

50. ОЛОВО

Обладая магическим числом протонов (50), олово имеет наибольшее число стабильных изотопов (10). Трудности модельного описания сечений при энергии ниже нескольких МэВ обусловлены низкой плотностью уровней и большой флуктуацией ширины нейтронных резонансов, часть из которых связана с простыми ядерными структурами типа входных состояний. Приведенные нейтронные силовые функции s - , p - , и d - волн существенно отличаются по величине и имеют заметную энергетическую зависимость. Описание сечений в таких ядрах при энергии ниже нескольких МэВ возможно только в методе сильной связи каналов нейтронных реакций с учётом большого числа каналов с возбуждением вибрационных уровней разной сложности.

Экспертный анализ проведённый подгруппами 21 и 23 рабочей группы по сотрудничеству в оценке показал[1], что единственными современными оценками для всех стабильных и части нестабильных изотопов являются оценки библиотеки JENDL-3. Все они выполнены в едином подходе с использованием согласованного набора параметров для модельных расчётов в области энергий выше области разрешённых резонансов и параметрами в области неразрешённых резонансов согласованными с оптико-статистическими и средними параметрами резонансов из области разрешённых резонансов. В 2006 году Мугхабгхаб[2] провёл переоценку параметров в резонансной области для большинства изотопов олова. Подгруппа 21 рекомендовала для получения рекомендованной наилучшей оценки заменить параметры в области разрешённых резонансов файлов изотопов олова библиотеки JENDL-3 на параметры, оцененные Мугхабгхабом. В связи с этим, для всех изотопов олова, для которых в JENDL-3 содержатся оцененные данные в области неразрешённых резонансов и высоких энергий, рекомендуется включить их и в библиотеку РОСФОНД. Качество описания имеющихся экспериментальных данных показано на рисунках 1 – 15. Для области разрешённых резонансов будет дан более детальный анализ и сравнение новой оценки Мугхабгхаба с имеющимися экспериментальными данными и предыдущей оценкой.

Область быстрых нейтронов

На рисунках 1 – 15 приведено сравнение оценки JENDL-3 с имеющимися экспериментальными данными, демонстрирующее качество модельного описания сечений в быстрой области энергий. Все рисунки взяты из рабочих материалов подгруппы 21[1]. Полное сечение и сечение неупругих процессов, приведённые на рисунка 1 и 2 для естественной смеси изотопов олова и полученные суммированием вкладов оценок сечений для отдельных изотопов показывают сложности описания этих сечений в сферической оптической модели. Использование метода сильной связи каналов с учётом большого числа уровней вибрационной природы различной сложности (как одно-, так и мульти-фононных) позволит существенно улучшить описание в особенности при низких энергиях. Такой подход был реализован в оценке отечественного файла библиотеки БРОНД-2. Однако результатом оценки являлся файл для естественной смеси изотопов олова, который лучше описывает полное сечение и сечение неупругих процессов приведённые на рисунках 1 и 2 чем в файлах других библиотек. Данные по отдельным изотопам в библиотеке БРОНД-2 отсутствуют. В целом хорошее описание сечений упругого рассеяния и парциальных сечений реакций для различных изотопов олова наблюдается в библиотеке JENDL-3.

Сравнение оценок сечения захвата с имеющимися экспериментальными данными для различных изотопов олова на рисунках 12 – 15 показывает их хорошее описание в библиотеке JENDL-3.

