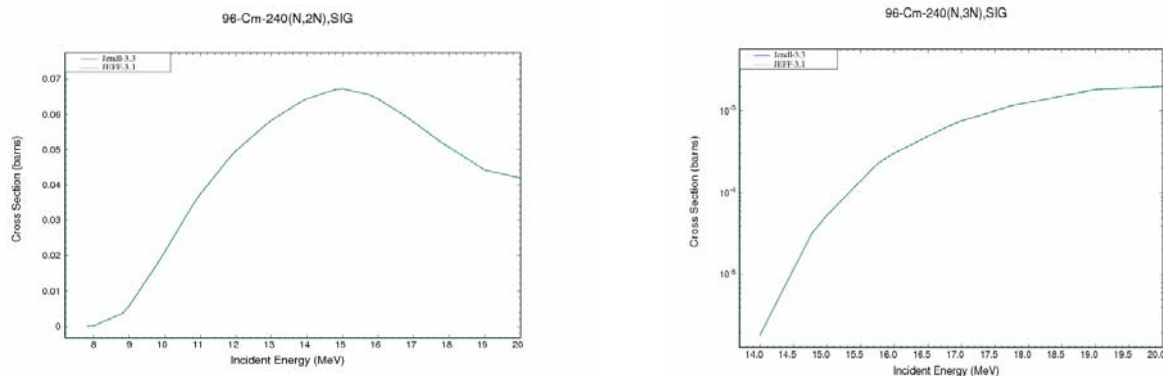


Рисунок 8. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-240.

Заключение.

Оценки JENDL-3.3 и JEFF-3.1 идентичны для всех нейтронных реакций и кроме интегрального сечения неупругого рассеяния дают значения сечений, не противоречащие физическим представлениям и эмпирическим систематикам.

Для библиотеки РОСФОНД возможно принять оценку JENDL-3.3¹.

В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на какую-либо возможность уточнения этой оценки.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

96.2. Кюрий-241

Оценки сечений Cm-241 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3 и JEFF-3.1.

Оценка JEFF-3.1 выпущена в 2005 году после ревизии в том же 2005 году итальянской оценки (NEA) 1982 года. Оценка является результатом последовательной конверсии ENDF/B-V – JEF-2.2 - JEFF-3.0 - JEFF-3.1. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2005 году, в ней принята без изменений оценка ENDF/B-VI, которая конвертирована из ENDF/B-V и которая является модификацией оценки Манна 1982 года. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году после ревизии в 2000 году оценки T.Nakagawa 1995 года.

Нижеследующий анализ показывает, что оценка JEFF-3.1 и ENDF/B-VII по всем реакциям содержат одни и те же данные и полностью совпадают.

1. Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 241$ (атомный вес);

1.3. $AW = 238.987$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 32.8$ дня, доминирует ε -захват (99.0%), α -распад 1%.

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0530 | .0422 | Cm-241 |
| 16 | n,2n | -6.076 | 6.102 | Cm-242 |
| 17 | n,3n | -13.533 | 13.590 | Cm-241 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 6.967 | 0 | Cm-244 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов имеется только в библиотеке JENDL-3.3 и ограничена энергией 150 эВ.

Резонансные свойства Cm-241 для рассматриваемых оценок приводятся в таблице 2. Экспериментальные данные отсутствуют.

¹ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. – М.Николаев.

Таблица 2. Резонансные свойства Cm-241.

| | JENDL-3.3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 |
|-----------------------|-----------|------------|----------|
| σ_{tot} | 601.79 | 2862 | 2862 |
| σ_{el} | 7.99 | 12.08 | 12.08 |
| σ_f | 549.82 | 2599 | 2599 |
| σ_γ | 43.99 | 250 | 250 |
| I_f | 1180 | 1178 | 1178 |
| I_γ | 96 | 112.3 | 112.3 |

На рисунках 9-12 представлены оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов.

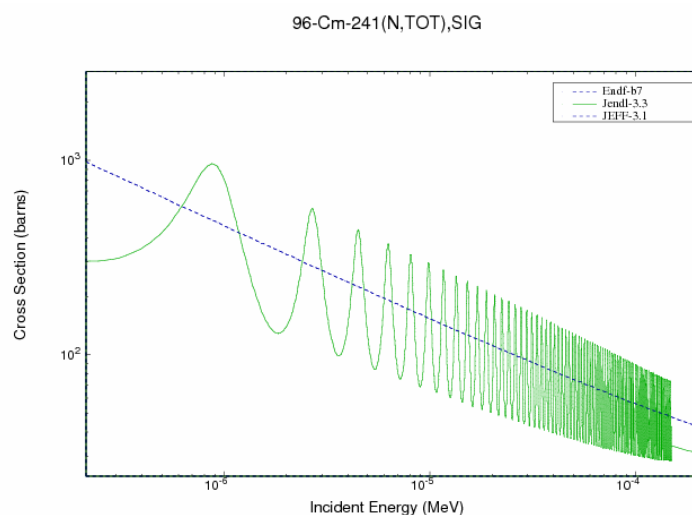


Рисунок 9. Полное сечение Cm-241 в области энергий разрешенных резонансов.

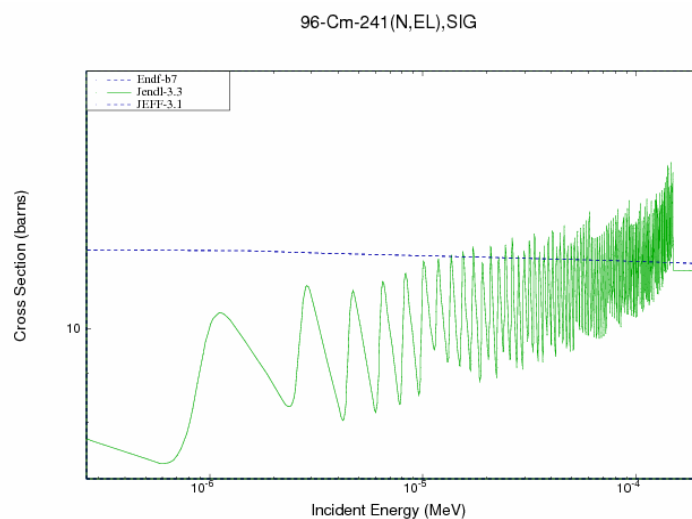


Рисунок 10. Сечение упругого рассеяния на Cm-241 в области энергий разрешенных резонансов.

Оценка сечения реакции упругого рассеяния JENDL-3.3 выглядит весьма странно.

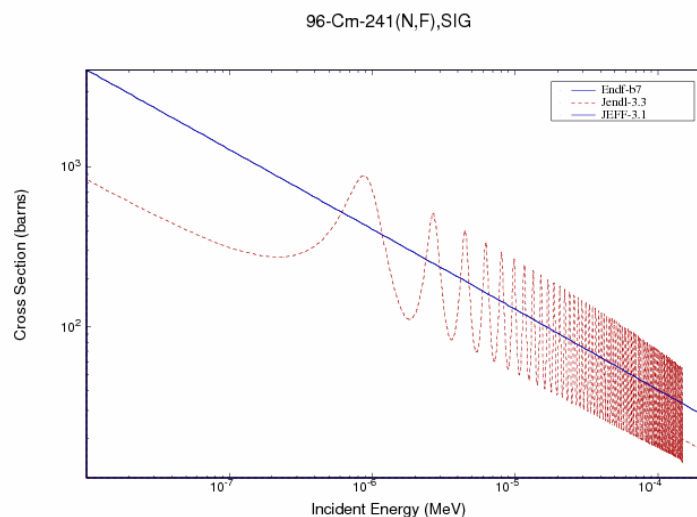


Рисунок 11. Сечение деления Cm-241 в области энергий разрешенных резонансов.

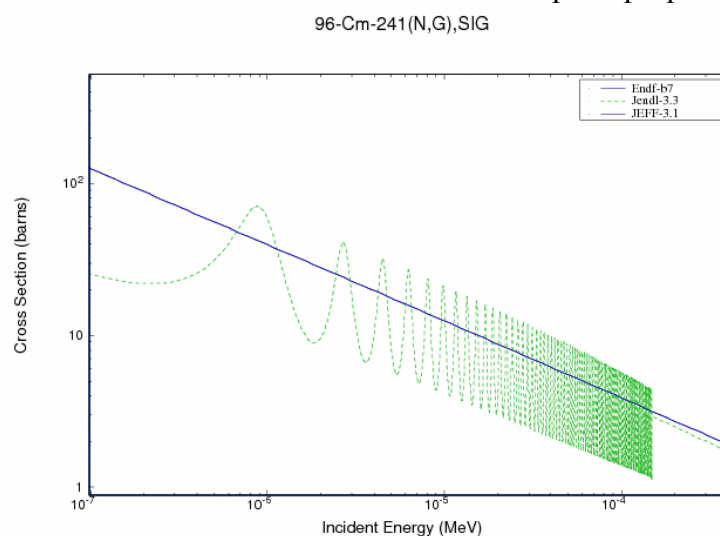


Рисунок 12. Сечение радиационного захвата Cm-241 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

JENDL-3.3

150 эВ – 30 кэВ

Энергетическая зависимость сечений в области неразрешенных резонансов будет показана на дальнейших рисунках.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

В этой области при отсутствии экспериментальных данных трудно судить о достоверности представленных данных. При дальнейшем анализе используются только физические представления и эмпирические систематики, позволяющие исключить явно ошибочные зависимости.

Полное сечение (MT=1)

Сравнение оцененных сечений показано на рисунке 13.

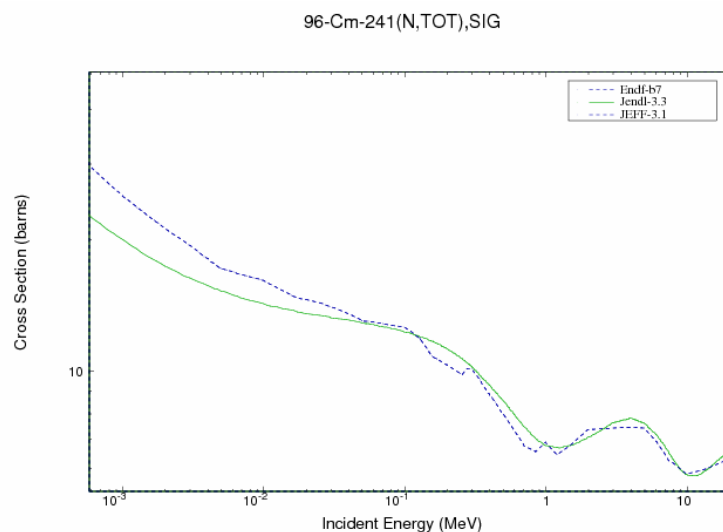


Рисунок 13. Полное сечение Cm-241 в области энергий нейтронов 1 кэВ –20 МэВ.

Оценке JENDL-3.3 по полному сечению следует отдать предпочтение.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 14 дано сравнение разных оценок. Оценки примерно равноценны.

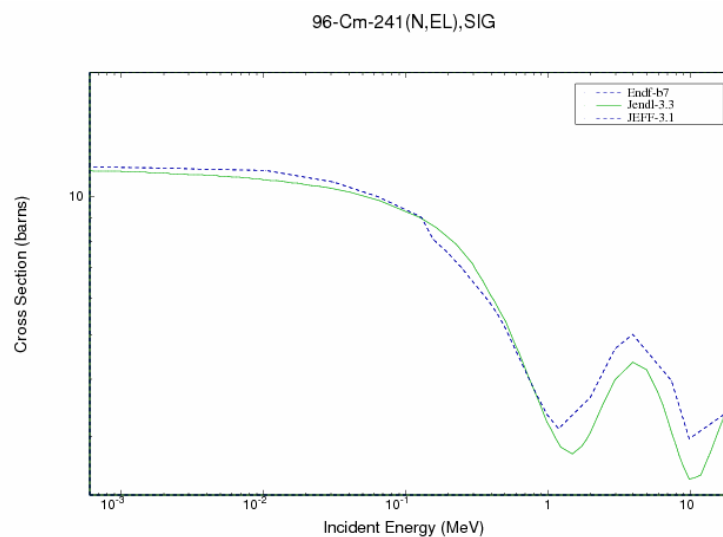


Рисунок 14. Сечение упругого рассеяния на Cm-241 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 15 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Следует принять оценку JENDL-3.3, поскольку она больше соответствует систематике и оценена до 20 МэВ.

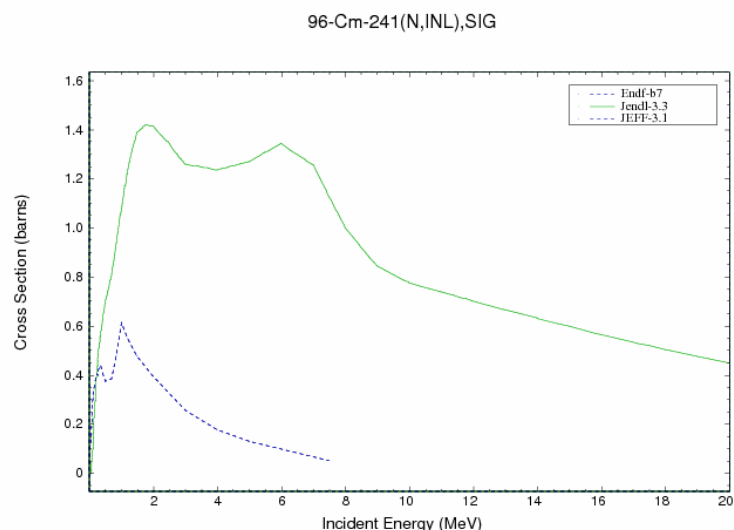


Рисунок 15. Сечение неупругого рассеяния Cm-241 в области энергий до МэВ.

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 16 показаны оценки сечений деления. Оценки ENDF/B-VII и JEFF-31 не могут быть рекомендованы как по физическим представлениям, так и с точки зрения эмпирических систематик. Следует принять оценку JENDL-3.3, она более или менее соответствует систематическим тенденциям энергетической зависимости сечений деления.

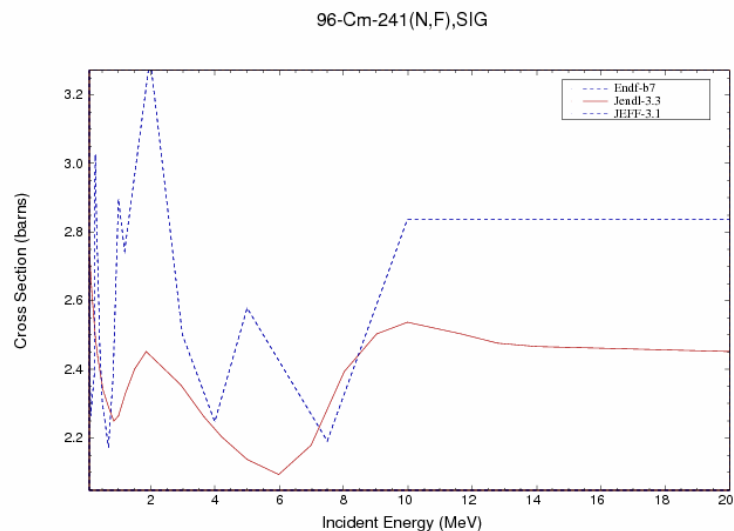


Рисунок 16. Сечение деления Cm-241 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /1/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /2/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102)

На рисунке 17 приведены оценки сечений радиационного захвата из библиотек ENDF/B-VII, JENDL-3.3 и JEFF-31.

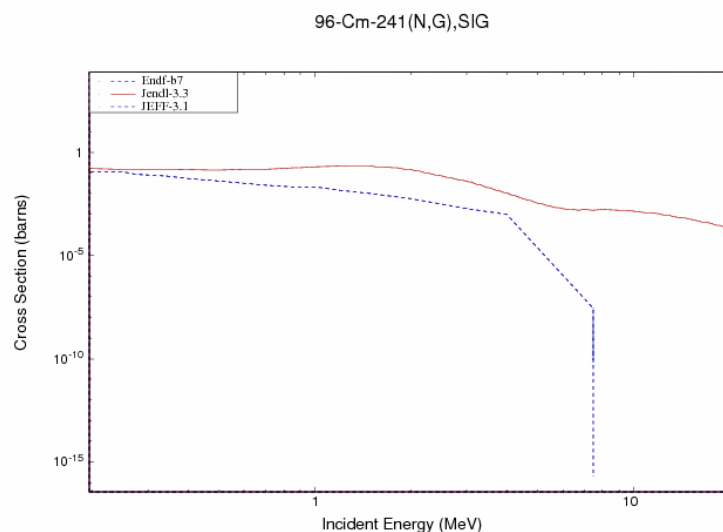


Рисунок 17. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-241 в области энергий 1-20 МэВ.

Зависимость сечения радиационного захвата от энергии в оценках ENDF/B-VII и JEFF-31 не соответствует физическим представлениям, следует принять оценку JENDL-3.3.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Для реакции (n,2n) и (n,3n) экспериментальных данных нет, все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Энергетическая зависимость оцененных сечений показана на рисунке 18.

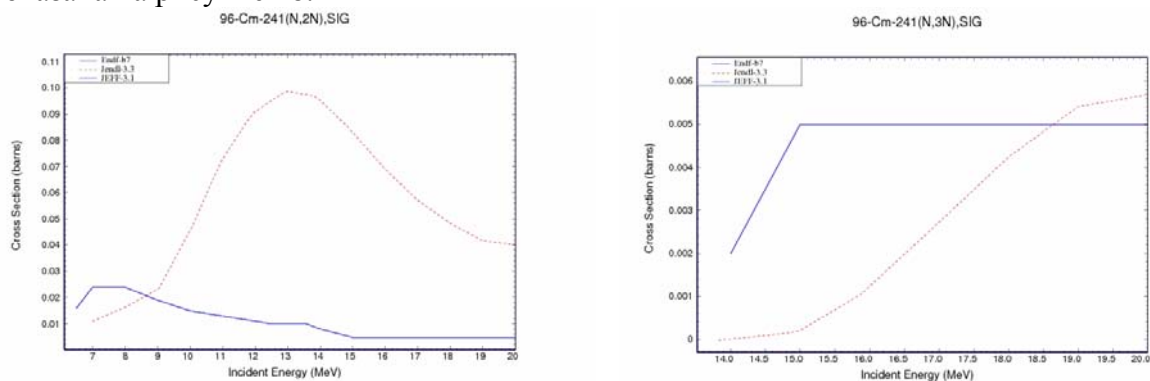


Рисунок 18. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) на Cm-241.

Из сравнения на рисунке 18 следует рекомендовать оценку JENDL-3.3, она соответствует систематикам /3/.

Заключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что оценки **JEFF-31** и **ENDF/B-VII** для основных нейтронных реакций не удовлетворяют физическим представлениям и эмпирическим систематикам.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку JENDL-3.3².

В дальнейшем следует обратить внимание на поведение сечений в области резонансных энергий до 150 эВ с тем, чтобы устранить нефизическое поведение сечения упругого рассеяния.

В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на возможность уточнения этой оценки.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

96.3. Кюрий-242

Оценки сечений Cm-242 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, БРОНД-3, JEFF-3.1.

Оценка JEFF-31 выпущена в 2005 году после ревизии в 2005 году оценки Menapase (1982), являющейся компиляцией данных JEF-2.2, JENDL-3.2 и ENDF-VI. Оценка JENDL-3.3 принята в 2002 году на основе ревизованной оценки Nakagawa 1995 года. Оценка БРОНД-3 выполнена в 1997 году, в 2001 выполнена ревизия файла. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2005 году, в ней принята без заметных изменений оценка ENDF/B-VI, которая является модификацией оценки 1978 года группы Манна.

1. Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 242$ (атомный вес);

1.3. $AW = 239.970$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 162.8$ дня, доминирует α -распад с вкладом 6.4 E-6%.

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -0.0421 | 0.0423 | Cm-242 |
| 16 | n,2n | -6.967 | 6.996 | Cm-241 |
| 17 | n,3n | -13.044 | 13.098 | Cm-240 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 5.694 | 0 | Cm-243 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в библиотеках JENDL-3.3, ENDF/B-VII и JEFF-3.1 ограничена энергией 275 эВ, в БРОНД-3 энергией 155 эВ.

1. ² Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить файл MF=8 с секциями MT=454 и MT=459 из ENDF/B-VI. – М.Николаев.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными [Mu81] приведены в таблице 3.

Таблица 3. Резонансные свойства Cm-242.

| | JENDL-3.3 | БРОНД-3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|---------|------------|----------|----------|
| σ_{tot} | 32.57 | 33.43 | 30.69 | 32.57 | - |
| σ_{el} | 11.61 | 11.77 | 10.80 | 11.61 | - |
| σ_f | 5.06 | 5.00 | 3.02 | 5.06 | <5 |
| σ_γ | 15.90 | 16.66 | 16.87 | 15.90 | 16±5 |
| I_f | 19.9 | 12.3 | 6.25 | 19.9 | 12.9±0.7 |
| I_γ | 107 | 112.39 | 111.27 | 107 | 110±20 |

Из приведенного в таблице 3 сравнения видно, что оценка БРОНД лучше других согласуется с рекомендациями Мухабхаба.

На рисунках 19-22 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов. По сечениям деления, радиационного захвата и упругого рассеяния экспериментальных данных нет. В совпадающих интервалах оценки близки.

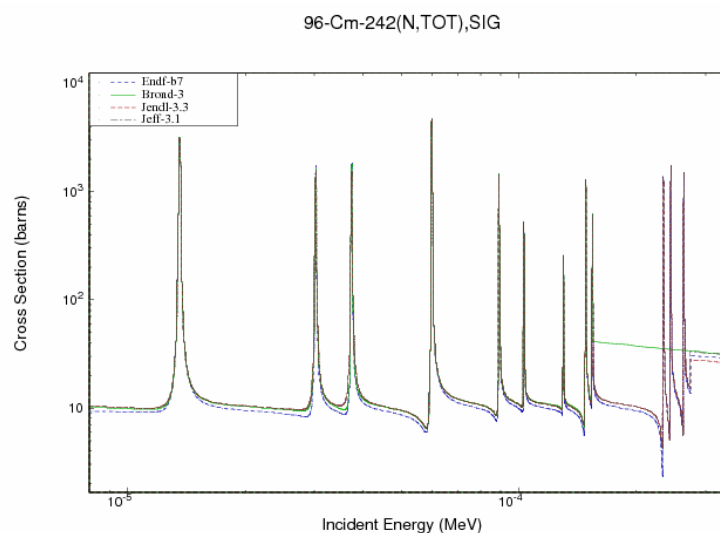


Рисунок 19. Полное сечение Cm-242 в области энергий разрешенных резонансов.

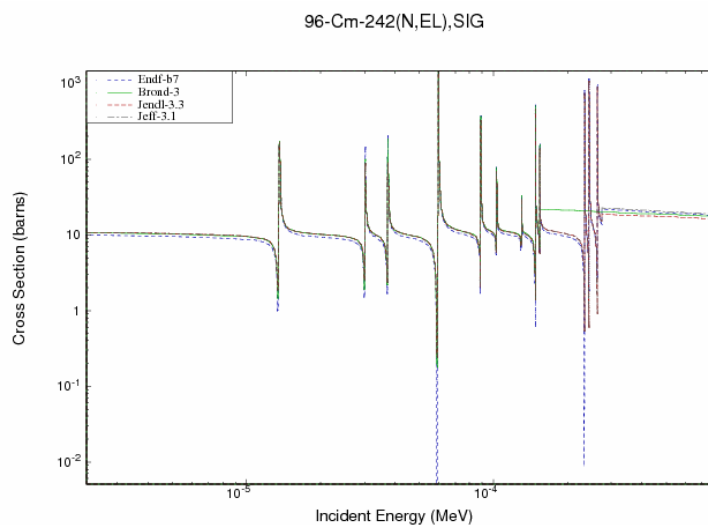


Рисунок 20. Сечение упругого рассеяния нейтронов на Cm-242 в области энергий разрешенных резонансов.

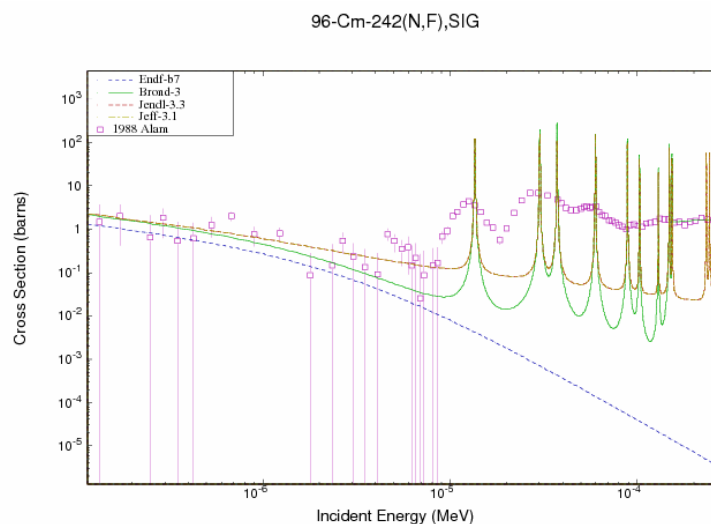


Рисунок 21. Сечение деления Cm-242 в области энергий разрешенных резонансов.

Как видно из рисунка 21, для сечения деления экспериментальные данные имеются, но они не позволяют уверенно показать преимущества какой либо из трех оценок: JENDL-3.3, JEFF-31, БРОНД-3. Оценка ENDF/B-VII в сечении деления не имеет резонансной структуры.

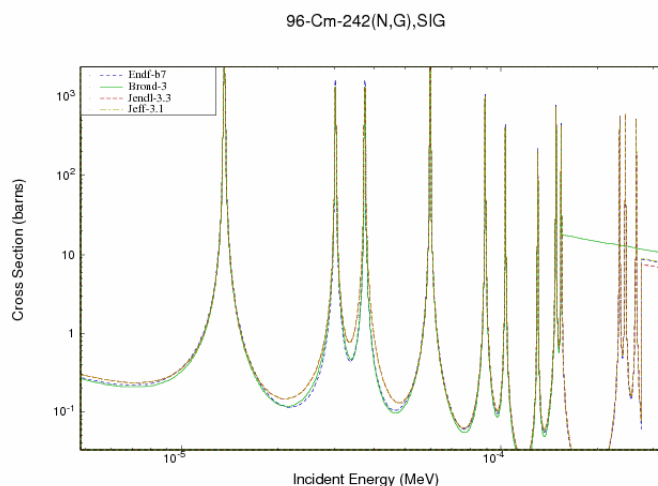


Рисунок 22. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-242 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

| | |
|------------|-------------------|
| БРОНД-3 | 155 эВ – 20.0 кэВ |
| ENDF/B-VII | 276 эВ – 10.0 кэВ |
| JENDL-3.3 | 225 эВ – 30.0 кэВ |
| JEFF-31 | 275 эВ – 40.0 кэВ |

Энергетическая зависимость сечений в области неразрешенных резонансов будет показана на дальнейших рисунках.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов по полному сечению экспериментальных данных нет (рисунок 23). Может быть использована любая из представленных оценок, хотя оценка ENDF/B-VII выглядит менее предпочтительной.

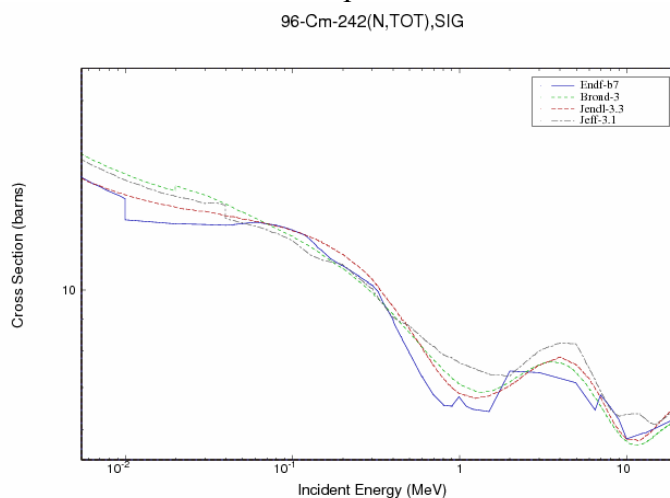


Рисунок 23. Полное сечение Cm-242 в области энергий нейтронов 10 кэВ –20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 24 дано сравнение разных оценок. Расхождения между оценками не имеют принципиального характера.

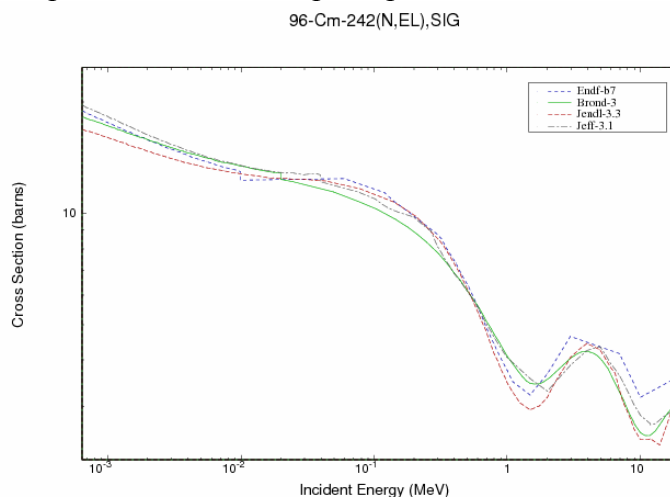


Рисунок 24. Сечение упругого рассеяния Cm-242 в области энергий 1 кэВ-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 25 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Оценка ENDF/B-VII ограничена энергией 5 МэВ и не может быть принята. Остальные оценки сильно различаются. Сравнение с другими изотопами показывает, что оценка JEFF-3.1 лежит слишком высоко, оценка БРОНД-3 низко. Наиболее приемлема оценка JENDL-3.3

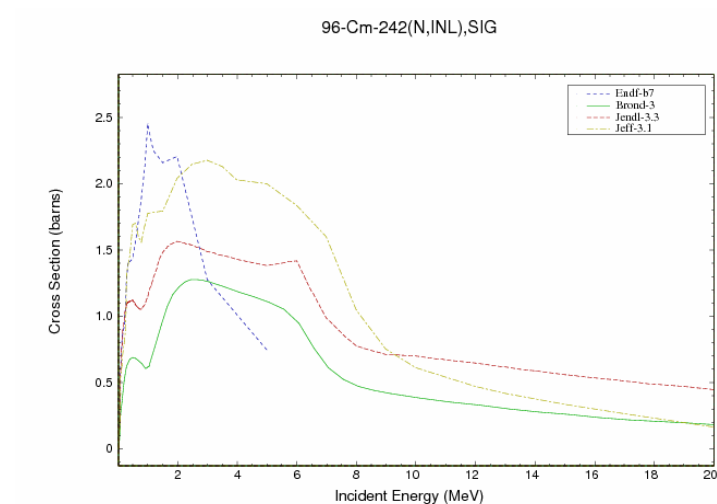


Рисунок 25. Сечение неупругого рассеяния Cm-243 в области энергий 1-20 МэВ..

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 26 показаны оценки сечений деления.

Оценки ENDF/B-VII и JEFF-3.1 неприемлемы, поскольку противоречат систематическим тенденциям поведения этой реакции на соседних ядрах. Оценки JENDL-3.3 и БРОНД-3 примерно равноценны.

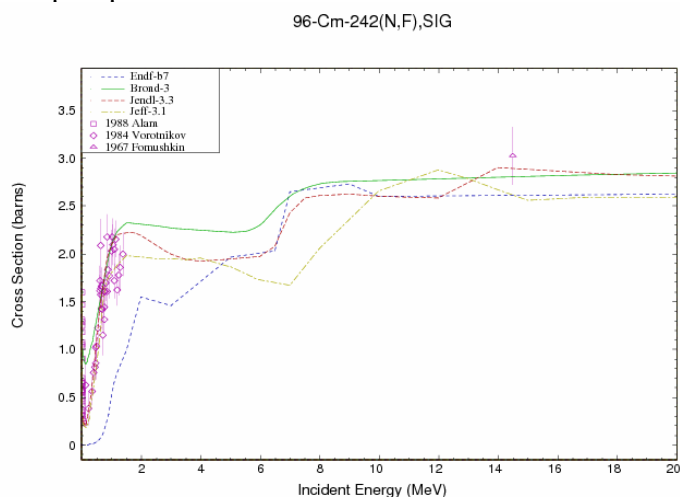


Рисунок 26. Сечение деления Cm-242 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102)

На рисунке 27 приведены оценки сечений радиационного захвата из библиотек ENDF/B-VII, БРОНД-3, JENDL-3.3 и JEFF-3.1. Значительные расхождения связаны с использованием различных моделей ядерных реакций и входных параметров к ним. Оценки БРОНД-3 и JENDL-3.3 выглядят предпочтительней.

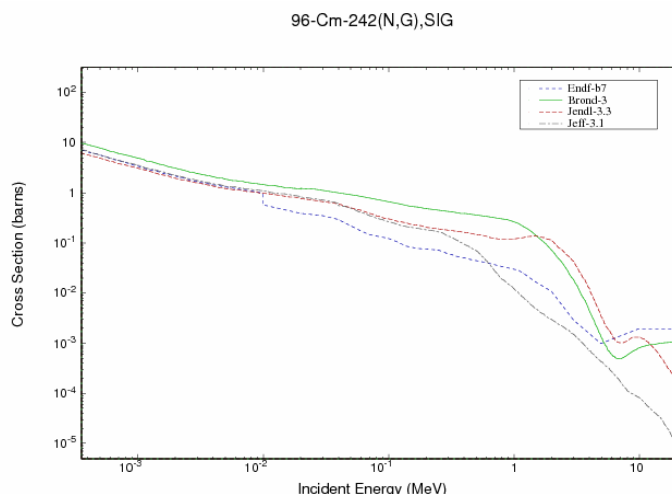


Рисунок 27. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-242 в области энергий нейтронов.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет. Все оценки получены расчетным путем по теоретическим моделям. Могут быть рекомендованы оценки JENDL-3.3 и БРОНД-3. Оценки ENDF/B-VII и JEFF-3.1 с точки зрения систематик сечений реакции (n,2n) не могут быть рекомендованы к использованию. Оценка JEFF-3.1 чрезмерно завышена, положение максимума функции возбуждения ENDF/B-VII не соответствует физическим представлениям.

Эти же соображения справедливы и для оцененных сечений реакции (n,3n).

Энергетические зависимости оцененных сечений реакции (n,2n) и (n,3n) показаны на рисунке 28.

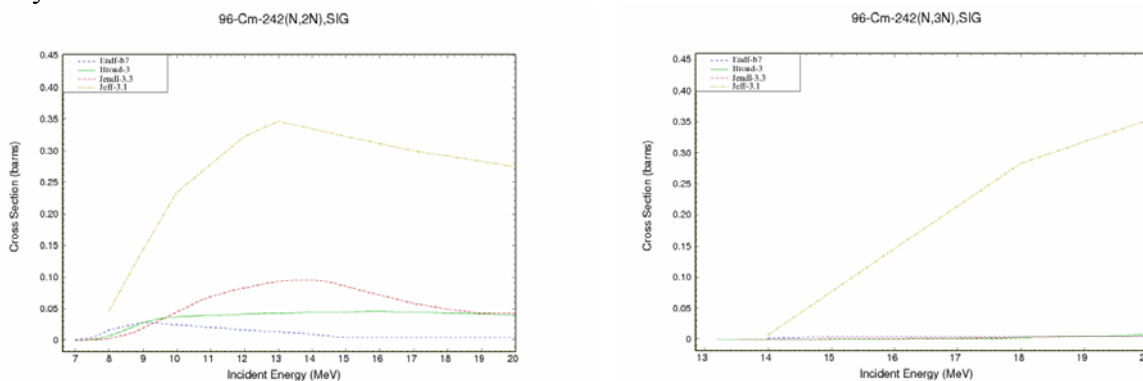


Рисунок 28. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) на Cm-242.

Заключение.

Оценки БРОНД-3 и JENDL-3.3 для основных нейтронных реакций дают очень близкие значения сечений.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку БРОНД-3³.

Отметим, что для оценки БРОНД имеется возможность расширить область разрешенных до 275 эВ и неразрешенных резонансов до 40 кэВ.

³ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить выходы продуктов деления (файл MF=8) из ENDF/B-VI – М.Николаев.

96.4. Кюрий-243

Оценки сечений Cm-243 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, БРОНД-3, JEFF-31 и в библиотеке актинидов Минск-95 (Маслова и др.).

Оценка JEFF-31 выпущена в 2005 году и основана на оценке T.Nakagawa (JAERI) 1989 года без заметных изменений. Оценка БРОНД-3 выполнена в 1997 году, в 2001 выполнена ревизия файла. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2006 году, сохранена оценка ENDF/B-VI, в которой принята оценка Маслова и др. 1995 года. Оценка Маслова и др. выполнена в 1995 году. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году, в ней принята без изменений оценка Маслова и др. (Минск) 1995 года.

1. Общие характеристики

- 1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;
- 1.2. $A = 243$ (атомный вес);
- 1.3. $AW = 240.973$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 29.1$ года, доминирует α -распад (99.71%) с вкладом $5.3E-9\%$ спонтанного деления и 0.29% ϵ -захвата.
- 1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог-}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -0.420 | .0422 | Cm-243 |
| 16 | n,2n | -5.684 | 5.708 | Cm-242 |
| 17 | n,3n | -12.670 | 12.723 | Cm-241 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 6.799 | 0 | Cm-244 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в библиотеках БРОНД-3, JENDL-3.3, ENDF/B-VII и Маслова (Минск) ограничена энергией 100 эВ, в JEFF-31 энергией 70 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными /1/ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Резонансные свойства Cm-243.

| | МИНСК | БРОНД-3 | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------------|---------|---------|----------|----------|
| σ_{tot} | 752.419 | 752.419 | 757.5 | - |
| σ_{el} | 8.577 | 8.577 | 9.926 | - |
| σ_f | 613.319 | 613.319 | 617.4 | 617±20 |
| σ_γ | 130.523 | 130.523 | 130.2 | 130±10 |
| I_f | 1530.99 | 1530.99 | 1560.0 | 1570±100 |
| I_γ | 211.66 | 211.66 | 199 | 215±20 |

Представленные в таблице значения хорошо согласуются с экспериментальными данными и между собой. Однако, из сравнительных рисунков 29-31 видно, что оцененные

данные в области энергий разрешенных резонансов для полного сечения, сечений деления и радиационного захвата БРОНД-3 и Маслова совпадают, но оценка JEFF-31 несколько отличается для резонансов с энергией выше 10 эВ.

96-Cm-243(N,TOT),SIG

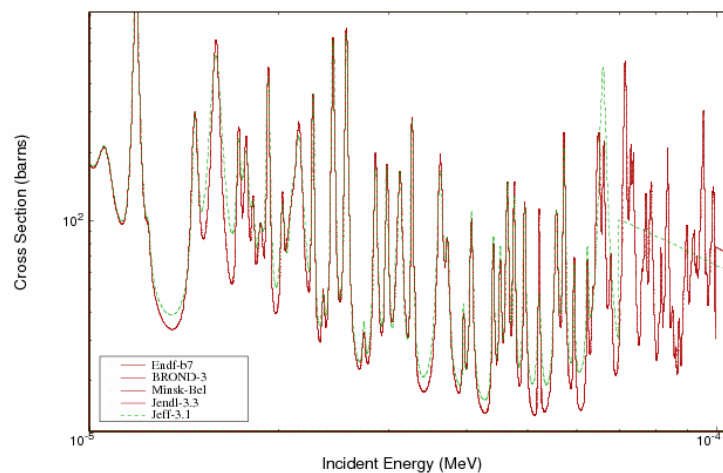


Рисунок 29. Полное сечение Cm-243 в области разрешенных резонансов.

96-Cm-243(N,F),SIG

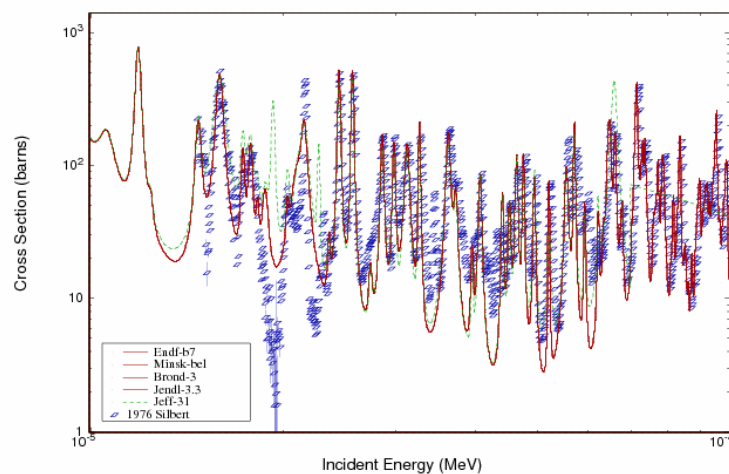


Рисунок 30. Сечение деления Cm-243 в области разрешенных резонансов.

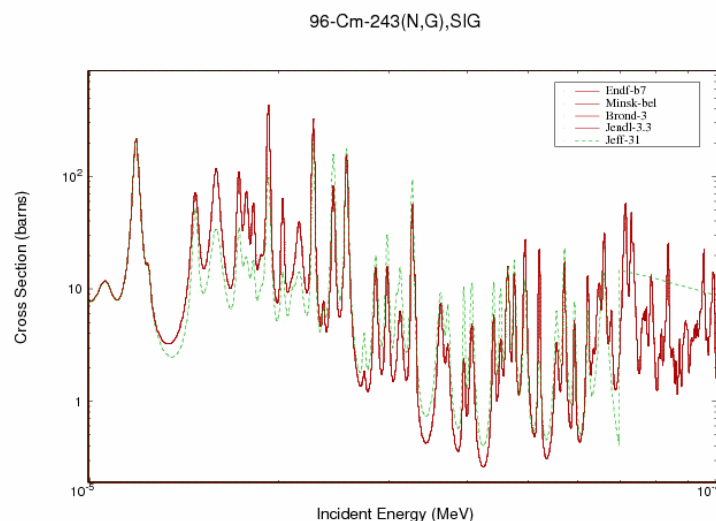


Рисунок 31. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-243 в области разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| БРОНД-3 | 100 эВ – 10 кэВ |
| МИНСК-95 (=JENDL-3.3, =ENDF/B-VII) | 100 эВ – 42.2 кэВ |
| JEFF-31 | 70 эВ – 40 кэВ |

На рисунке 32 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Все оценки (кроме JEFF-31) совпадают.

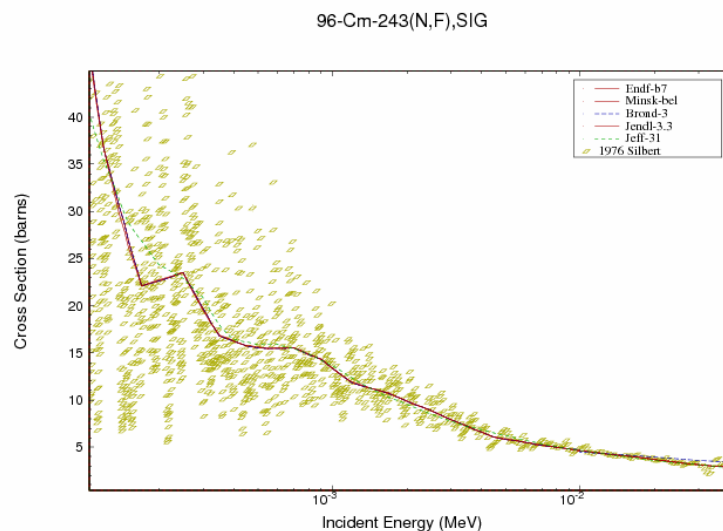


Рисунок 32. Сечение деления Cm-243 в области неразрешенных резонансов.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

Экспериментальных данных по полному сечению нет. Сравнение оцененных значений приведено на рисунке 33. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII основаны на оценке Маслова

и поэтому совпадают. Оценки БРОНД-3 и JEFF-31 несколько отличаются, но в отсутствии экспериментальных данных это различие трудно обосновать.