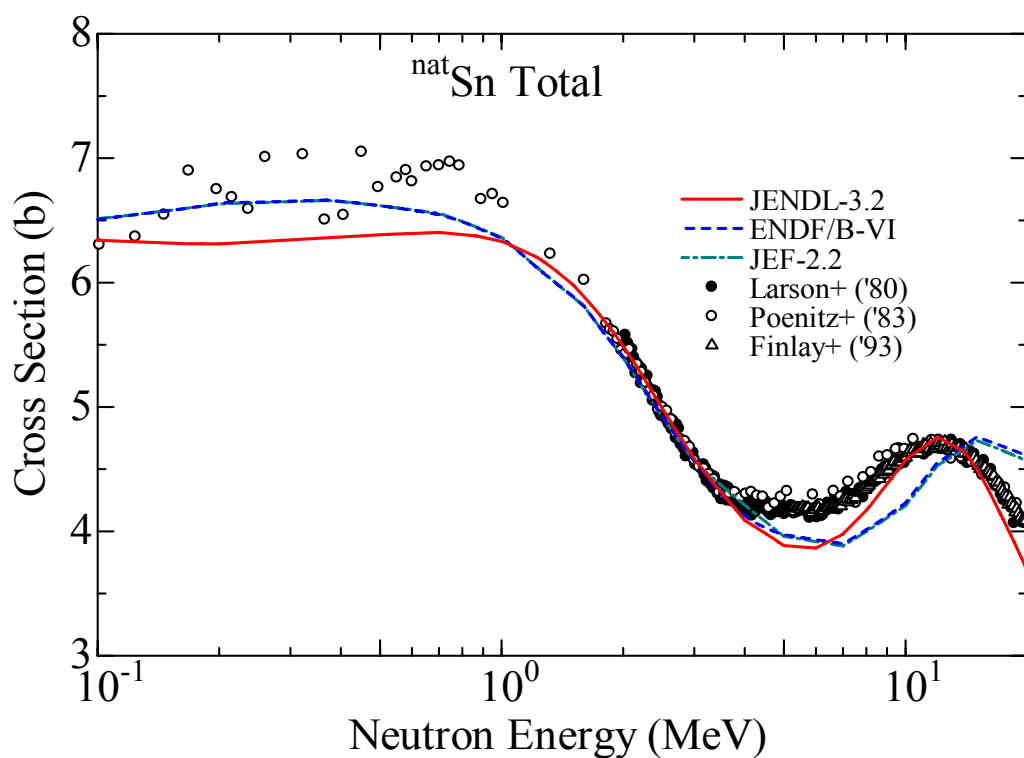


Рис. 1 Полное сечение нейтронов на естественном олове.

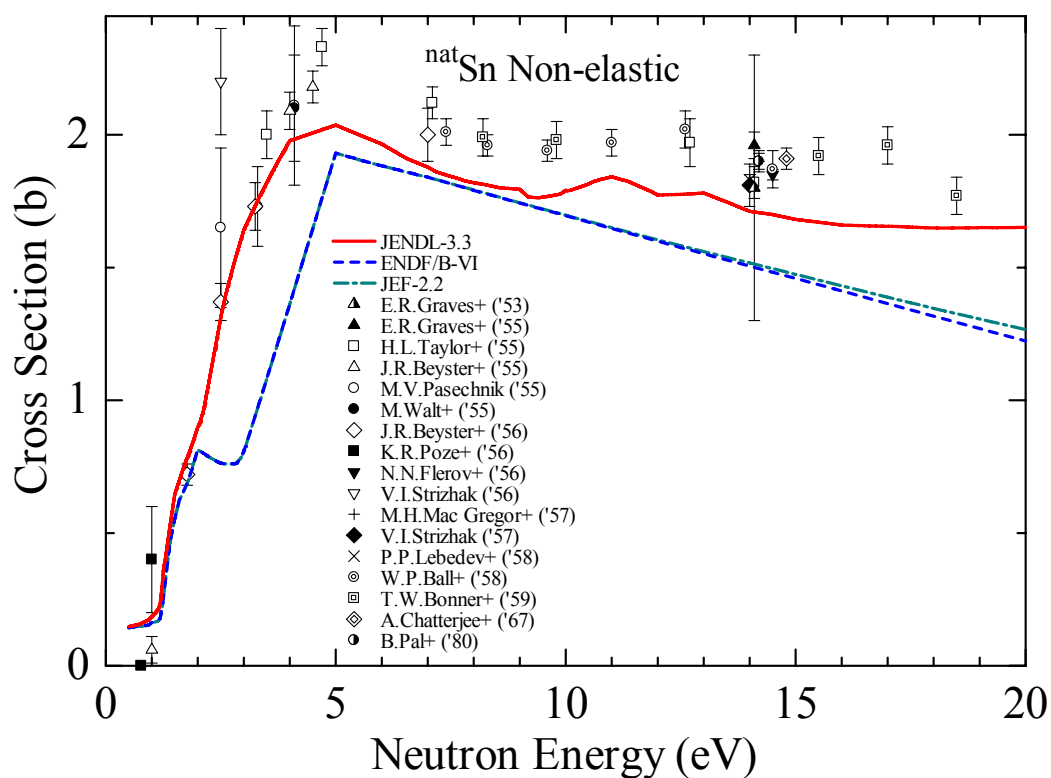


Рис. 2. Сечение неупругих процессов на естественном олове.