96-Cm-243(N,TOT),SIG

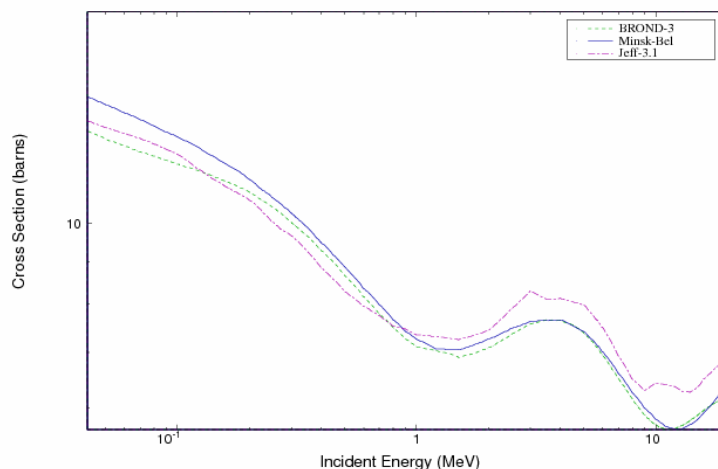


Рисунок 33. Полное сечение Cm-243 в области энергий нейтронов 40 кэВ –20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 34 дано сравнение разных оценок. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII, основанные на оценке Маслова, имеют более плавный ход и более приемлемы.

96-Cm-243(N,EL),SIG

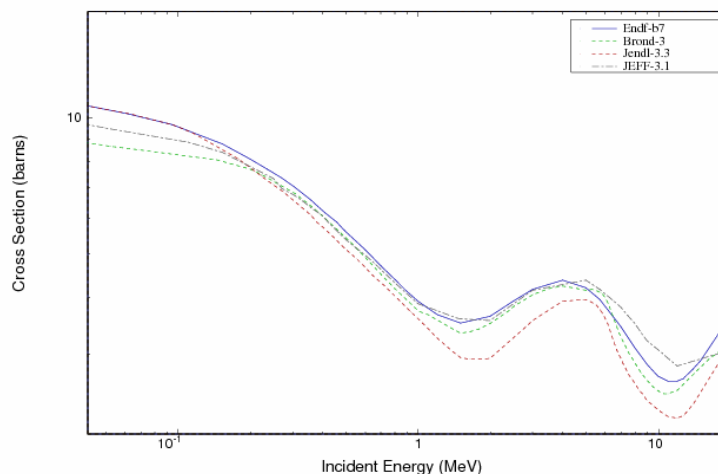


Рисунок 34. Сечение упругого рассеяния в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 35 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Оценки и Маслова совпадают. Оценка БРОНД-3 лежит существенно ниже оценки Маслова (=ENDF/B-VII, JENDL-3.3), а оценка JEFF-3.1 в области 2-6 МэВ выше указанных оценок. Оценка, принятая в ENDF/B-VII, выглядит предпочтительней.

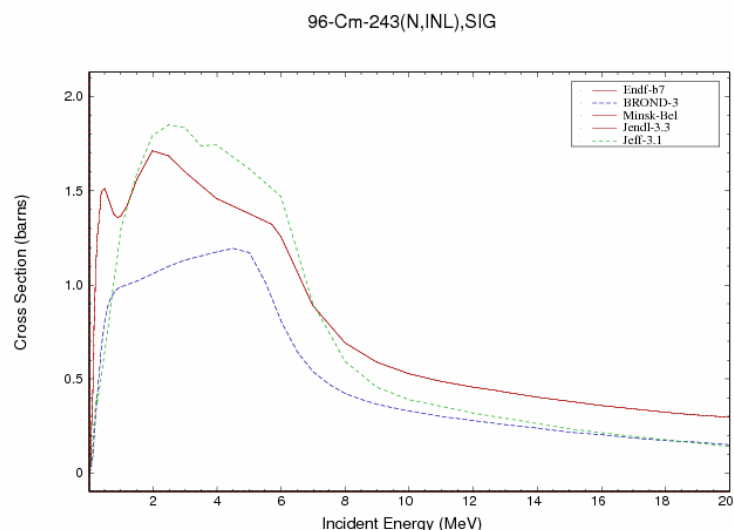


Рисунок 35. Сечение неупругого рассеяния в области энергий 1-20 МэВ..

Сечение деления (MT=18).

На рисунке 36 показаны оценки сечений деления. Данные оценки Маслова (=ENDF/B-VII) сильно занижены и противоречат экспериментальным данным и общей тенденции некоторого подъема сечения деления в области выше максимума в сечении реакции (n,2n) (11-12 МэВ). Оценке БРОНД-3 следует отдать предпочтение, поскольку она лучше соответствует систематическим тенденциям в поведении энергетической зависимости сечений деления на соседних ядрах.

Кроме того, авторами оценки БРОНД-3 при анализе был проведен тщательный анализ и последующая перенормировка экспериментальных сечений на новые стандартные и справочные данные. Полученные скорректированные данные были аппроксимированы методом Паде-аппроксимации /5/.

Число нейтронов на деление принято на основе расчетов по модели Мэдлэнда-Никса /4/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны систематике Таттла /3/.

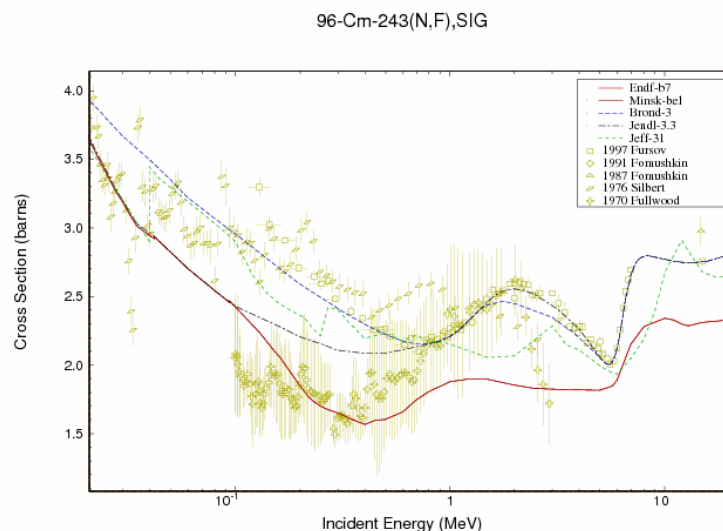


Рисунок 36. Сечение деления Cm-243 в области энергий нейтронов 0.05-20 МэВ.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

На рисунке 37 приведены оценки сечений радиационного захвата из библиотек БРОНД-3, JENDL-3.3, JEFF-3.1 и Маслова (=ENDF/B-VII). Расхождение оценок связано с использованием различных моделей ядерных реакций и входных параметров к ним. В отсутствии экспериментальных данных трудно отдать явное предпочтение одной из них, хотя оценка БРОНД-3 выглядит привлекательней.

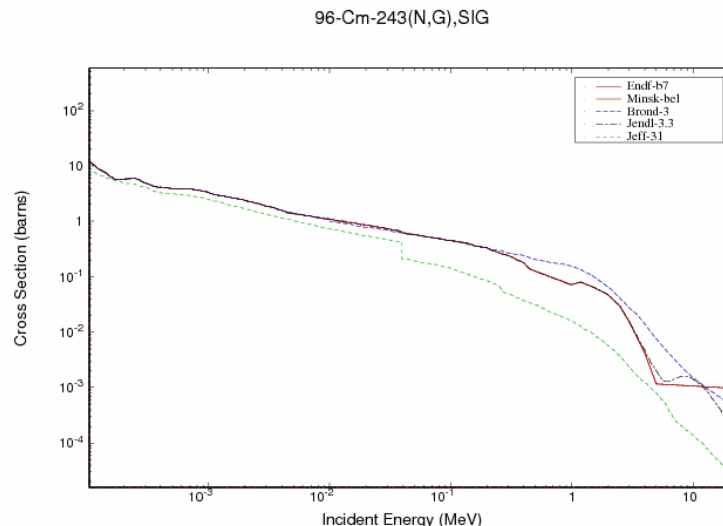


Рисунок 37. Сечение радиационного захвата в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17).

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет, все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Оценки JENDL-3.3, ENDF/B-VII, Маслова и др. совпадают и почти в 2 раза отличаются по абсолютной величине в максимуме функции возбуждения. Поскольку (см. рис. 36) для сечения деления рекомендована оценка БРОНД-3, то в соответствии с систематикой [7] следует принять и более низкую оценку БРОНД-3 для реакции (n,2n). Оценки сечений реакций (n,2n) и (n,3n) из JEFF-3.1 не согласуются между собой и с сечением деления с точки зрения физических представлений. Для реакции (n,3n) экспериментальных данных также нет. Оценки JENDL-3.3, ENDF/B-VII, Маслова (=JENDL-3.3, ENDF/B-VII), незначительно отличаются от оценки БРОНД-3. Оценка JEFF-3.1 чрезмерно завышена.

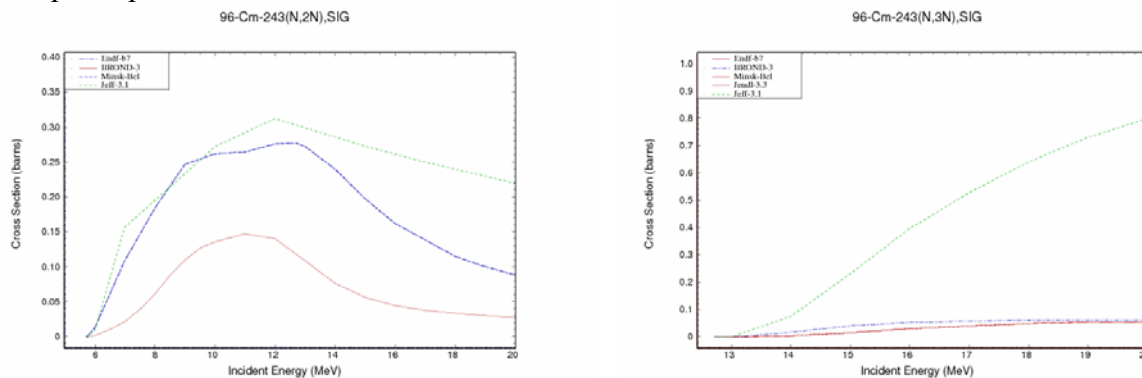


Рисунок 38. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) на Cm-243.

Заключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что в области разрешенных резонансов все оценки практически опираются на единый набор экспериментальных данных. Оценка JEFF-3.1 отличается от остальных оценок. Оценка БРОНД-3 для реакции деления в области энергий нейтронов выше резонансной и для реакции (n,2n) имеет существенные преимущества.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку БРОНД-3⁴.

Отметим, что для оценки БРОНД имеется возможность расширить область неразрешенных резонансов до 40 кэВ.

Автор отбора данных

Игнатюк А.В, Манохин В.Н.

96.5. Кюрий-244

Оценки сечений Cm-244 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, БРОНД-3, JEFF-3.1 и в библиотеке актинидов Минск-95 (Маслов и др.).

Оценка JEFF-3.1 выпущена в 2005 году после некоторой ревизии. Фактически в основе этой оценки лежит оценка 1978 года, включенная сначала в ENDF/B-V и затем конвертированная в ENDF/B-VI.8. Оценка БРОНД-3 выполнена в 1997 году, в 2001 выполнена ревизия файла. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году и включает ревизованную в 2000 году оценку T.Nakagawa 1989 года. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2002 году, в ней принята оценка JENDL-3.3.

1. Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 244$ (атомный вес);

1.3. $AW = 241.966$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 18.10$ лет, доминирует α -распад с вкладом $1.4 \times 10^{-4}\%$ спонтанного деления;

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0429 | .0431 | Cm-244 |
| 16 | n,2n | -6.799 | 6.828 | Cm-243 |
| 17 | n,3n | -12.494 | 12.546 | Cm-242 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 5.522 | 0 | Cm-245 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

⁴ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить данные о выходах продуктов деления из EBDF/B-VI. – М.Николаев.

Область разрешенных резонансов во всех библиотеках ограничена энергией 150 эВ. Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными [1] приведены в таблице 5.

Таблица 5. Резонансные свойства Cm-244.

| | JENDL-3.3 | JEFF-3.1 | БРОНД-3 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|----------|---------|-----------------|
| σ_{tot} | 27.20 | 18.13 | 27.62 | 27.6 ± 1.4 |
| σ_{γ} | 11.06 | 7.16 | 11.34 | 11.8 ± 0.7 |
| σ_f | 1.04 | 0.60 | 1.03 | 1.04 ± 0.20 |
| σ_{γ} | 15.10 | 10.4 | 15.25 | 15.2 ± 1.2 |
| I_f | 13.4 | 18.7 | 14.58 | 12.5 ± 2.5 |
| I_{γ} | 660.0 | 594.0 | 639.43 | 650 ± 30 |

На рисунках 39-41 представлены экспериментальные и оцененные значения полного сечения, сечения деления и радиационного захвата для Cm-244 в области энергий разрешенных резонансов.

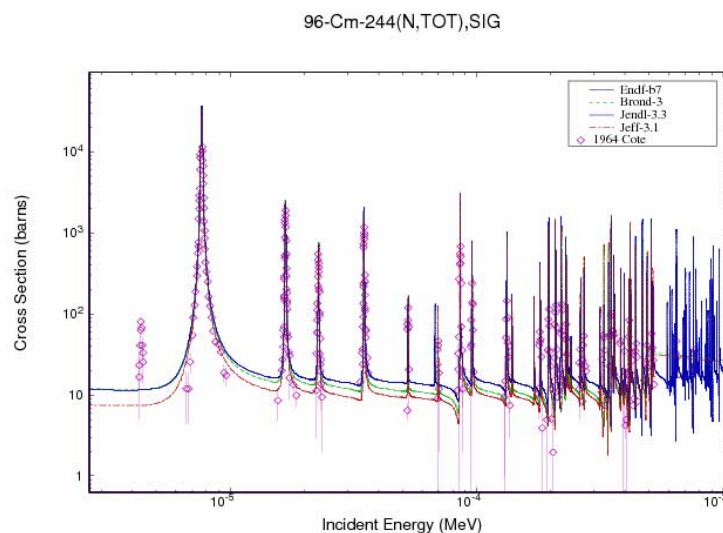


Рисунок 39. Полное сечение Cm-244 в области энергий разрешенных резонансов.

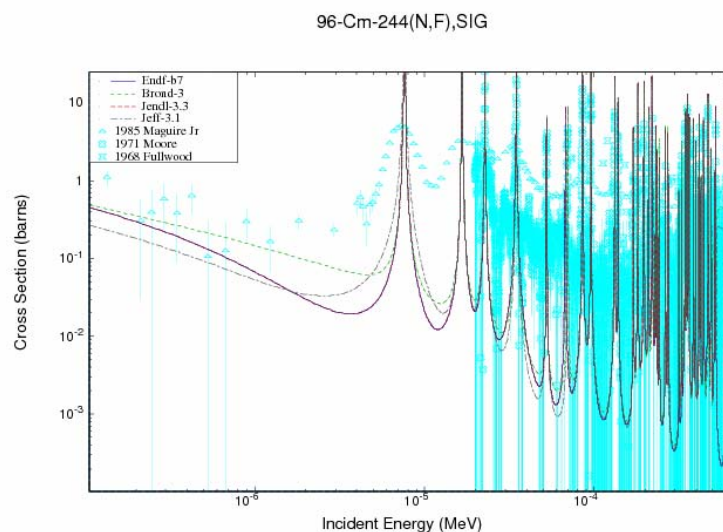


Рисунок 40. Сечение деления Cm-244 в области энергий разрешенных резонансов.

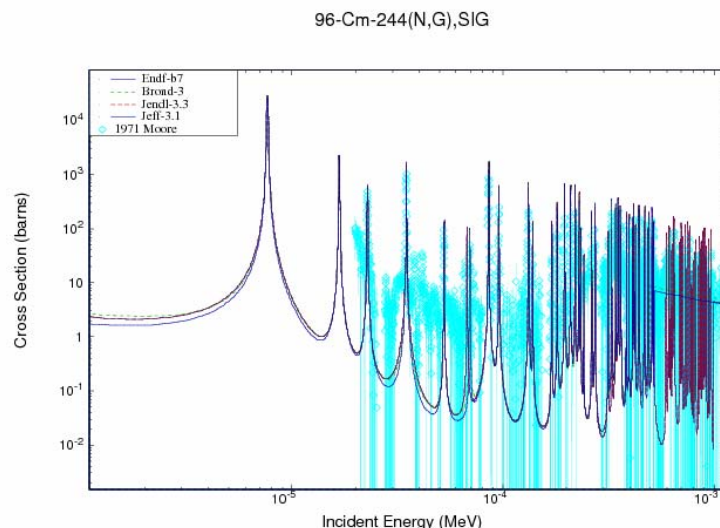


Рисунок 41. Сечение радиационного захвата в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

| | |
|-----------|-----------------|
| БРОНД-3 | 500 эВ – 20 кэВ |
| JENDL-3.3 | 1 кэВ – 40 кэВ |
| JEFF-3.1 | 525 эВ – 10 кэВ |

На рисунке 42 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Оценка JENDL-3.3 (=ENDF/B-VII) лежит на верхней границе массива экспериментальных данных и плохо с ним согласуется. Оценки БРОНД-3 и JEFF-3.1 существенно отличаются от указанных оценок, однако они имеют нерегулярную структуру. Все четыре оценки не вызывают удовлетворения, но оценке JENDL-3.3 следует отдать предпочтение.

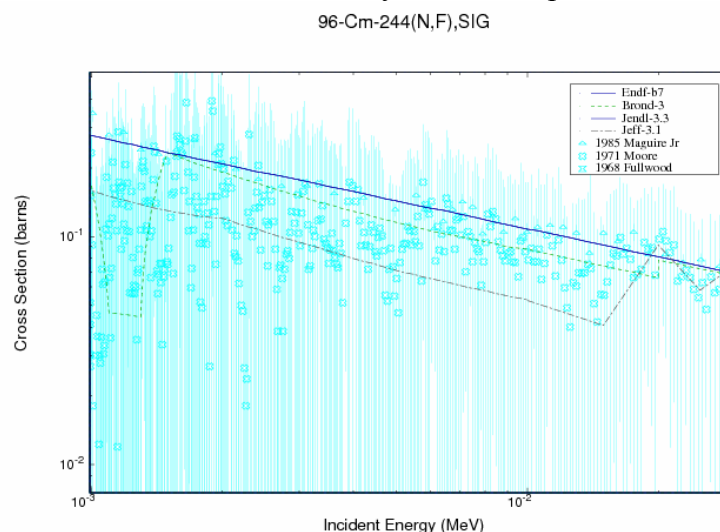


Рисунок 42. Сечение деления Cm-244 в области энергий неразрешенных резонансов.

На рисунке 43 показано сравнение сечений радиационного захвата нейтронов на Cm-244 в области неразрешенных резонансов. В этом случае может быть принята любая оценка, хотя описание экспериментальных данных в области нескольких кэВ не является оптимальным.

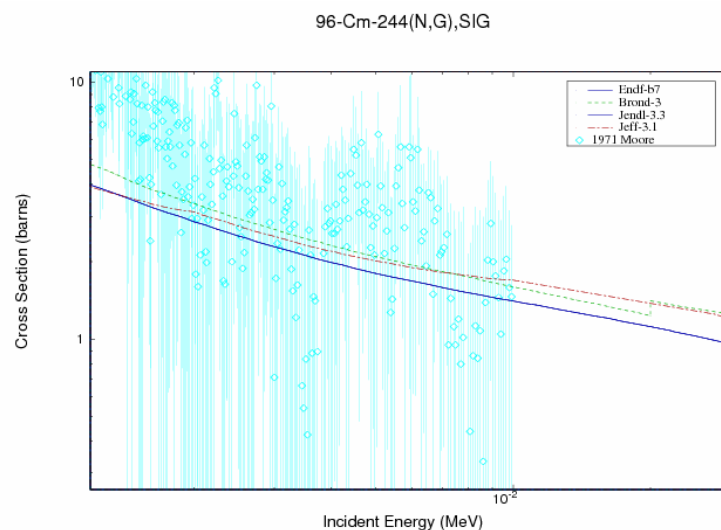


Рисунок 43. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-244 в области энергий неразрешенных резонансов.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов экспериментальных данных нет (рисунок 44). Оценка БРОНД-3 близка оценке JENDL-3.3, обе оценки приемлемы.

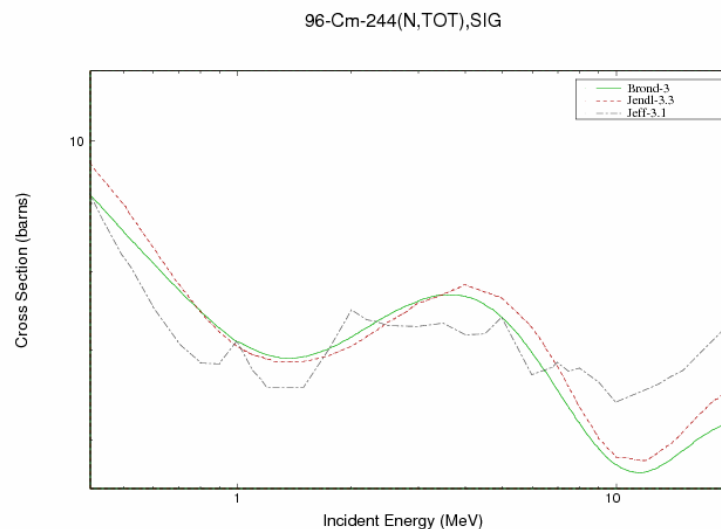


Рисунок 44. Полное сечение Cm-244 в области энергий быстрых нейтронов.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 45 дано сравнение разных оценок. Экспериментальных данных нет. Расхождения между оценками не имеют принципиального характера.

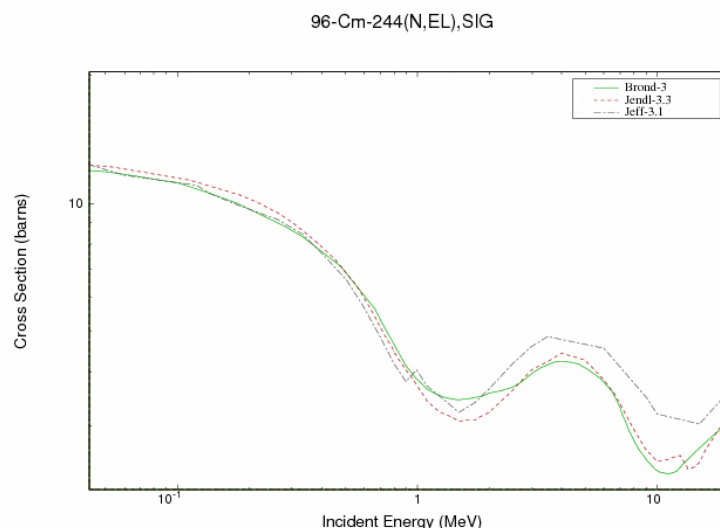


Рисунок 45. Сечение упругого рассеяния в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 46 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек.