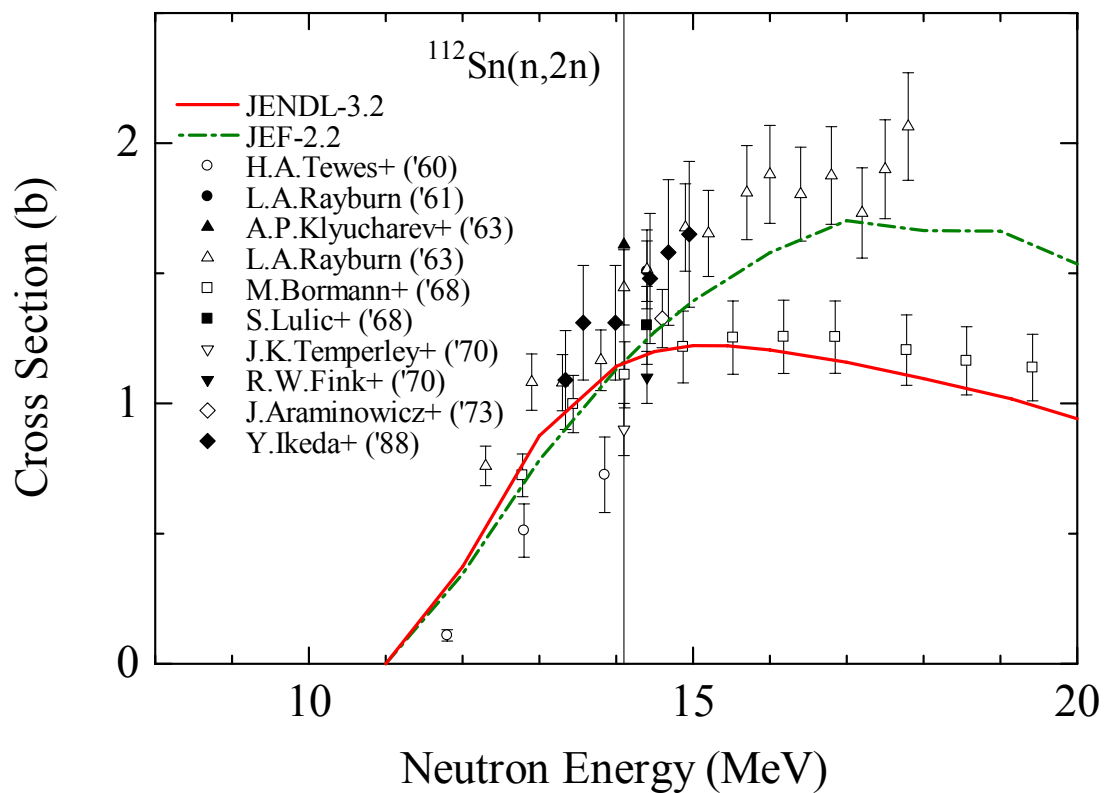


Рис. 3. Сечение $(n,2n)$ на ^{112}Sn .