Из физических соображений функции возбуждения БРОНД-3 следует отдать предпочтение. Оценка JEFF-3.1 по непонятным причинам ограничена энергией 6 МэВ и совершенно неприемлема.

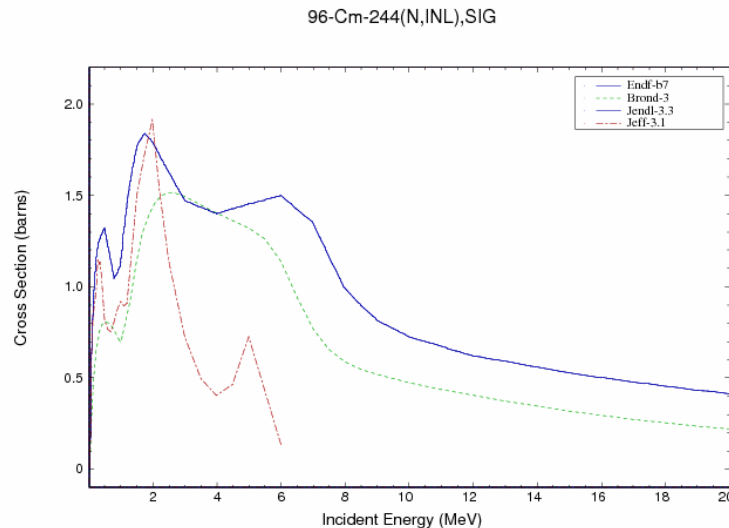


Рисунок 46. Сечение неупругого рассеяния в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 47 показаны оценки сечений деления БРОНД-3, JENDL-3.3 (ENDF/B-VII) В области энергий нейтронов до 7 МэВ следует отдать предпочтение оценке БРОНД-3, однако выше 7 МэВ все оценки нельзя признать удовлетворительными. Оценки ENDF/B-VII и JENDL-3.3 в области энергий примерно 6-9 МэВ занижены, а оценка JEFF-3.1 завышена в области энергий 11-20 МэВ. Анализ экспериментальных точек при энергии 15 МэВ, выполненный в процессе оценки БРОНД-3, показал, что эти данные существенно завышены. Оценке БРОНД-3 следует отдать предпочтение, хотя при энергиях 10-13 МэВ с

точки зрения систематических тенденций сечение несколько завышено. При оценке БРОНД-3 был использован метод Паде-аппроксимации /5/.

96-Cm-244(N,F),SIG

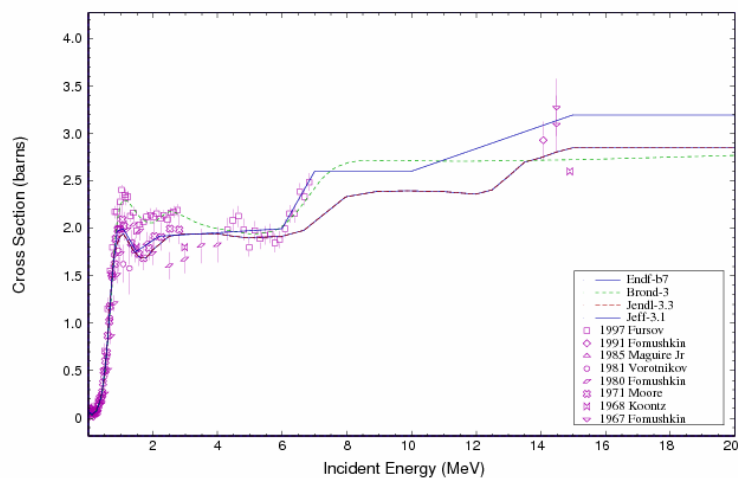


Рисунок 47. Сечение деления в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102)

На рисунке 48 приведены оценки сечений радиационного захвата. Экспериментальных данных нет. Расхождения в оцененных данных связаны с использованием различных моделей ядерных реакций и входных параметров к ним. Оценки БРОНД-3 и JEFF-3.1 выглядят более привлекательными.

96-Cm-244(N,G),SIG

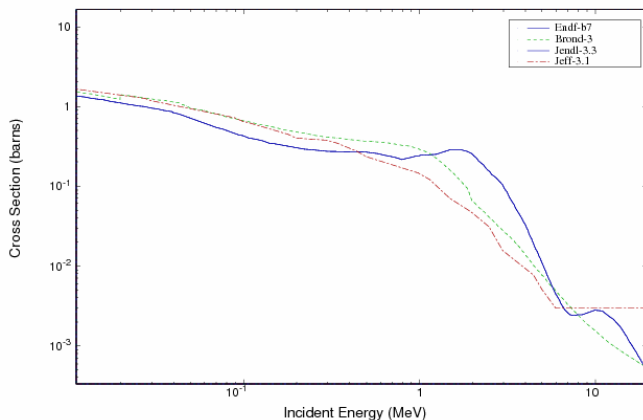


Рисунок 48. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-244 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Сравнение оцененных значений сечения реакций (n,2n), (n,3n) показано на рисунке 49. Оценка сечения реакции (n,2n) в БРОНД-3 была получена расчетом по теоретической модели, но согласована с систематикой функций возбуждения /6/. Оценка JENDL-3.3 (=ENDF/B-VII) также не противоречат систематикам. Оценка JEFF-3.1 неприемлема как по форме функции возбуждения, так и абсолютной величине.

Для реакции (n,3n) экспериментальных данных нет. Оценки сечений этой реакции из JENDL-3.3 (=ENDF/B-VII) и БРОНД-3 примерно равноценны. Оценка JEFF-3.1 также неприемлема как по форме функции возбуждения, так и абсолютной величине.

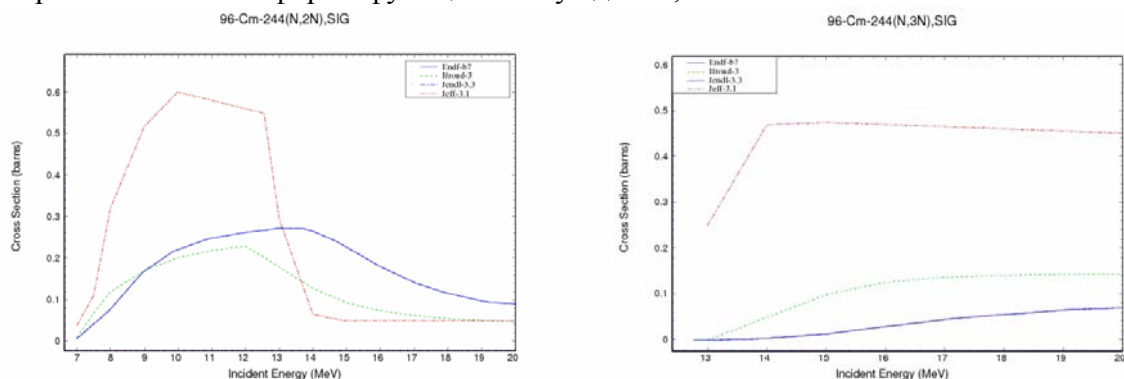


Рисунок 49. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-244.

Заключение.

Для основных сечений оценка БРОНД-3 имеет ряд преимуществ по сравнению с другими оценками.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку БРОНД-3⁵.

Автор отбора данных

Игнатюк А.В, Манохин В.Н.

96.6. Кюрий-245

Оценки сечений Cm-245 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.1 и в библиотеке Маслова и др. (Минск).

Оценки JENDL-3.3, ENDF/B-VII и JEFF-3.1 выпущены в 2002 году и основаны на оценке Маслова и др. 1995 года, ревизованной в 2000 году. Оценка Маслова и др. выполнена в 1995 году.

1. Общие характеристики

- 1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;
- 1.2. $A = 245$ (атомный вес);
- 1.3. $AW = 242.960$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 8500$ лет, доминирует α -распад с вкладом $6.1E-7\%$ спонтанного деления;
- 1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | Е _{порог.} , МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0550 | .0413 | Cm-245 |
| 16 | n,2n | -5.520 | 5.543 | Cm-244 |
| 17 | n,3n | -12.320 | 12.371 | Cm-243 |
| 18 | деление | | 0 | продукты |

⁵ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить данные о выходах продуктов деления из ENDF/B-VI. – М.Николаев.

| | | | | |
|-----|-----|-------|---|---------|
| | | | | деления |
| 102 | n,g | 6.450 | 0 | Cm-246 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов во всех библиотеках ограничена энергией 100 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными [1] приведены в таблице 6.

Таблица 6. Резонансные свойства Cm-245.

| | JENDL-3.3 | МИНСК | ENDF/B-VII | JEFF-31 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|----------|------------|----------|----------|
| σ_{tot} | 2512.50- | 2512.50- | 2512.50- | 2512.50- | 2514±80 |
| σ_{el} | 10.88 | 10.97 | 10.88 | 10.88 | - |
| σ_f | 2142.40 | 2142.38 | 2142.40 | 2142.40 | 2145±58 |
| σ_γ | 359.20 | 359.15 | 359.20 | 359.20 | 369±17 |
| I_f | 804 | 793.93 | 804 | 804 | 840±40 |
| I_γ | 106 | 105.4 | 106 | 106 | 101±8 |

На рисунках 50 - 52 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов. Различий между оценками нет.

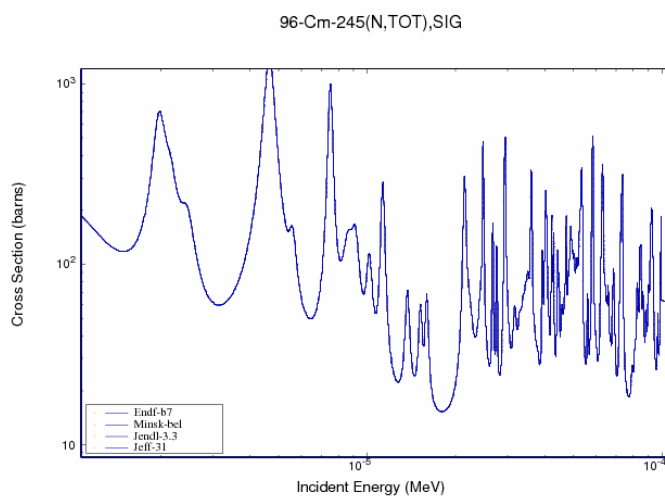


Рисунок 50. Полное сечение Cm-245 в области энергий разрешенных резонансов.

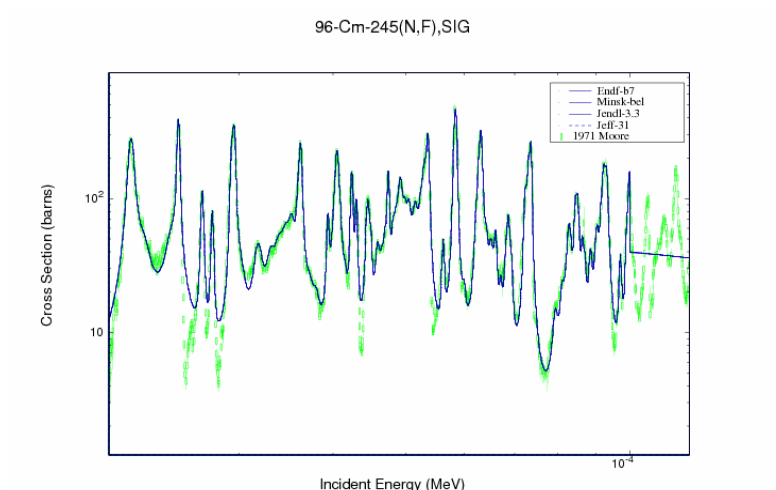


Рисунок 51. Сечение деления Cm-245 в области энергий разрешенных резонансов.

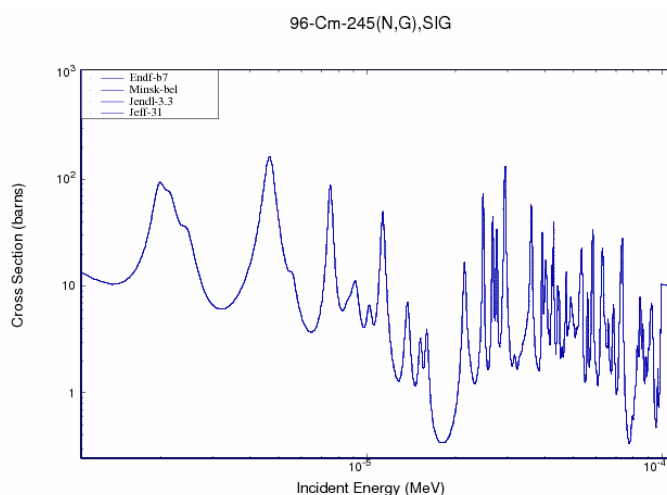


Рисунок 52. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-245 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов в оценке Маслова приняты границы 100 эВ – 55 кэВ, в остальных оценках - 100 эВ – 54 кэВ.

На рисунке 53 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Различий в оценках также нет.

По полному сечению и сечению радиационного захвата экспериментальных данных нет. Все четыре оценки дают одни и те же зависимости.

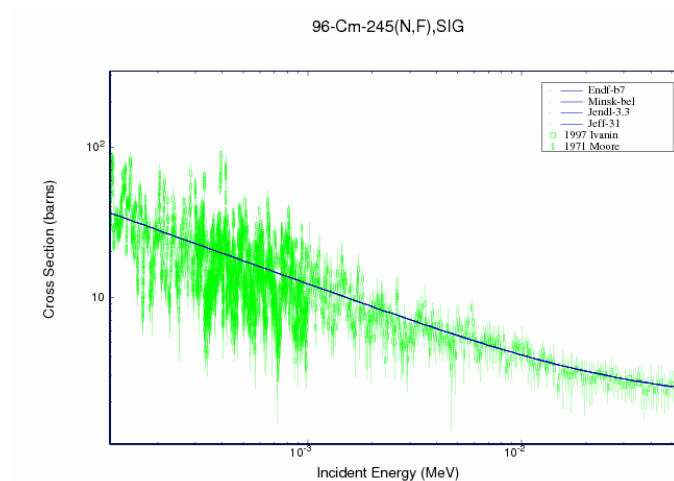


Рисунок 53. Сечение деления Cm-245 в области энергий неразрешенных резонансов.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов экспериментальных данных по полному сечению нет, между представленными оценками расхождений нет.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 54 показано оцененное интегральное сечение неупругого рассеяния. Как видно, все оценки используют одни и те же данные. К функции возбуждения по форме и по абсолютной величине замечаний нет.

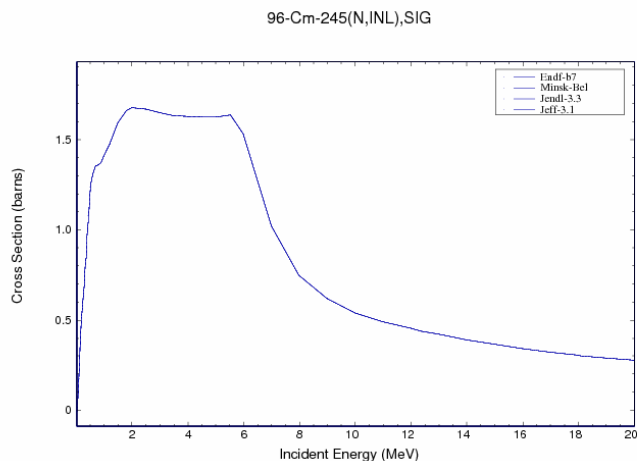


Рисунок 54. Сечение неупругого рассеяния Cm-245 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение деления (MT=18)

На рисунках 55-56 показаны оценки сечений деления. Оценки ENDF/B-VII, JENDL-3.3 и JEFF-31 основаны на оценке Маслова, но в 2000 была проведена корректировка данных указанных оценок, но файл Маслова такой корректировке не подвергался, поэтому энергетическая зависимость сечения деления оценки Маслова в области энергий быстрых нейтронов заметно отличается. Следует отдать предпочтение оценке ENDF/B-VII (=JENDL-3.3), в области энергий 8-20 МэВ эта оценка лучше согласуется с систематическим поведением сечений деления в этой области.

Число нейтронов на деление принято на основе данных Хохлова /2 / и расчетов по модели Мэдлэнда-Никса /4/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны систематике Таттла /3/.

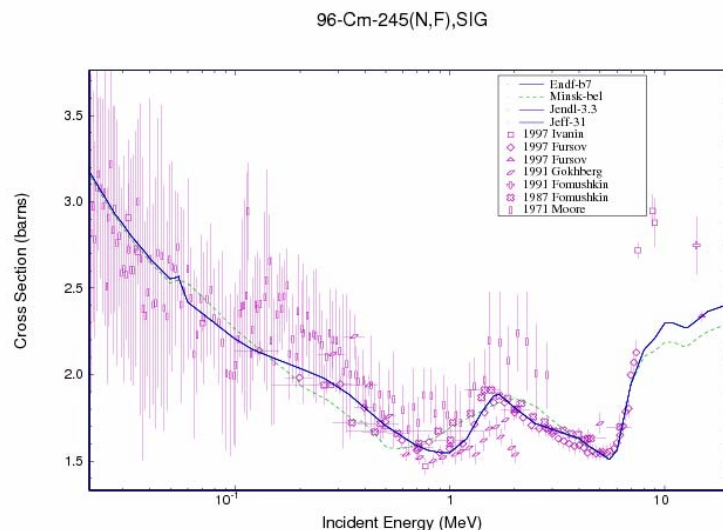


Рисунок 55. Сечение деления Cm-245 в области энергий нейтронов 60 кэВ-20 МэВ.

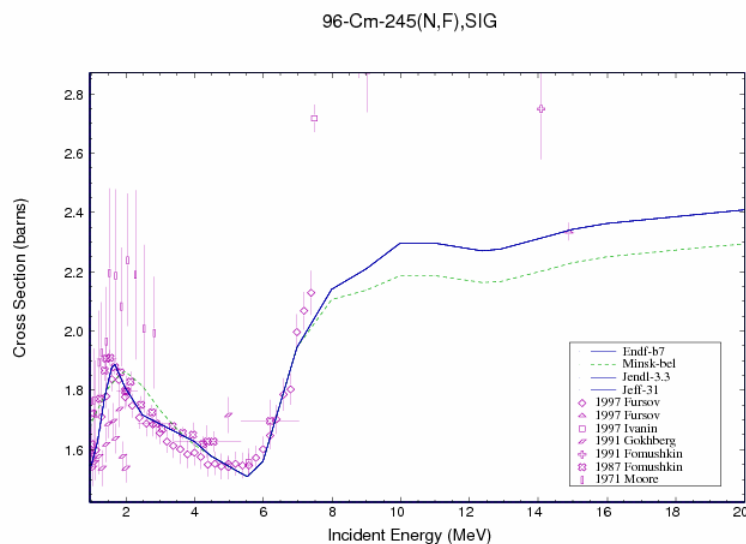


Рисунок 56. Сечение деления Cm-245 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102)

На рисунке 57 приведены оценки сечений радиационного захвата из библиотек ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31 и Маслова. В области энергий до 4 МэВ имеется полное согласие всех оценок. При больших энергиях оценка JEFF-31 дает нулевое сечение, поэтому предпочтение следует отдать оценке ENDF/B-VII(=JENDL-3.3).

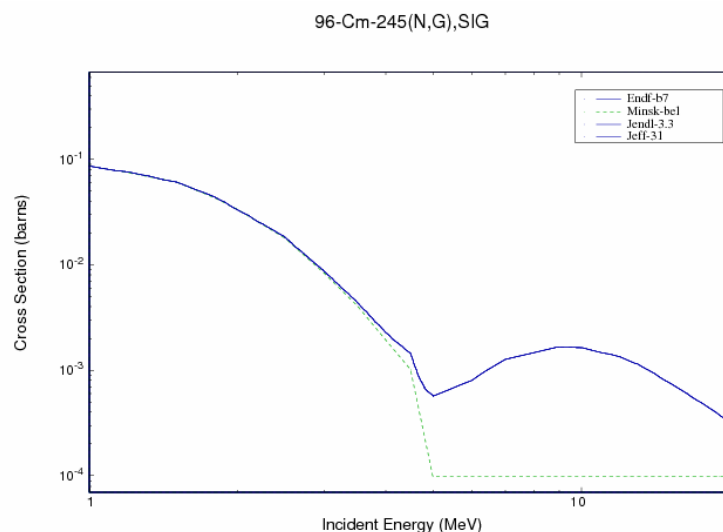


Рисунок 57. Сечение радиационного захвата в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17).

Экспериментальных данных по сечениям реакций (n,2n) и (n,3n). Представленные на рисунке 58 функции возбуждения не противоречат систематикам сечений указанных реакций, хотя сечение реакции (n,2n) несколько (на 100- 150 мбарн) завышено.

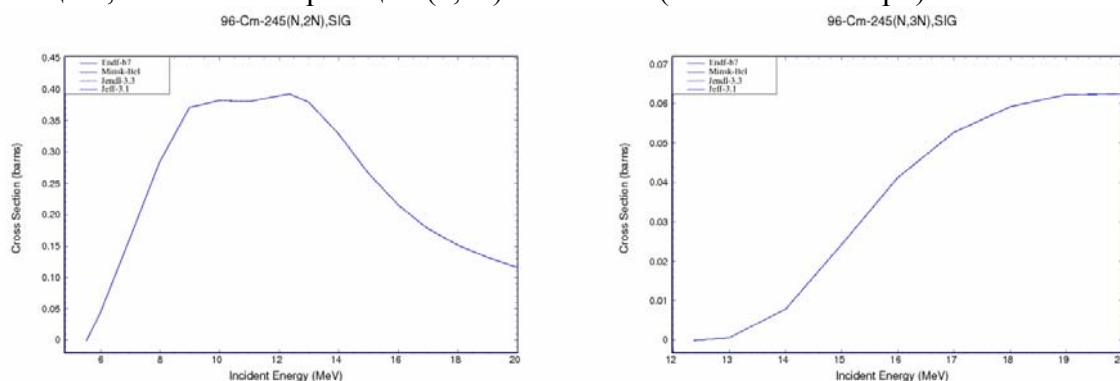


Рисунок 58. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-245.