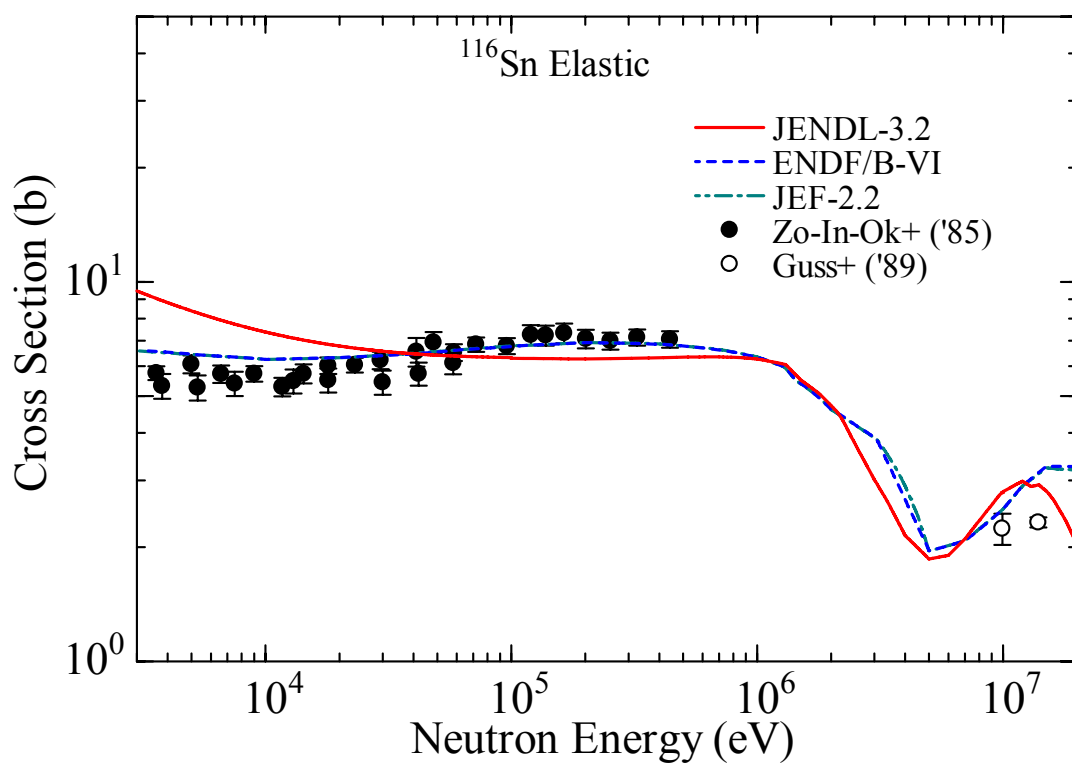


Рис. 4. Сечение упругого рассеяния на ^{116}Sn .

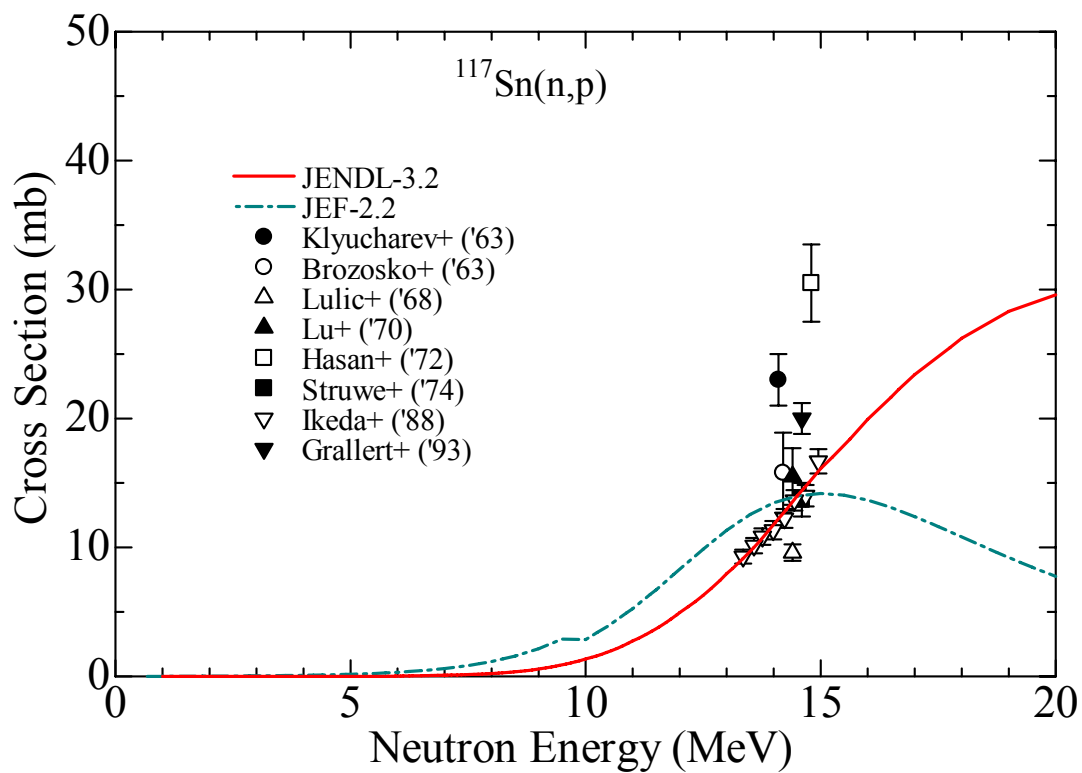


Рис. 5. Сечение (n,p) на ^{117}Sn .