Заключение.

Из проведенного анализа следует, что в оценках JENDL-3.3 и ENDF/B-VII и JEFF-31 принят один и тот же набор данных, основанный на ревизованной оценке Маслова.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку ENDF/B-VII.⁶

В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на необходимость уточнения этой оценки.

Автор отбора данных
Манохин В.Н.

⁶ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить данные о выходах продуктов деления из ENDF/B-VI. — М.Николаев.

96.7. Кюрий-246

Оценки нейтронных сечений для Cm-246 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31 и Маслова и др.

Оценка Маслова выпущена в 1996 году. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2005 году, получена из ENDF/B-VI, которая является оценкой Маслова 1996 года. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году и представляет собой ревизию 2000 года оценки Маслова 1996 года.

Оценка JEFF-31 выпущена в 2005 году, конвертирована из JEFF-3.0 после некоторой ревизии, является оценкой Маслова 1996 года, существенные различия в области неразрешенных резонансов реакции деления.

1. Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 243$ (атомный вес);

1.3. $AW = 243.953$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 4760$ года, доминирует α -распад (99.97%) с вкладом $2.6E-2\%$ спонтанного деления..

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0429 | .0430 | Cm-246 |
| 16 | n,2n | -6.458 | 6.484 | Cm-245 |
| 17 | n,3n | -11.978 | 12.026 | Cm-244 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 5.160 | 0 | Cm-247 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в библиотеках БРОНД-3, JENDL-3.3, ENDF/B-VII и Маслова (Минск) ограничена энергией 100 эВ, в JEFF-31 энергией 70 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными /1/ приведены в таблице 7.

Таблица 7. Резонансные свойства Cm-246.

| | JENDL-3.3 | МИНСК | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|--------|------------|----------|-----------------|
| σ_{tot} | 10.664 | 10.664 | 10.664 | 10.664 | - |
| σ_{el} | 9.208 | 9.208 | 9.208 | 9.208 | 11.1 ± 0.2 |
| σ_f | 0.144 | 0.144 | 0.144 | 0.144 | 0.14 ± 0.05 |
| σ_γ | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.22 ± 0.16 |
| I_f | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.2 ± 0.4 |
| I_γ | 115 | 114.6 | 114.6 | 114.6 | $121. \pm 7.$ |

Согласно результатам таблицы 7, наблюдается хорошее согласие всех величин с экспериментом и между собой.

На рисунке 59-61 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов.

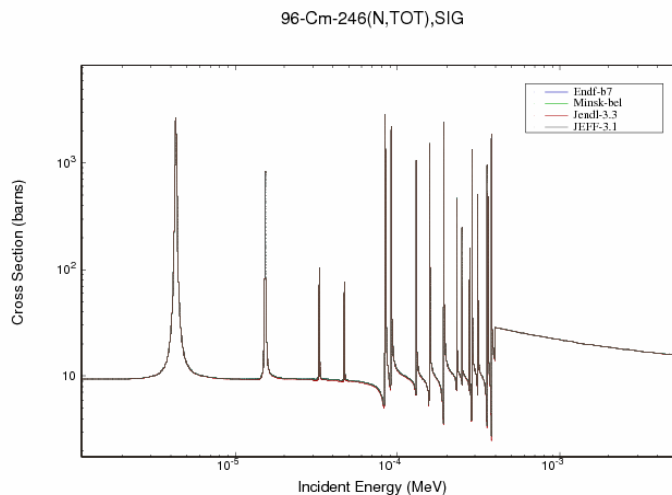


Рисунок 59. Полное сечение Cm-246 в области энергий разрешенных резонансов.

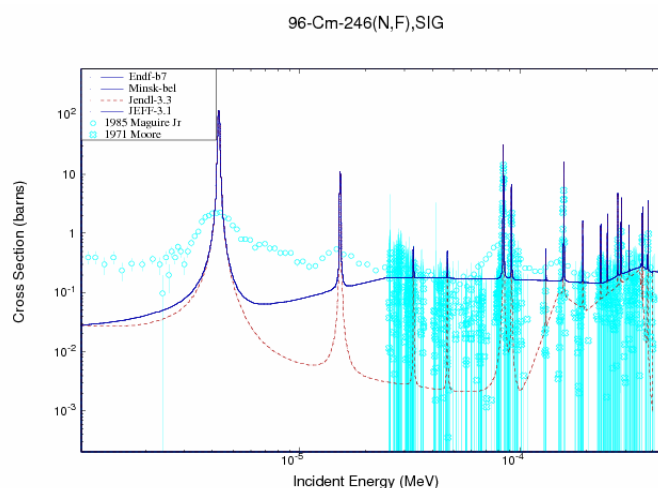


Рисунок 60. Сечение деления в области энергий разрешенных резонансов.

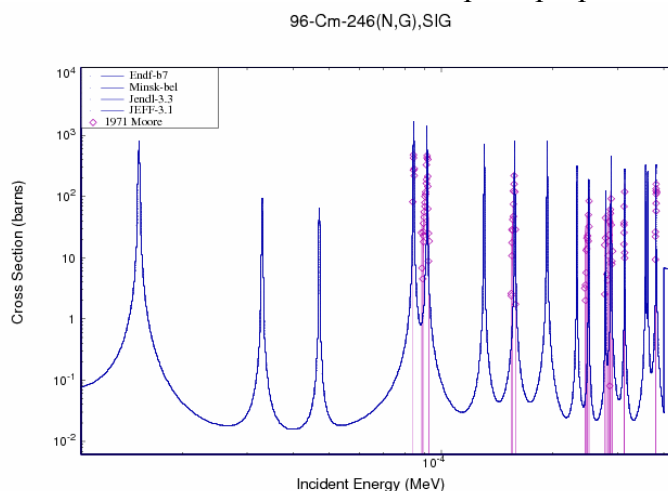


Рисунок 61. Сечение радиационного захвата нейтронов на Cm-246 в области энергий разрешенных резонансов.

Оценки полного сечения и сечений радиационного захвата, ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-3.1 и Маслова совпадают, оценка JENDL-3.3 для сечения деления существенно

отличается. Это, по-видимому, связано с тем, что изменена подложка в сечении деления в соответствии с экспериментальными данными группы Maguire Jr. H.T. et al. (1985).

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов во всех оценках приняты следующие границы: 400 эВ – 43 кэВ. В этой области энергий различий между оценками нет.

На рисунке 62 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Все оценки совпадают.

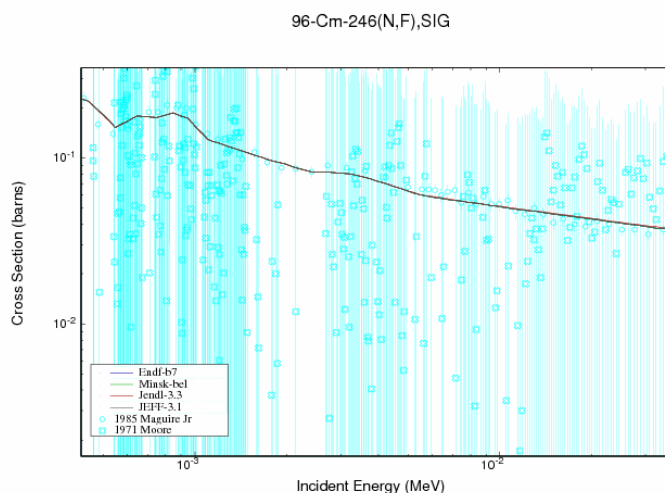


Рисунок 62. Сечение деления Cm-246 в области энергий неразрешенных резонансов.

Для полного сечения и сечения радиационного захвата в области энергий неразрешенных резонансов экспериментальных данных нет. Все оценки имеют одну и ту же зависимость.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1).

Экспериментальных данных нет, все оценки основаны на оценке Маслова и поэтому совпадают (см. рис. 63).

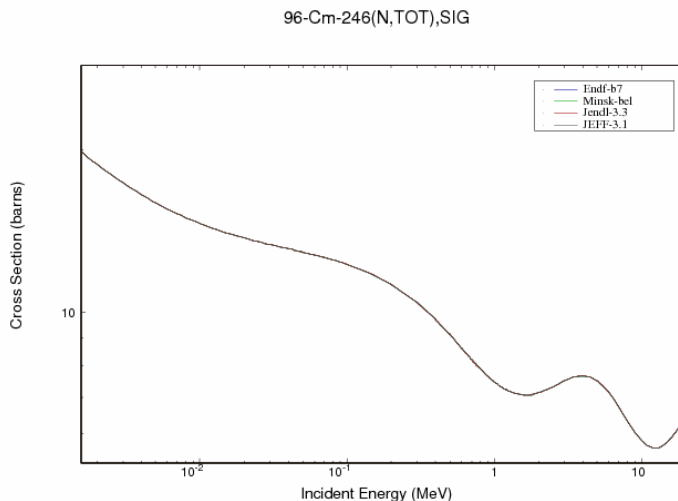


Рисунок 63. Полное сечение Cm-246 в области энергий нейтронов 40 кэВ – 20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 64 дано сравнение разных оценок. В области энергий выше 8 МэВ оценка JENDL-3.3 лежит ниже, но это отличие от других оценок практически не является значимым.

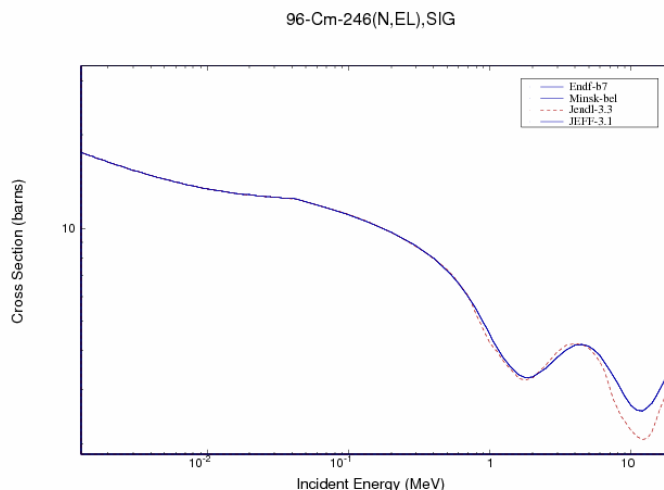


Рисунок 64. Сечение упругого рассеяния Cm-246 в области энергий 40кэВ-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

На рисунке 65 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Во всех рассмотренных файлах одна и та же оценка. Существенных замечаний к оценке нет.

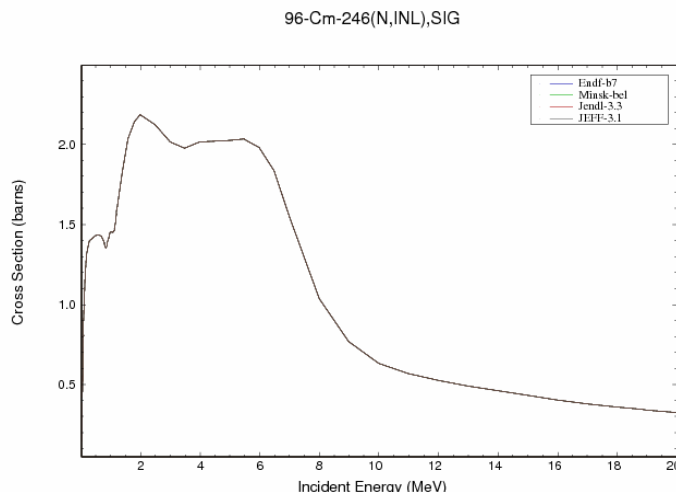


Рисунок 65. Сечение неупругого рассеяния Cm-246 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 66 показаны оценки сечений деления. Оценки ENDF/B-VII, JEFF-3.1 и Маслова идентичны и в области энергий нейтронов выше 8 МэВ. С точки зрения систематического поведения сечений деления в этой области, они лежат слишком низко. С другой стороны, оценка JENDL-3.3 в этой области завышена и не согласуется также с явно завышенным сечением реакции (n,2n). Учитывая, что оценка JENDL-3.3 лучше

описывает экспериментальные данные при энергиях 4-7 МэВ, следует принять оценку JENDL-3.3, хотя она и нуждается в существенной коррекции в этой области энергий.

Число нейтронов на деление принято на основе данных расчетов по модели Мэдлэнда-Никса /2/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны систематике Таттла /3/.

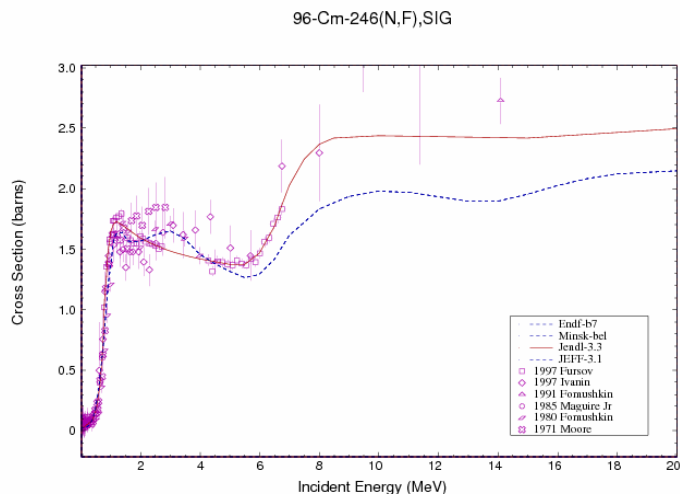


Рисунок 66. Сечение деления Cm-246 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

На рисунке 67 приведены оценки сечений радиационного захвата из библиотек ENDF/B-VII, JEFF-3.1, JENDL-3.3 и Маслова. В области энергий 7 МэВ имеется полное согласие всех оценок. Расхождение при более высоких энергиях связаны с использованием различных моделей ядерных реакций и входных параметров к ним и с количественной точки зрения принципиального значения не имеют.

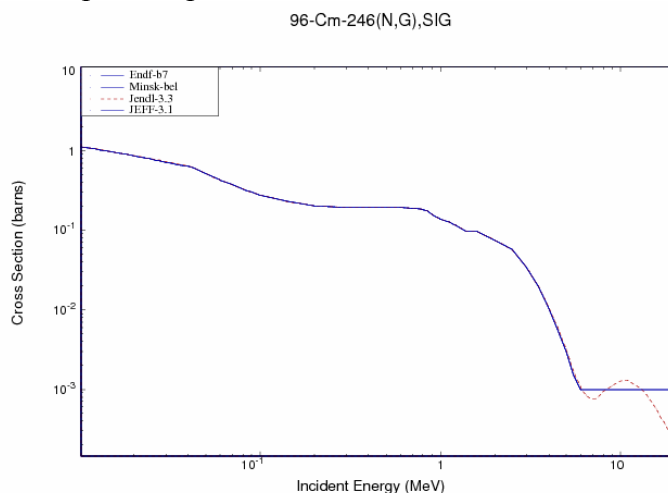


Рисунок 67. Сечение радиационного захвата Cm-246 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17).

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет, все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Оценки JENDL-3.3, ENDF/B-VII, JEFF-31 и Маслова и др. совпадают. Анализ показывает, что они почти в 1,5 раза завышены с точки зрения

систематики /4/ сечений реакции $(n,2n)$ в максимуме функции возбуждения. Для реакции $(n,3n)$ экспериментальных данных также нет. Указанную на рисунке 68 оценку можно считать удовлетворительной.

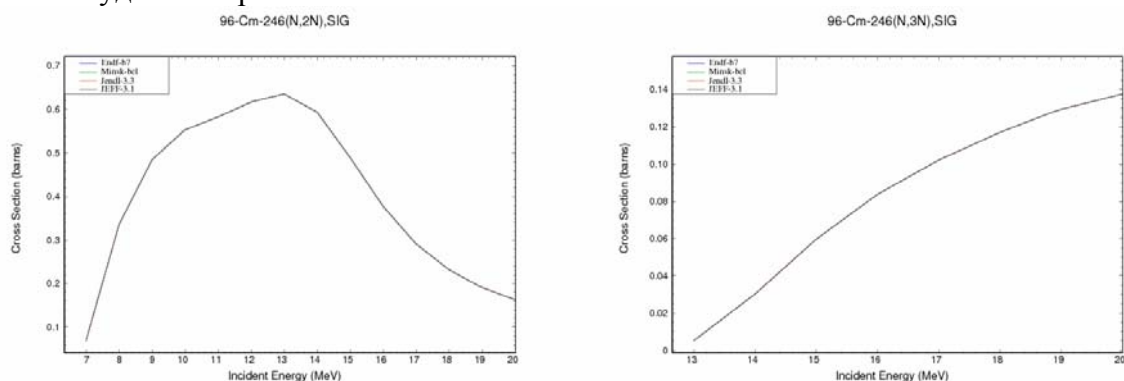


Рисунок 68. Сечение реакции $(n,2n)$ и $(n,3n)$ для Cm-246.

Заключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что в области разрешенных резонансов все оценки опираются на единый набор экспериментальных данных, и небольшие расхождения оценок не выходят за границы погрешностей данных. Файлы ENDF/B-VII, JEFF-31 и Маслова и др. содержат одни те же оценки. Оценка JENDL-3.3 в основном сформирована из тех же данных, кроме сечений деления.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку JENDL-3.3⁷ с учетом замечания по сечению деления в быстрой области.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

⁷ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить данные о выходах продуктов деления из ENDF/B-VI. — М.Николаев.

96.8. Кюрий-247

Оценки сечений Cm-247 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31.

Оценка JEFF-3.1 выпущена в 2005 году и основана на оценке T.Nakagawa (JAERI) 1989. Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2005 году и является совместной оценкой ORNL-JAERI. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году и представляет собой ревизию 2002 года файла JAERI 1989 года.

1, Общие характеристики

1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;

1.2. $A = 247$ (атомный вес);

1.3. $AW = 244.948$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);

1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 1.56E+7$ года, доминирует α -распад (100%).

1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | Е _{порог.} , МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0615 | .0618 | Cm-247 |
| 16 | n,2n | -5.156 | 5.177 | Cm-246 |
| 17 | n,3n | -11.600 | 11.647 | Cm-245 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 6.211 | 0 | Cm-248 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в библиотеках БРОНД-3, JENDL-3.3, ENDF/B-VII и Маслова (Минск) ограничена энергией 100 эВ, в JEFF-31 энергией 70 эВ.

Значения сечения для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными /1/ приведены в таблице 8.

Таблица 8. Резонансные свойства Cm-247.

| | JENDL-3.3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------|-----------|------------|----------|----------|
| σ_{tot} | 176.1 | 176.1 | 147.8 | -- |
| σ_{el} | 7.95 | 7.95 | 8.78 | -- |
| σ_f | 111.3 | 111.3 | 81.79 | 81.9±4.4 |
| σ_γ | 56.9 | 56.9 | 57.2 | 57±10 |
| I_f | 1130.0 | 1130.0 | 612.0 | 760±50 |
| I_γ | 574.0 | 574.0 | 535.0 | 530±30 |

Величины, полученные в JENDL-3.3 и ENDF/B-VII совпадают между собой, но существенно расходятся с экспериментальными данными. Величины JEFF-31 ближе к рекомендованным данным. Следует отметить, что оценка JENDL (ENDF/B) ориентирована на результаты по делению, полученные группой Данона (1994 г.)

На рисунках 69-72 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов. Оценки полного сечения и сечений деления и

радиационного захвата ENDF/B-VII, JENDL-3.3 совпадают, оценка JEFF-3.1 существенно отличается большим пропуском уровней.

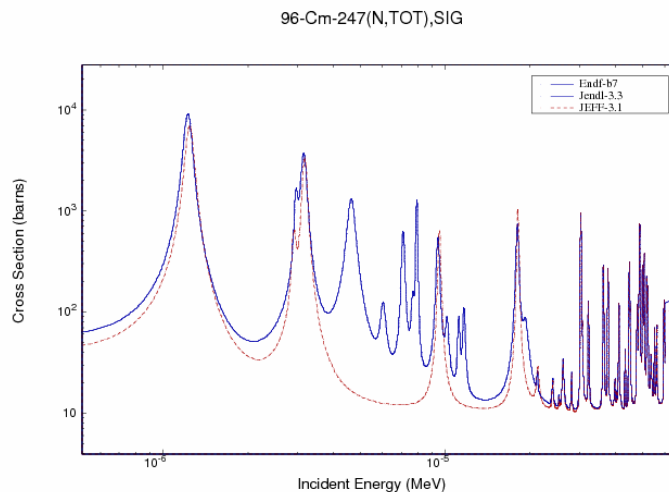


Рисунок 69. Полное сечение Cm-247 в области энергий разрешенных резонансов.

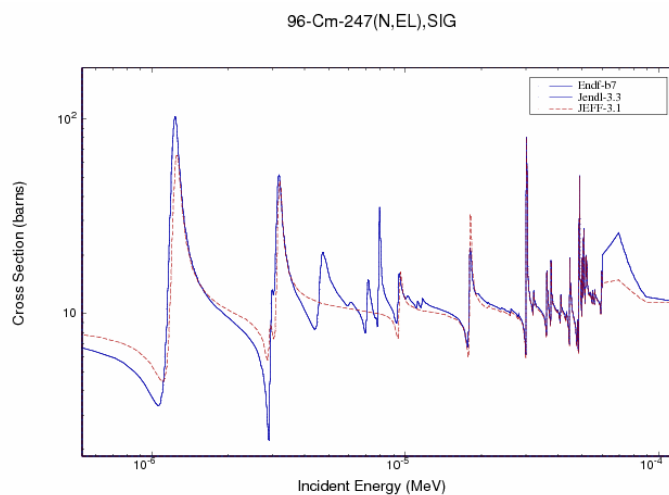


Рисунок 70. Сечение упругого рассеяния Cm-247 в области энергий разрешенных резонансов.

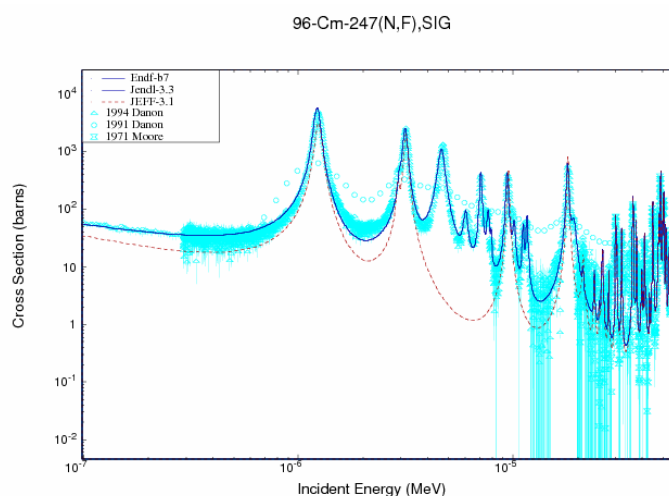


Рисунок 71. Сечение деления Cm-247 в области энергий разрешенных резонансов.

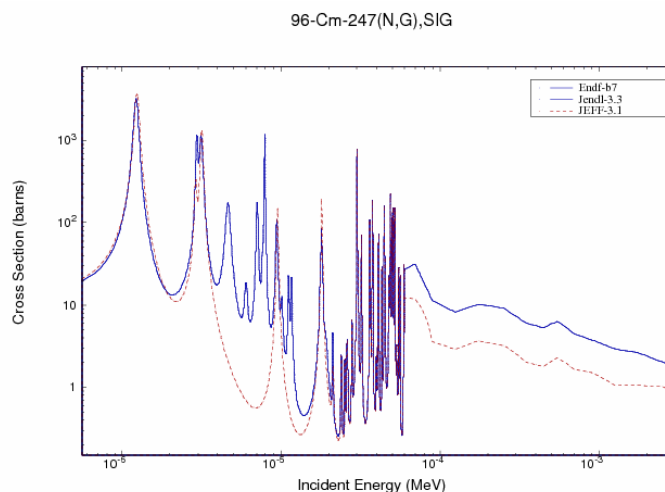


Рисунок 72. Сечение радиационного захвата Cm-247 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов.

Для области неразрешенных резонансов во всех оценках приняты следующие границы: 60 эВ –30. кэВ

На рисунке 73 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Все оценки (кроме JEFF-31) совпадают.

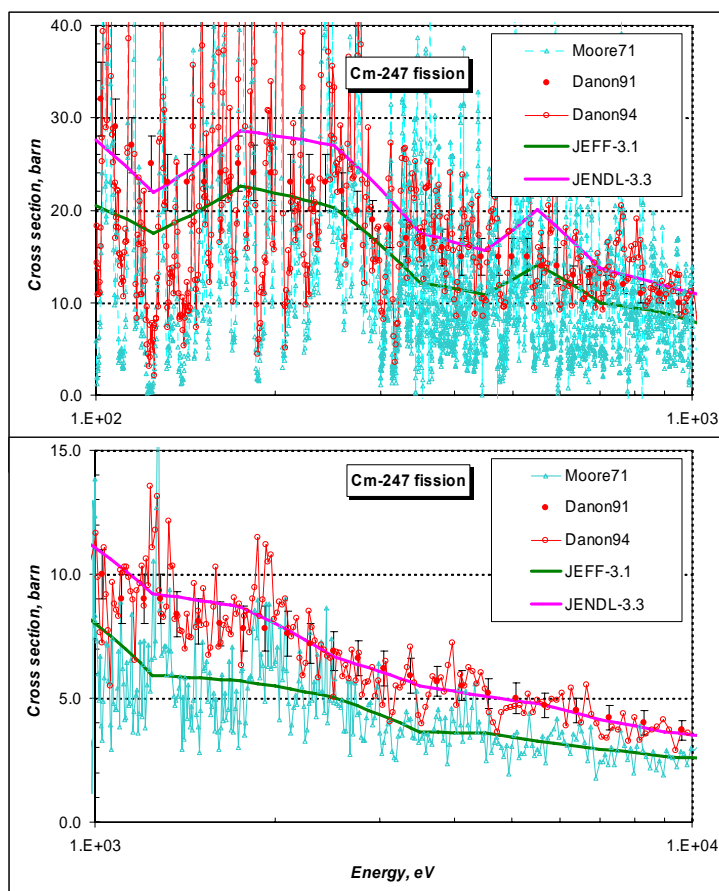


Рисунок 73. Сечение деления Cm-247 в области энергий неразрешенных резонансов.

Из приведенного на рисунке 73 сравнения видно, что оценка JEFF ориентирована на экспериментальные данные Moore(1971 г.) в то время, как оценка JENDL опирается на согласующиеся данные Danon'a (1991 г. и 1994 г.)

Для полного сечения и сечения радиационного захвата в области энергий неразрешенных резонансов экспериментальных данных нет. Все оценки имеют одну и ту же зависимость.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов по полному сечению экспериментальных данных нет (рис. 74). Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII, полученные расчетом по теоретическим моделям, согласуются между собой. Оценка JEFF-3.1 в области энергий неразрешенных резонансов лежит ниже за счет более низкого сечения деления.

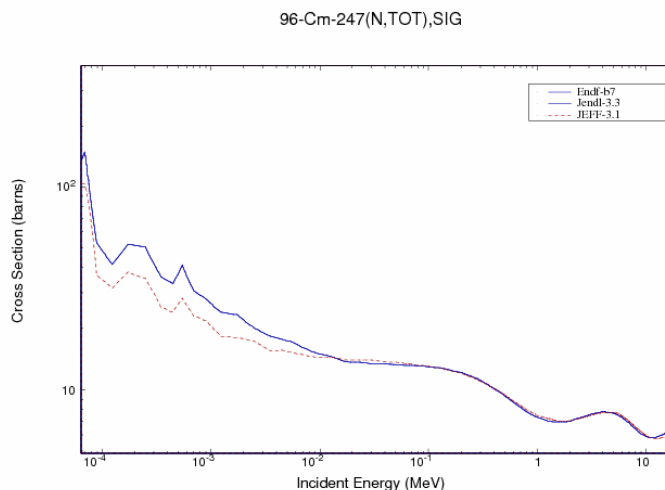


Рисунок 74. Полное сечение в области энергий нейтронов 40 кэВ –20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 75 дано сравнение разных оценок. Расхождения между оценками не имеют принципиального характера, и за неимением экспериментальных данных нет возможности отдать предпочтение какой-либо одной из оценок.

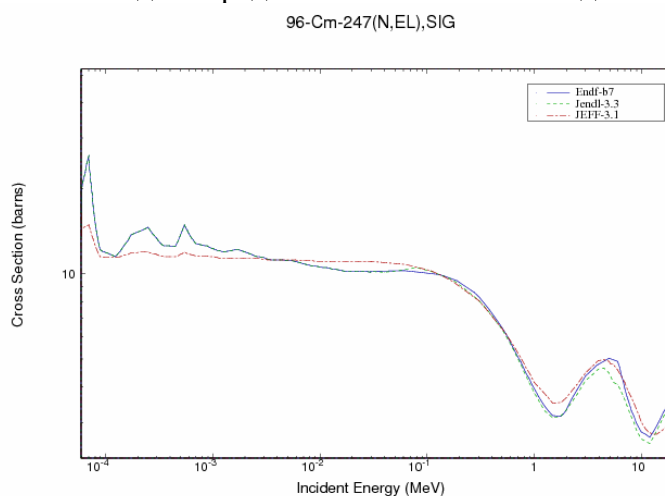


Рисунок 75. Сечение упругого рассеяния Cm-247 в области энергий 100 эВ-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 76 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII совпадают, оценка JEFF-31 существенно ниже и явно занижена в области выше 8 МэВ. Следует принять оценку ENDF/B-VII (= JENDL-3.3).

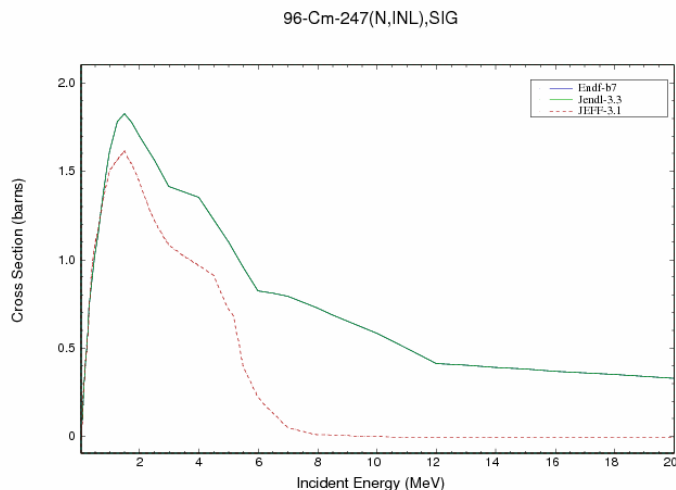


Рисунок 76. Сечение неупругого рассеяния Cm-247 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение деления (MT=18).

На рисунке 77 показаны оценки сечений деления. Оценки JENDL-3.3 и JEFF-31 практически идентичны, полностью игнорируют экспериментальные данные в области энергий 2-8 МэВ и лежат слишком высоко выше 8 МэВ с точки зрения систематик /5/. Оценка ENDF/B-VII лучше согласуется с экспериментальными данными и с систематическими тенденциями в поведении сечений деления.

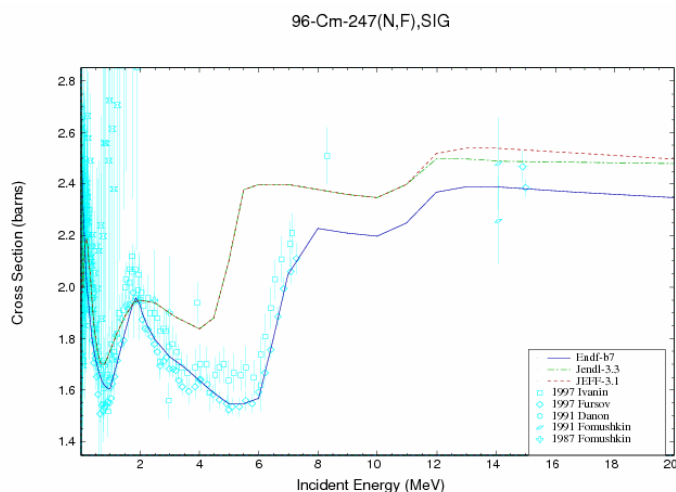


Рисунок 77. Сечение деления Cm-247 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /2/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /3/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

На рисунке 78 приведено сравнение оцененных сечений радиационного захвата из библиотек ENDF/B-VII, JEFF-31, JENDL-3. Экспериментальные данные отсутствуют. Исходя из систематики сечений, оценка ENDF/B-VII (=JENDL-3.3) является предпочтительней.

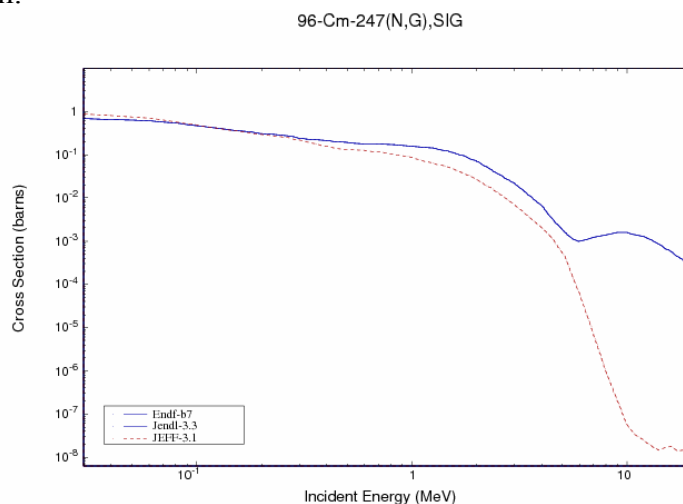


Рисунок 78. Сечение радиационного захвата в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17).

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет. Все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Сравнение оцененных кривых показано на рисунке 79. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII совпадают и хорошо согласуются с систематикой /4/. Оценка JEFF-31 для реакции (n,2n) чрезмерно высока, противоречит систематике, и, кроме того, сумма сечения деления и сечения реакции (n,2n) также противоречит систематике /5/.

Для реакции (n,3n) экспериментальных данных также нет. Оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII совпадают. Оценка JEFF-31 чрезмерно завышена.

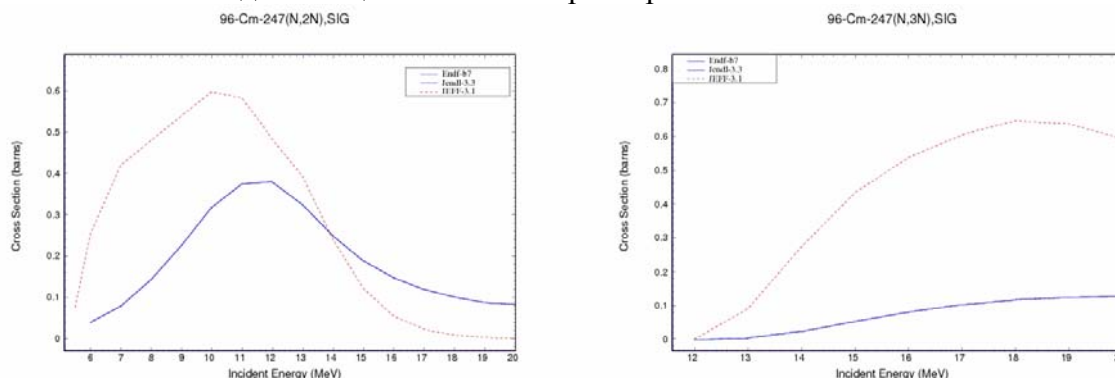


Рисунок 79. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-247.

Заключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что в области разрешенных резонансов оценки JENDL-3.3 и ENDF/B-VII опираются на единый набор экспериментальных данных. В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на необходимость уточнения этих оценок. Оценка JEFF-31 по указанным выше причинам не может быть рекомендована в РОСФОНД.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку ENDF/B-VII⁸.

Автор отбора данных
Манохин В.Н.

96.9. Кюрий-248

Оценки сечений Cm-248 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31.

Оценка JEFF-31 выпущена в 2005 году, в основе оценки лежат данные JEF-2 и JENDL-3.2 (1989 г.). Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2005 году, в ней принята оценка ENDF/B-VI. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году на основе ревизованной в 2000 году оценки JAERI 1995 года.

1. Общие характеристики

- 1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;
- 1.2. $A = 248$ (атомный вес);
- 1.3. $AW = 245.941$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 3.48E+5$ года, доминирует α -распад (99.61%) с вкладом 8.39% спонтанного деления.
- 1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|-----|---------|----------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -0.04283 | 0.0430 | Cm-248 |
| 16 | n,2n | -6.185 | 6.210 | Cm-247 |
| 17 | n,3n | -11.364 | 11.410 | Cm-246 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 4.710 | 0 | Cm-249 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в библиотеках JENDL-3.3, ENDF/B-VII и Маслова (Минск) ограничена энергией 100 эВ, в JEFF-31 энергией 70 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы в сравнении рекомендованными данными /1/ приведены в таблице 9.

Таблица 9. Резонансные свойства Cm-248.

| | JENDL-3.3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|------------|----------|-----------|
| σ_{tot} | 9.456 | 8.668 | 9.456 | - |
| σ_{el} | 6.51 | 6.14 | 6.51 | 7.65±0.40 |
| σ_f | 0.372 | 0.087 | 0.370 | 0.37±0.05 |
| σ_γ | 2.570 | 2.44 | 2.57 | 2.63±0.26 |
| I_f | 10.0 | 15.4 | 17.5 | 13.6±0.8 |
| I_γ | 267.0 | 248.1 | 260.0 | 270±15 |

⁸ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. – М.Николаев.

Из таблицы 9 следует, что сечение деления в тепловой точке в оценке ENDF/B занижено более чем в 4 раза. Резонансный интеграл деления в оценке JENDL ниже рекомендуемого в полтора раза. Это различие возникает за счет резонансных параметров для первого резонансного уровня (см. рис. 82). Если увеличить GF для первого уровня на порядок, то получим RIF ~ 13.6 барн (что совпадает с рекомендуемым значением!)

На рисунках 80-83 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов. В оценке ENDF/B-VII область разрешенных резонансов ограничена энергией 2.4 кэВ, в оценках JEFF-31 и JENDL-3.3 энергией 1.5 кэВ.

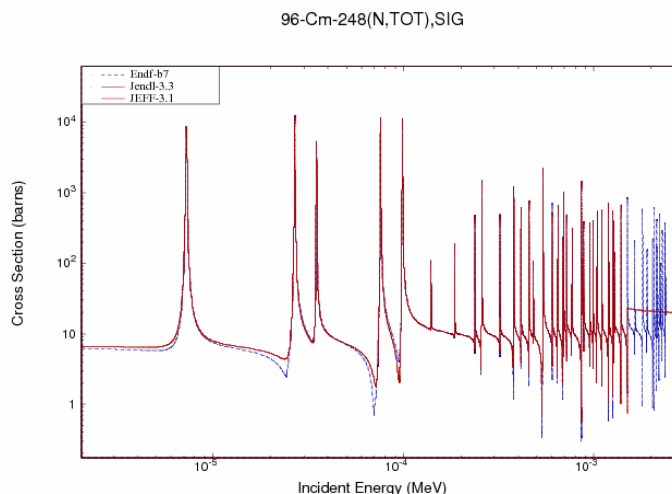


Рисунок 80. Полное сечение Cm-248 в области энергий разрешенных резонансов.

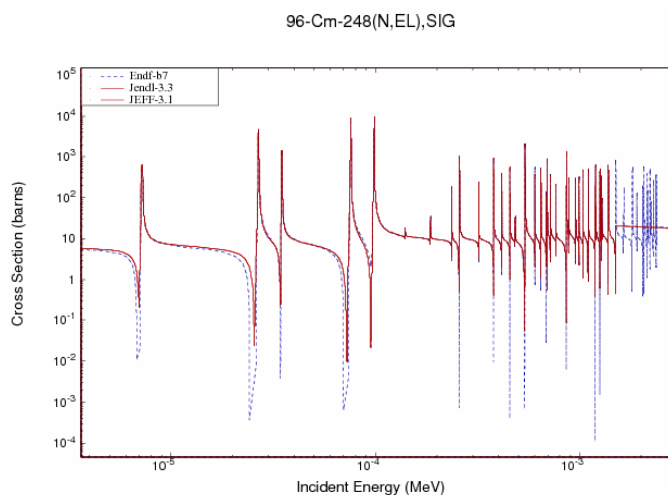


Рисунок 81. Сечение упругого рассеяния Cm-248 в области энергий разрешенных резонансов.

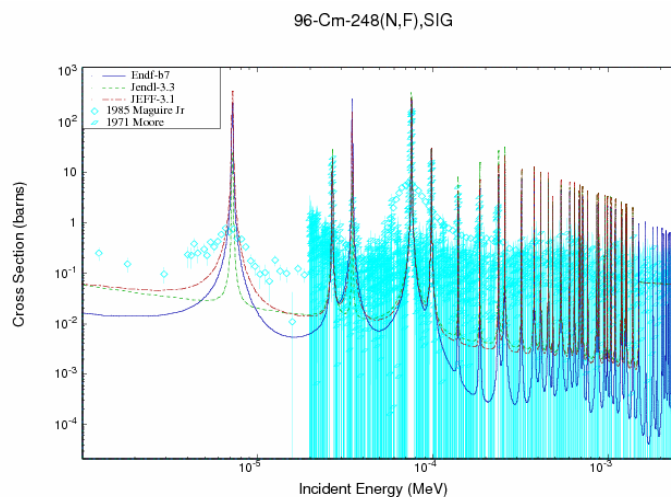


Рисунок 82. Сечение деления Cm-248 в области энергий разрешенных резонансов.

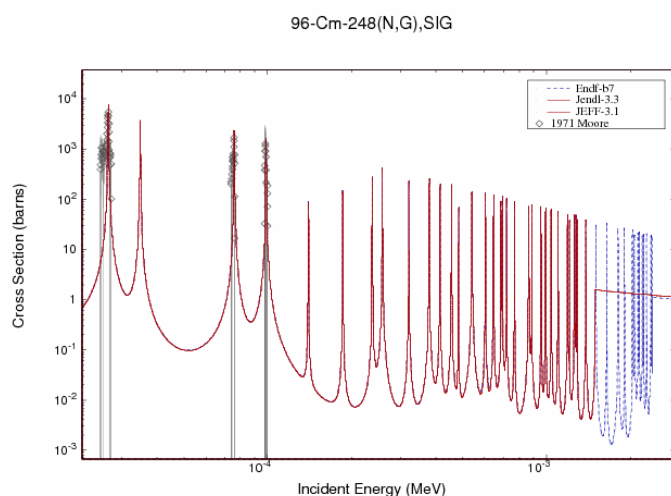


Рисунок 83. Сечение радиационного захвата Cm-248 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов.

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:

| | |
|------------|--------------------|
| ENDF/B-VII | 2.4 кэВ – 10.0 кэВ |
| JENDL-3.3 | 1.5 кэВ – 30.0 кэВ |
| JEFF-3.1 | 1.5 кэВ – 30.0 кэВ |

На рисунке 84 представлены экспериментальные и оцененные данные по сечению деления в области энергий неразрешенных резонансов. Оценка ENDF/B-VII существенно не согласуется с оценками JENDL-3.3 и JEFF-3.1. Эти оценки выглядят более предпочтительно. По полному сечению и сечению радиационного захвата в области энергий неразрешенных резонансов экспериментальных данных, полученные на основе теории ядерных реакций оценки для всех трех файлов совпадают.

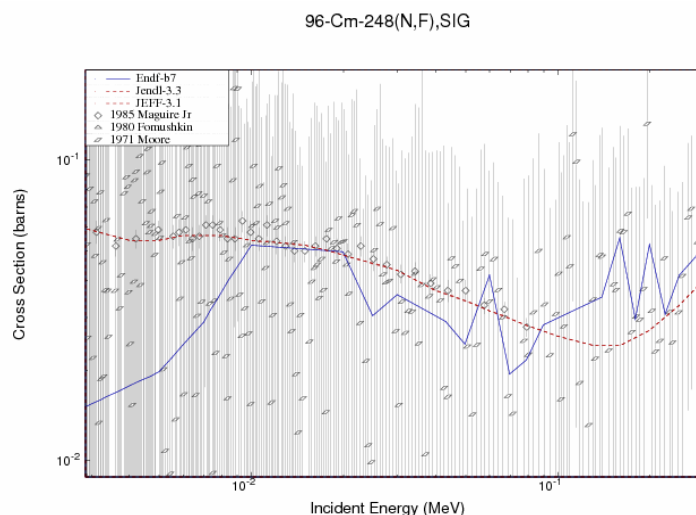


Рисунок 84. Сечение деления Cm-248 в области энергий неразрешенных резонансов.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов по полному сечению нет экспериментальных данных (см. рис. 85). Оценки различаются, но может быть использована любая из представленных оценок, хотя оценка JENDL-3.3 выглядит предпочтительней.

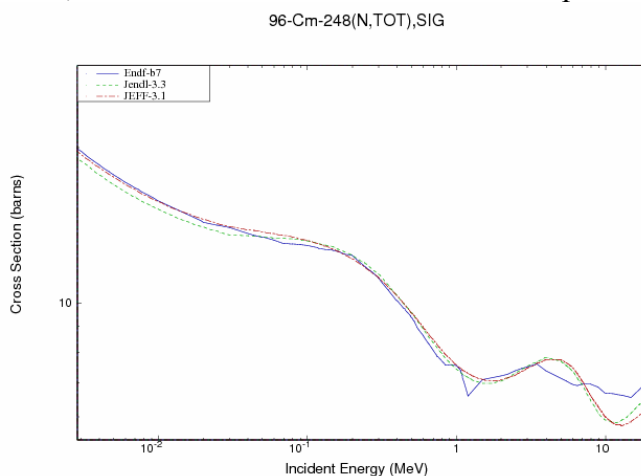


Рисунок 85. Полное сечение Cm-248 в области энергий нейтронов 30 кэВ – 20 МэВ.

Сечение упругого рассеяния (MT=2).

Сечение упругого рассеяния получено как разница полного сечения и суммы всех неупругих сечений. На рисунке 86 дано сравнение разных оценок. Расхождения между оценками не имеют принципиального характера, и за неимением экспериментальных данных нет возможности отдать предпочтение какой-либо одной из оценок.

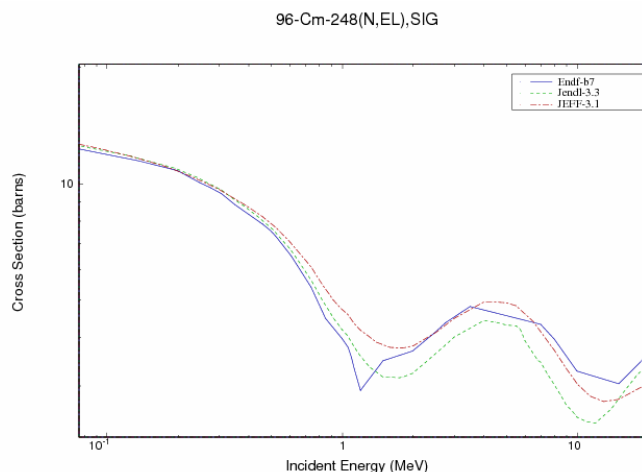


Рисунок 86. Сечение упругого рассеяния Cm-248 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

На рисунке 87 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек.

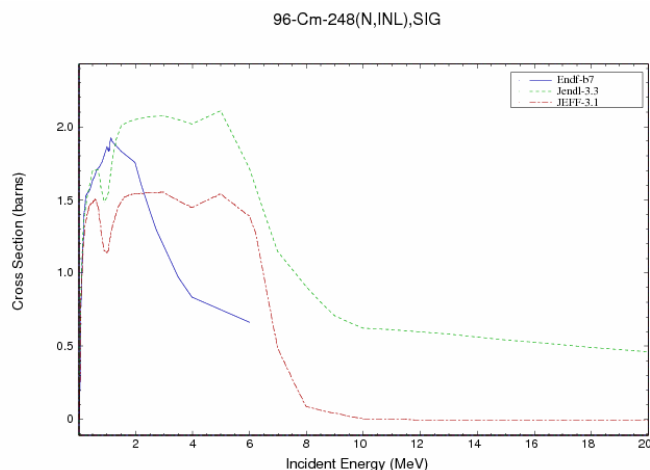


Рисунок 87. Сечение неупругого рассеяния Cm-248 в области энергий 1-20 МэВ..

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. Оценка ENDF/B-VII ограничена энергией 6 МэВ, скорее всего это ошибка в файле. Оценки JEFF-3.1 и JENDL-3.3 сильно различаются, но оценка JEFF-3.1 имеет нулевое сечение при энергиях выше 6 МэВ, что противоречит физическим представлениям. В данном случае приемлема оценка JENDL-3.3, хотя она несколько завышена.

Сечение деления (MT=18).

На рисунке 88 показаны оценки сечений деления в области энергий быстрых нейтронов. Экспериментальных данных нет. С точки зрения систематик /5/ лучше всего физическим представлениям соответствует оценка JENDL-3.3

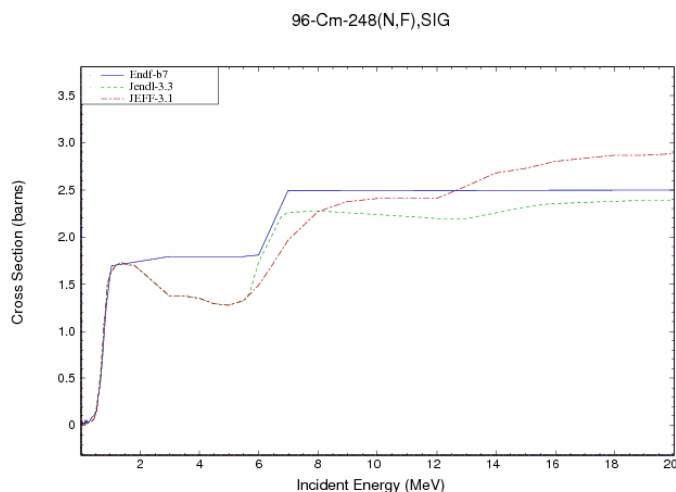


Рисунок 88. Сечение деления Cm-248 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

В оценках JENDL-3.3 и JEFF-3.1 число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /2/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /3/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102)

На рисунке 89 приведены оценки сечений радиационного захвата ENDF/B-VII, JEFF-3.1 и JENDL-3.3.

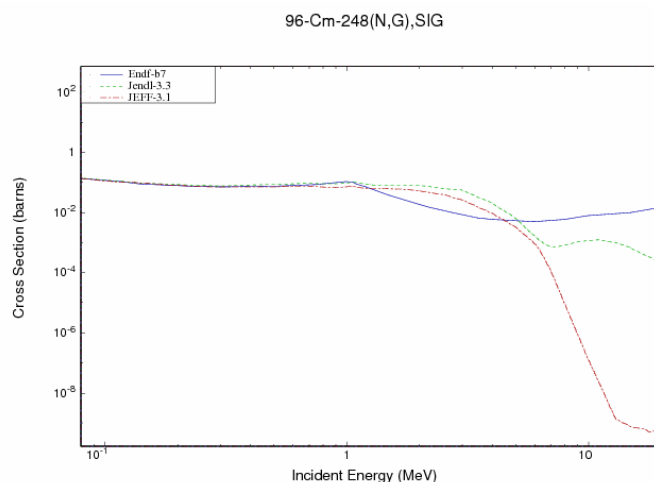


Рисунок 89. Сечение радиационного захвата в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

В области энергий до 1 МэВ имеется полное согласие всех оценок. Расхождения при более высоких энергиях связаны с использованием различных моделей ядерных реакций и входных параметров к ним. Оценка ENDF/B-VII выглядит крайне странно и не может быть рекомендована. Следует принять оценку JENDL-3.3.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17).

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет. Все оценки получены расчетом по теоретическим моделям (см. рис. 90). Оценка JENDL-3.3 соответствует систематике /4/. Оценка ENDF/B-VII противоречит существенно систематике, оценка JEFF-3.1 не соответствует физическим представлениям.

Для реакции (n,3n) экспериментальных данных также нет. Оценка ENDF/B-VII чрезмерно высока. Следует отдать предпочтение оценке JENDL-3.3.

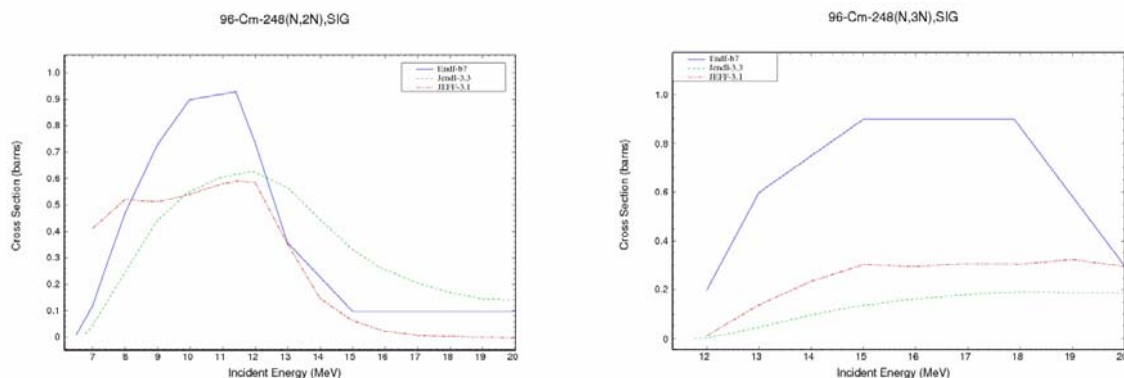


Рисунок 90. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-248.

Закключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что из оценок JENDL-3.3, JEFF-3.1 и ENDF/B-VII оценка JENDL-3.3 является лучшей.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку JENDL-3.3⁹.

Следует изменить параметры первого резонансного уровня с тем, что бы устранить расхождение с рекомендованными данными Мухабхаба по резонансному интегралу деления.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

96.10. Кюрий-249

Оценки сечений Cm-249 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31.

Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2002 году на основе ревизованной в 2000 году оценки JAERI 1995 года. Оценки JENDL-3.3 и JEFF-31 выпущены в 2002 году и идентичны оценке ENDF/B-VII, кроме области разрешенных резонансов, где в оценке ENDF/B-VII в 2006 году проведена коррекция резонансных параметров, что привело к существенному различию в резонансном интеграле деления.

1. Общие характеристики

- 1.1. $Z = 96$ -зарядовое число;
- 1.2. $A = 249$ (атомный вес);
- 1.3. $AW = 246.936$ (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 64.15$ мин, доминирует β -распад (100%).
- 1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | $E_{\text{порог.}}$, МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|----|---------|---------|---------------------------|----------------------------|
| 4 | n,n' | -.0430 | .0432 | Cm-249 |
| 16 | n,2n | -5.829 | 5.853 | Cm-248 |
| 17 | n,3n | -10.548 | 10.591 | Cm-247 |

⁹ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. Включить данные о выходах продуктов деления из ENDF/B-VI. – М.Николаев.

| | | | | |
|-----|---------|-------|---|---------------------|
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 4.406 | 0 | Cm-250 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в оценках JEFF-31, JENDL-3.3, ENDF/B-VII ограничена энергией 150 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы приведены в таблице 10. Имеется только одна экспериментальная точка по сечению захвата σ_{γ} .

Таблица 10. Резонансные свойства Cm-249.

| | JENDL-3.3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 | Мухабхаб |
|-----------------------|-----------|------------|----------|---------------|
| σ_{tot} | 20.75 | 21.28 | 20.75 | - |
| σ_{el} | 8.76 | 9.28 | 8.76 | - |
| σ_f | 10.23 | 10.25 | 10.23 | |
| σ_{γ} | 1.76 | 1.75 | 1.76 | 1.6 \pm 0.8 |
| I_f | 166.0 | 134.0 | 166.0 | - |
| I_{γ} | 62.2 | 59.1 | 62.2 | - |

Данные ENDF/B-VII, приведенные в таблице, отличаются от данных JENDL-3.3 (=JEFF-3.1), поскольку в 2006 году Wright провел коррекцию резонансных параметров.

На рисунках 91-93 представлены оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов. Экспериментальных данных нет. Оценки полного сечения, сечений деления и радиационного захвата ENDF/B-VII отличаются от оценок JENDL-3.3 и JEFF-31 вследствие указанной выше коррекции резонансных параметров в ENDF/B-VII.

96-Cm-249(N,TOT),SIG

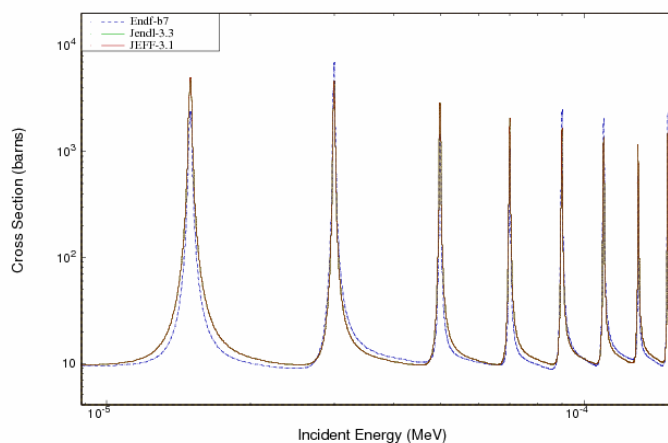


Рисунок 91. Полное сечение Cm-249 в области энергий разрешенных резонансов.

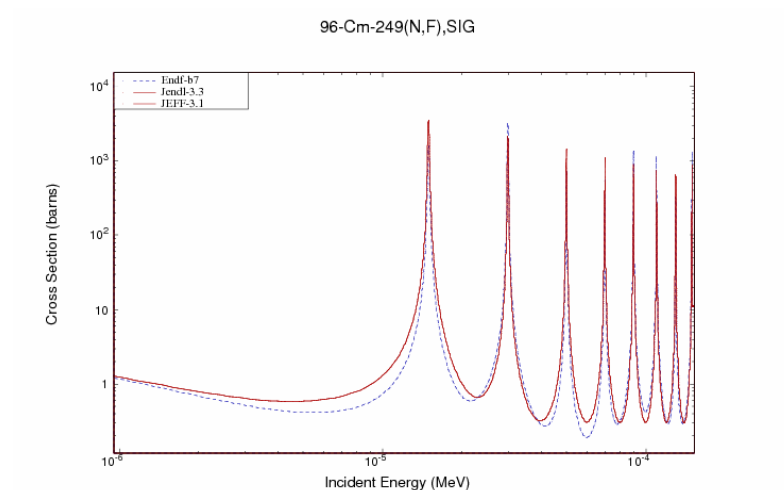


Рисунок 92. Сечение деления Cm-249 в области энергий разрешенных резонансов.

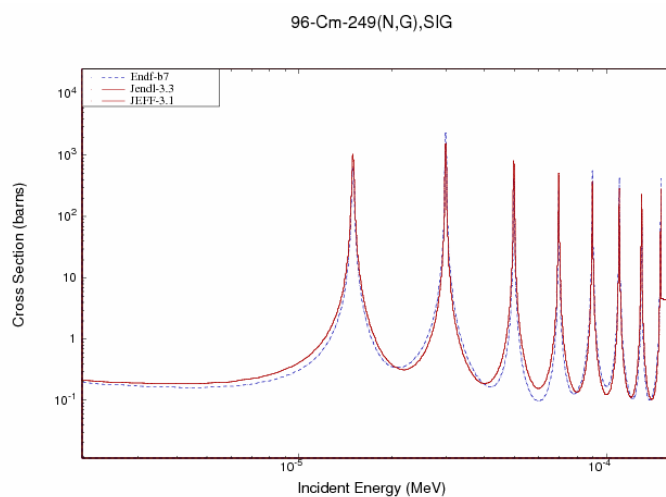


Рисунок 93. Сечение радиационного захвата Cm-249 в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы: 150 эВ – 25 кэВ.

Экспериментальных данных в этой области по всем сечениям нет. Все оценки в области выше области разрешенных резонансов идентичны.

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

Полное сечение (MT=1).

В быстрой области энергий нейтронов по полному сечению экспериментальных данных нет (см. рис. 94).

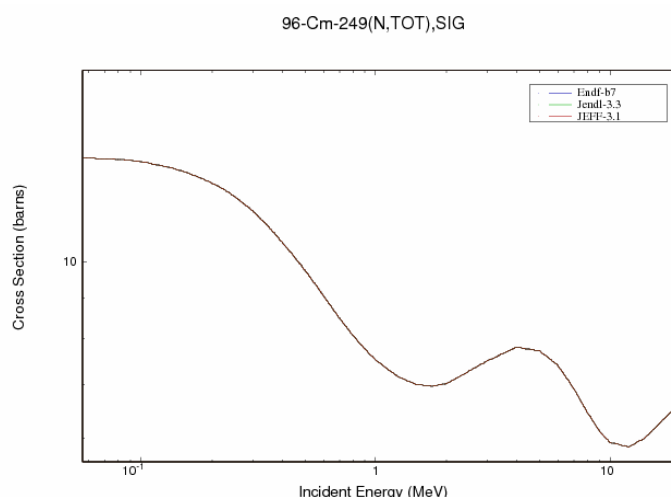


Рисунок 94. Полное сечение Cm-249 в области энергий нейтронов 40 кэВ –20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 95 показаны оцененные интегральные сечения неупругого рассеяния из всех указанных библиотек. Существенных замечаний оценке в области энергий до 8 МэВ нет. При энергии 8-20 МэВ оценка явно завышена.

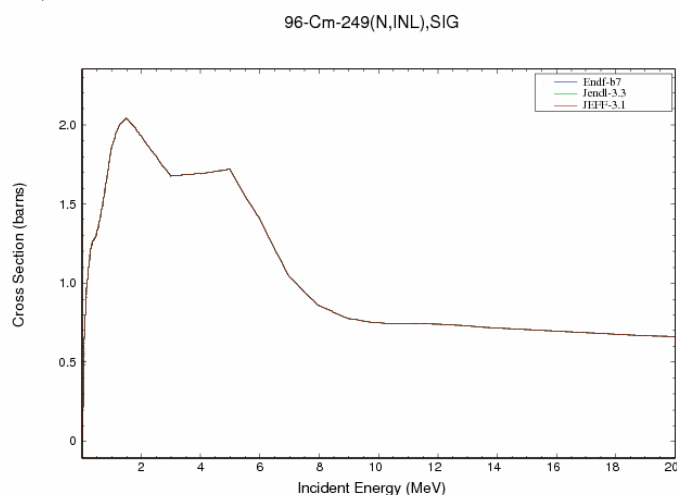


Рисунок 95. Сечение неупругого рассеяния Cm-249 в области энергий 1-20 МэВ..

Сечение деления (MT=18)

На рисунке 96 показаны оценки сечений деления. Из-за отсутствия экспериментальных данных трудно делать обоснованные комментарии, однако представленная зависимость не противоречит систематическим тенденциям в реакции деления в быстрой области энергий нейтронов.

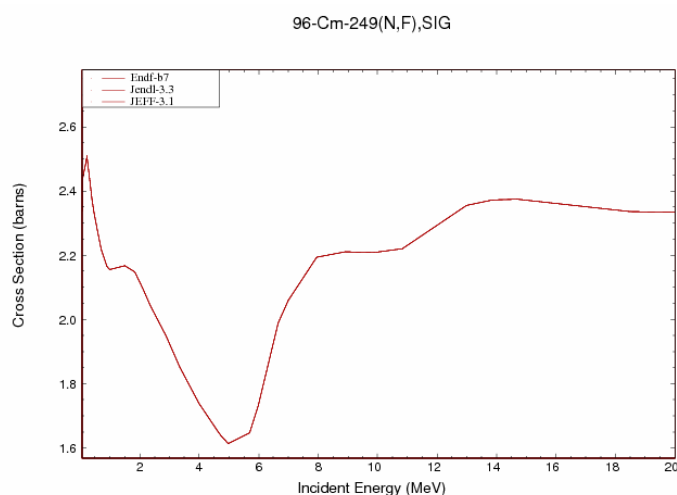


Рисунок 96. Сечение деления Cm-249 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /2/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /3/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

На рисунке 97 приведены оценки сечений радиационного захвата. Некоторый подъем сечения вблизи 1-2 МэВ вызывает сомнения, но в целом оценка приемлема.

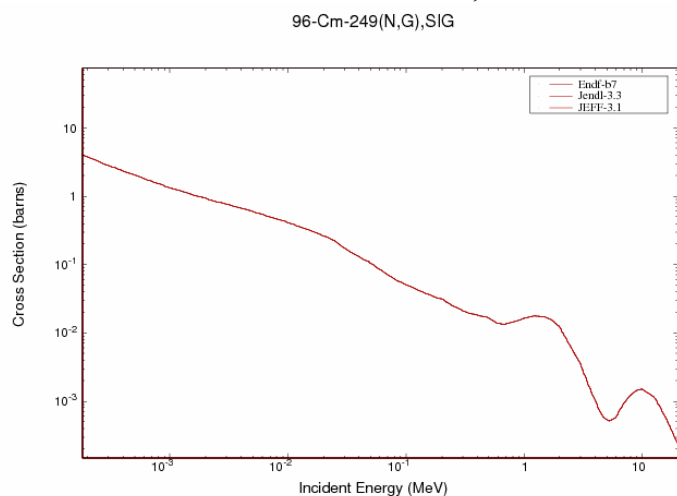


Рисунок 97. Сечение радиационного захвата Cm-249 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет (см. рис.98) , все оценки получены расчетом по теоретическим моделям, оценки соответствуют систематикам /4/ и могут быть рекомендованы. Для реакции (n,3n) экспериментальных данных также нет. К представленной на рисунке 98 оценке замечаний нет.

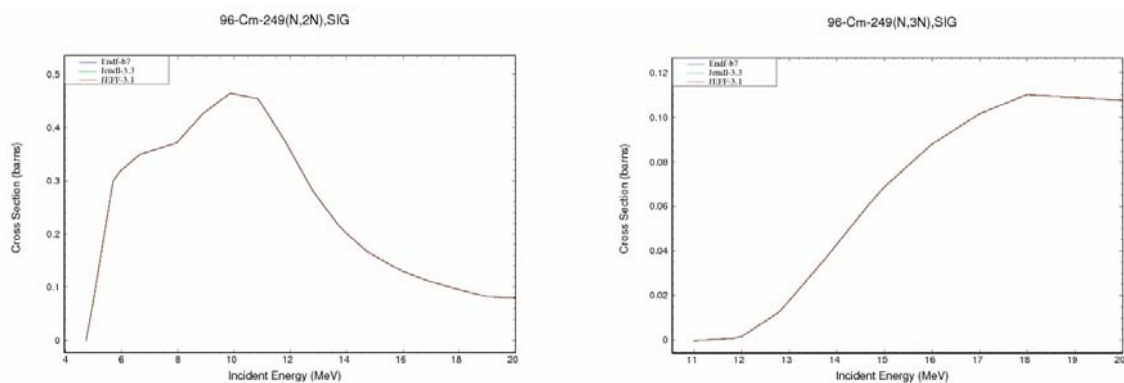


Рисунок 98. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-249.

Закключение.

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что в области разрешенных резонансов следует принять оценку ENDF/B-VII. Оценки основных сечений в области энергий нейтронов быстрых в файле ENDF/B-VII также приемлемы в качестве основы для дальнейшего экспериментального и теоретического обоснования.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку ENDF/B-VII¹⁰.

В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на возможность уточнения этой оценки.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

96.11. Кюрий-250

Оценки сечений Cm –250 имеются в библиотеках ENDF/B-VII, JENDL-3.3, JEFF-31.

Оценка ENDF/B-VII выпущена в 2002 году на основе ревизованной в 2000 году оценки JAERI 1995 года. Оценка JENDL-3.3 выпущена в 2002 году на основе ревизованной в 2000 году оценки T.Nakagawa (JAERI) 1995 года. Оценка JEFF-31 выпущена в 2005 году и включает оценку JENDL-3.3.

Все три оценки содержат одни и те же данные: JENDL-3.3.

1. Общие характеристики

- 1.1. Z = 96 -зарядовое число;
- 1.2. A = 250 (атомный вес);
- 1.3. AW = 247.930 (отношение массы ядра к массе нейтрона);
- 1.4. Радиоактивен с периодом полураспада $T_{1/2} = 8.3E+3$ года, α -распад (18%) и 74% спонтанное деление (74%).
- 1.5. Перечень нейтронных реакций, имеющих пороги до 20 МэВ:

| MT | Реакция | Q, МэВ | Е _{порог.} , МэВ | Ядро-продукт ^{*)} |
|----|---------|--------|---------------------------|----------------------------|
|----|---------|--------|---------------------------|----------------------------|

¹⁰ Данные о запаздывающих нейтронах принять в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры принять такими же, как для урана-235. – М.Николаев.

| | | | | |
|-----|---------|---------|--------|------------------|
| 4 | n,n' | -.0430 | .0432 | Cm-250 |
| 16 | n,2n | -5.829 | 5.853 | Cm-249 |
| 17 | n,3n | -10.548 | 10.591 | Cm-248 |
| 18 | деление | | 0 | продукты деления |
| 102 | n,g | 4.406 | 0 | Cm-251 |

2. Нейтронные данные в резонансной области (MF=2)

Область разрешенных резонансов

Область разрешенных резонансов в оценках JENDL-3.3, ENDF/B-VII и JEFF-31 ограничена энергией 150 эВ.

Значения сечений для тепловых нейтронов и резонансные интегралы приведены в таблице 11. Экспериментальных данных нет.

Таблица 11. Резонансные свойства Cm-250.

| | JENDL-3.3 | ENDF/B-VII | JEFF-3.1 |
|-----------------------|-----------|------------|----------|
| σ_{tot} | 124.9 | 124.9 | 124.9 |
| σ_{el} | 39.5 | 39.5 | 39.5 |
| σ_f | 0.002 | 0.002 | 0.002 |
| σ_γ | 85.3 | 85.3 | 85.3 |
| I_f | 6.91 | 6.91 | 6.91 |
| I_γ | 304 | 304 | 304 |

На рисунках 99-102 представлены экспериментальные и оцененные данные в области энергий разрешенных резонансов.

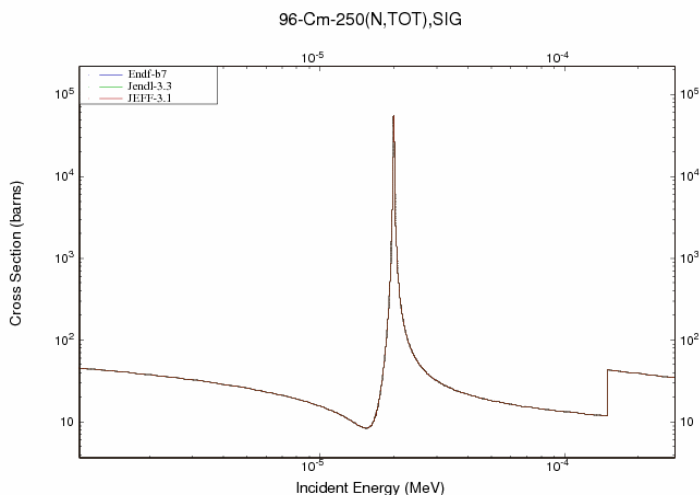


Рисунок 99. Полное сечение Cm-250 в области энергий разрешенных резонансов.

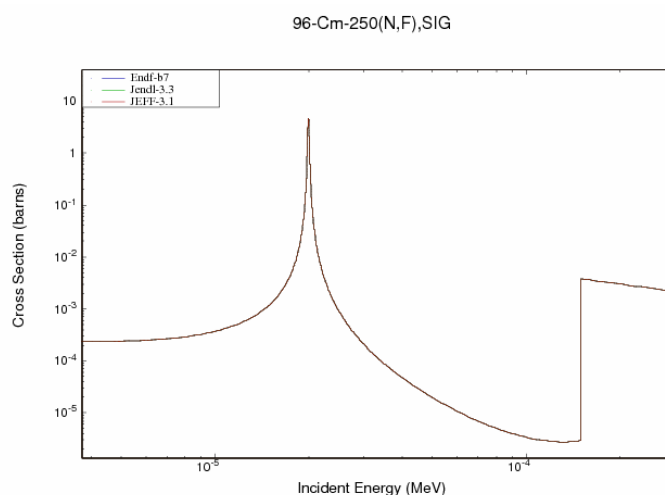


Рисунок 100. Сечение деления Cm-250 в области энергий разрешенных резонансов.

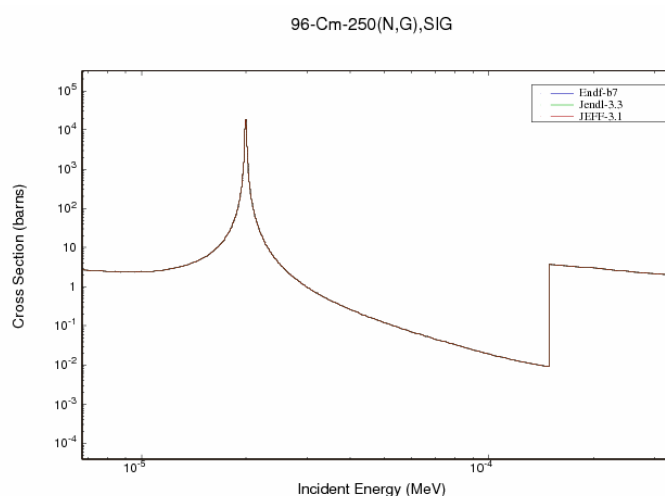


Рисунок 101. Сечение радиационного захвата в области энергий разрешенных резонансов.

Область неразрешенных резонансов

Для области неразрешенных резонансов приняты следующие границы:
JENDL-3.3 150 эВ – 30.0 кэВ

3. Нейтронные данные вне резонансной области (MF=3)

В этой области при отсутствии экспериментальных данных трудно судить о достоверности представленных данных. При дальнейшем анализе используются только физические представления и эмпирические систематики, позволяющие исключить явно ошибочные зависимости.

Полное сечение (MT=1)

В быстрой области энергий нейтронов экспериментальных данных (рис. 102) нет. Замечаний к оценке нет.

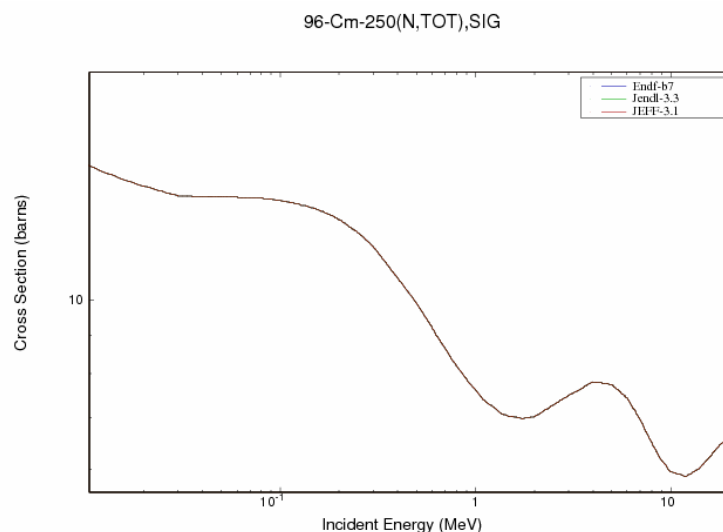


Рисунок 102. Полное сечение Cm-250 в области энергий нейтронов 40 кэВ –20 МэВ.

Сечение неупругого рассеяния (MT=4).

По сечениям неупругого рассеяния экспериментальных данных нет. На рисунке 103 показано оцененное интегральное сечение неупругого рассеяния.

С точки зрения физических представлений и систематических тенденций эта зависимость нуждается в корректировке, но, тем не менее, ее можно принять за основу.

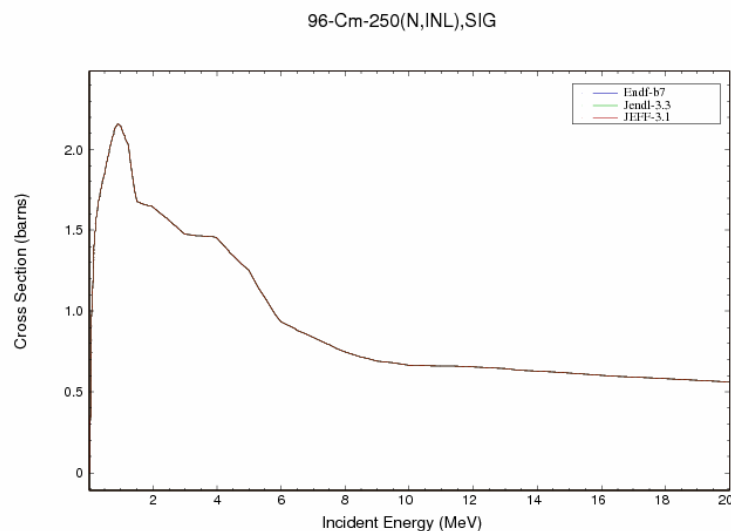


Рисунок 103. Сечение неупругого рассеяния Cm-250 в области энергий 1-20 МэВ.

Сечение деления (MT=18).

Представленная на рисунке 104 оценка сечения деления примерно соответствует систематическим тенденциям и может быть рекомендована.

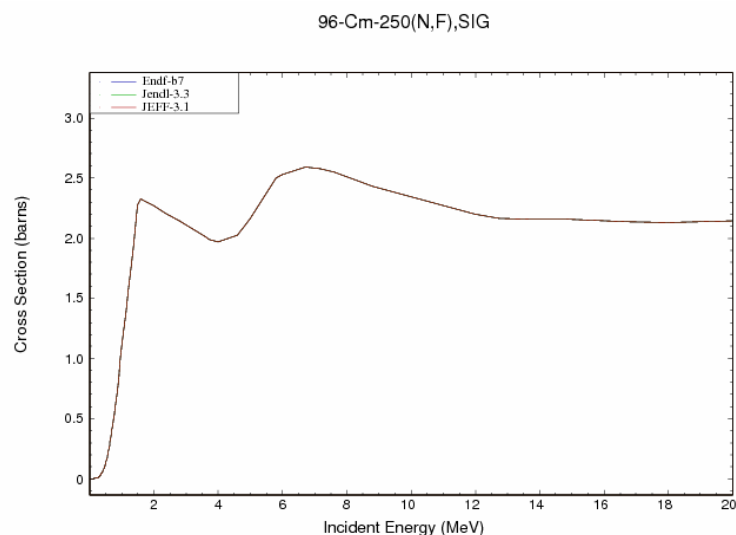


Рисунок 104. Сечение деления Cm-250 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Число мгновенных нейтронов на деление принято на основе систематики /1/. Данные по числу запаздывающих нейтронов основаны на систематике Таттла /2/.

Сечение радиационного захвата нейтронов (MT=102).

Сечение радиационного захвата представлено на рисунке 105. Оцененное сечение радиационного захвата примерно соответствует систематическим тенденциям. Она может быть принята за основу.

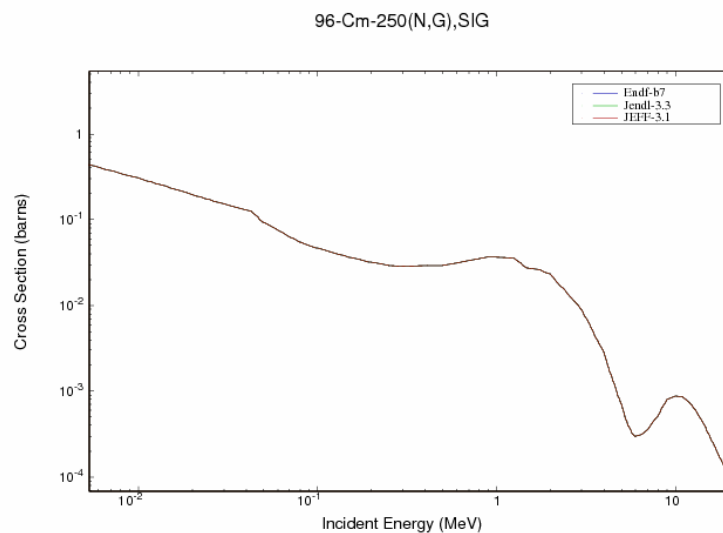


Рисунок 105. Сечение радиационного захвата Cm-250 в области энергий нейтронов 1-20 МэВ.

Сечение реакций (n,2n), (n,3n) (MT=16,17)

Для реакции (n,2n) экспериментальных данных нет, все оценки получены расчетом по теоретическим моделям. Оценка не противоречит эмпирической систематике /3/.

Для реакции (n,3n) экспериментальных данных также нет. Оценка соответствует систематике.

Энергетическая зависимость сечений показана на рисунке 106.

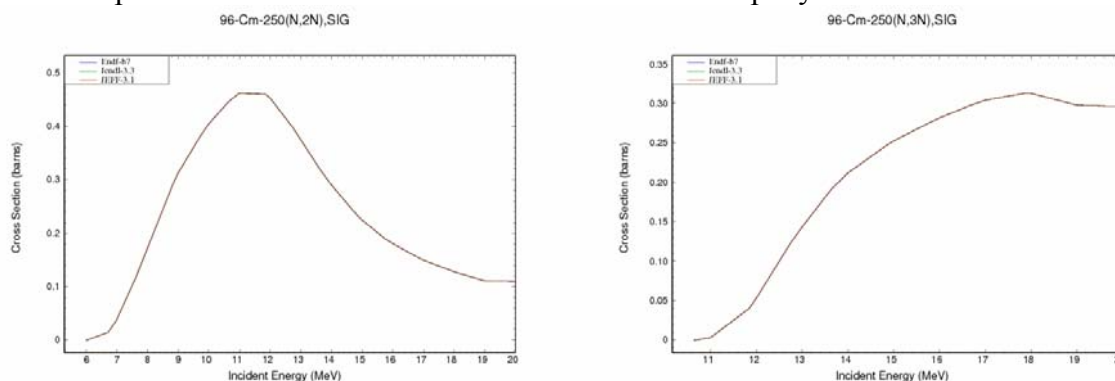


Рисунок 106. Сечение реакции (n,2n) и (n,3n) для Cm-250.

Заключение.

Анализ показывает, что основные сечения представленных оценок приемлемы в качестве основы для дальнейшего экспериментального и теоретического обоснования.

Для библиотеки РОСФОНД целесообразно принять оценку JENDL-3.3¹¹ (=ENDF/B-VII).

В настоящее время нет каких-либо экспериментальных данных, указывающих на возможность уточнения этой оценки.

Автор отбора данных

Манохин В.Н.

ЛИТЕРАТУРА-240

1. Howerton R.J.: Nucl. Sci. Eng., 62, 438 (1977).
2. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
Tuttle R.J.: INDC(NDS)-107/G+special, P.29 (1979).
3. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
4. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.

ЛИТЕРАТУРА-242

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Беланова Т.С., Игнатьев А.В., Пашенко А.Б., Пляскин В.И. Радиационный захват нейтронов. М. Энергоатомиздат, 1986.
3. Бадиков С.А. Препринт ФЭИ-1686, Обнинск, 1985.
Badikov S.A., Zolotarev K.I. In: Proc. Spec. Meeting on Evaluation and Processing of Covariance Data (Oak Ridge, 1992). Paris, OECD, 1993, p. 105.
4. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
5. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.

¹¹ Данные о запаздывающих нейтронах приняты в соответствии с оценкой JEFF-3.1 (8 групп), а их спектры приняты такими же, как для урана-235. – М.Николаев.

6. Игнатюк А.В., Толстиков В.А., Золотарев К.И. ВАНТ, Ядерные Константы, 1997, 4,
7. Блохин А.И. и др. ВАНТ, Ядерные константы, 1999, вып. 2, с.62.
8. Игнатюк А.И., Отчет ФЭИ-11197, 2002.

ЛИТЕРАТУРА-243

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Khokhlov Yu.A. et al., Proc. Int. Conf. On Nuclear Data for Sci. and Techn., Gatlinburg, May 9-14, 1994, p.273.
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
4. Madland D.G., Nix J.R., Nucl. Sci. Eng., 81, 213, (1982). 9640 1451
5. Блохин А.И. и др. ВАНТ, Ядерные константы, 1999, вып. 2, с.62.
6. Игнатюк А.И., Отчет ФЭИ-11197, 2002.
7. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).

ЛИТЕРАТУРА-244

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Khokhlov Yu.A. et al., Proc. Int. Conf. On Nuclear Data for Sci. and Techn., Gatlinburg, May 9-14, 1994, p.273.
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
4. Беланова Т.С., Игнатюк А.В., Пашенко А.Б., Пляскин В.И. Радиационный захват нейтронов. М. Энергоатомиздат, 1986.
5. Бадиков С.А. Препринт ФЭИ-1686, Обнинск, 1985.
Badikov S.A., Zolotarev K.I. In: Proc. Spec. Meeting on Evaluation and Processing of Covariance Data (Oak Ridge, 1992). Paris, OECD, 1993, p. 105.
6. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
7. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.
8. Игнатюк А.В., Толстиков В.А., Золотарев К.И. ВАНТ, Ядерные Константы, 1997, 4,
9. Блохин А.И. и др. ВАНТ, Ядерные константы, 1999, вып. 2, с.62.
10. Игнатюк А.И., Отчет ФЭИ-11197, 2002.

ЛИТЕРАТУРА-245

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Khokhlov Yu.A. et al., Proc. Int. Conf. On Nuclear Data for Sci. and Techn., Gatlinburg, May 9-14, 1994, p.273.
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
4. Madland D.G., Nix J.R., Nucl. Sci. Eng., 81, 213, (1982). 9640 1451
5. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
6. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.

ЛИТЕРАТУРА-246

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.

2. Madland D.G., Nix J.R., Nucl. Sci. Eng., 81, 213, (1982).
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
Tuttle R.J. Proc. Consultants Meeting on Delayed Neutron Properties, 1979, Vienna, INDC(NDS)-107/G, p.29.
4. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
5. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.
6. Maguire Jr. H.T. et al.: Nucl. Sci. Eng., 89, 293 (1985). 9643 1451 74

ЛИТЕРАТУРА-247

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Howerton R.J.: Nucl. Sci. Eng., 62, 438 (1977).
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
Tuttle R.J.: INDC(NDS)-107/G+special, P.29 (1979).
4. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
5. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.

ЛИТЕРАТУРА-248

1. Mughabghab S., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Howerton R.J.: Nucl. Sci. Eng., 62, 438 (1977).
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
Tuttle R.J.: INDC(NDS)-107/G+special, P.29 (1979).
4. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
5. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.

ЛИТЕРАТУРА-249

1. Mughabghab S.F.: Atlas of Neutron Resonances, Academic Press, NY, 2006 (5-th edition of BNL-325)
Mughabghab, I.A., Neutron Cross Sections. N.Y.-London, Academic Press, 1984, v.1, part B.
2. Khokhlov Yu.A. et al., Proc. Int. Conf. On Nuclear Data for Sci. and Techn., Gatlinburg, May 9-14, 1994, p.273.
3. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
4. Беланова Т.С., Игнатюк А.В., Пашенко А.Б., Пляскин В.И. Радиационный захват нейтронов. М. Энергоатомиздат, 1986.
5. Бадиков С.А. Препринт ФЭИ-1686, Обнинск, 1985.
Badikov S.A., Zolotarev K.I. In: Proc. Spec. Meeting on Evaluation and Processing of Covariance Data (Oak Ridge, 1992). Paris, OECD, 1993, p. 105.
6. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
7. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.
8. Игнатюк А.В., Толстиков В.А., Золотарев К.И. ВАНТ, Ядерные Константы, 1997, 4,
9. A.Filatenkov et al. VANT, Ser. Nuclear Constants, 1996, is. 2, p.8.

ЛИТЕРАТУРА-250

1. Howerton R.J.: Nucl. Sci. Eng., 62, 438 (1977).
2. Tuttle R.J., Nucl. Sci. Eng., 56(1975)37.
Tuttle R.J.: INDC(NDS)-107/G+special, P.29 (1979).
- 3.. Manokhin, V.N. Report INDC(CCP)-397, Vienna, 1997.
Manokhin, V.N., Blokhin, A.I. Proc. Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology, Trieste, Italy, P.871(1997).
4. Блохин А.И., Манохин В.Н., Насырова С.М., Препринт ФЭИ-2620, 1997.