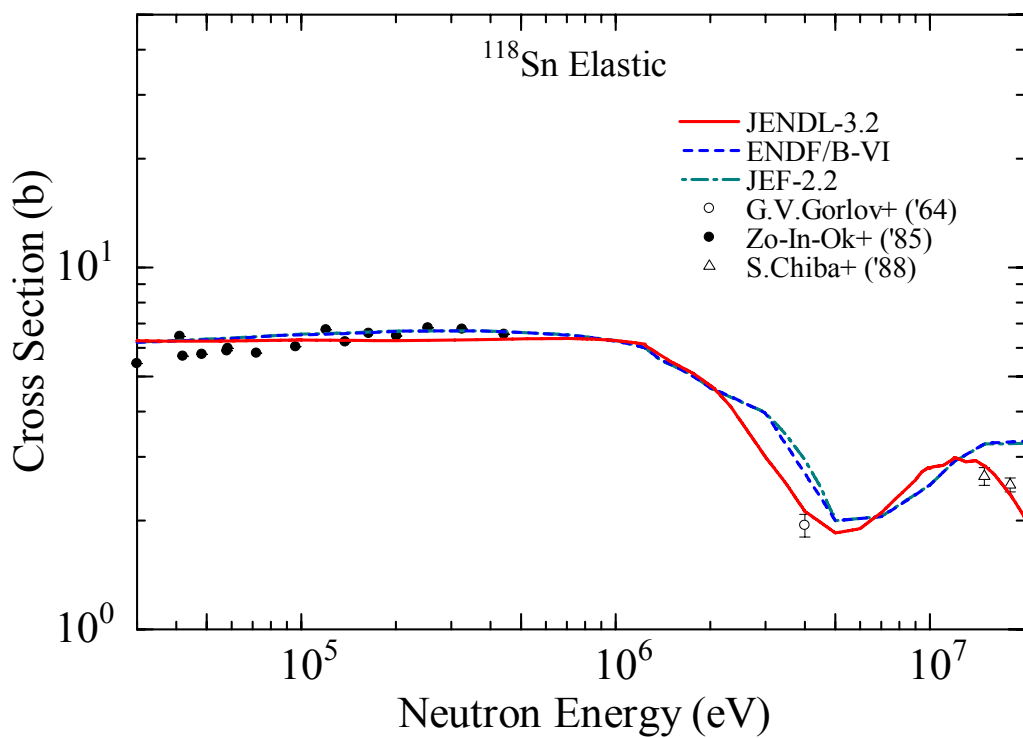


Рис. 6. Сечение упругого рассеяния на ^{118}Sn .

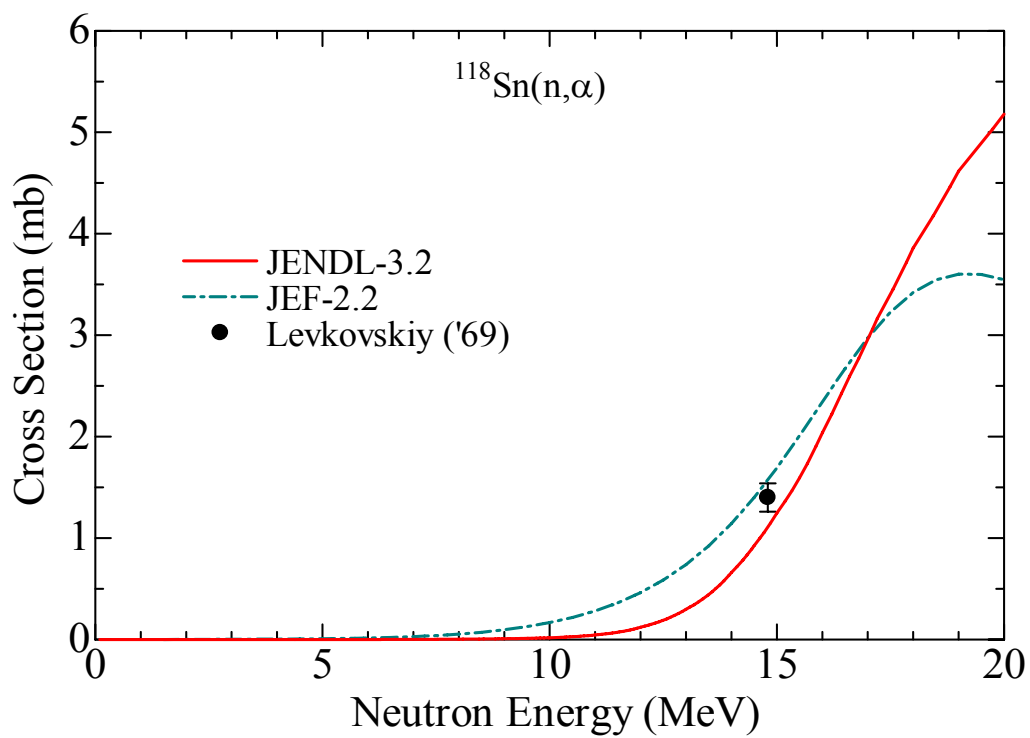


Рис. 7. Сечение (n,α) на ^{118}Sn .

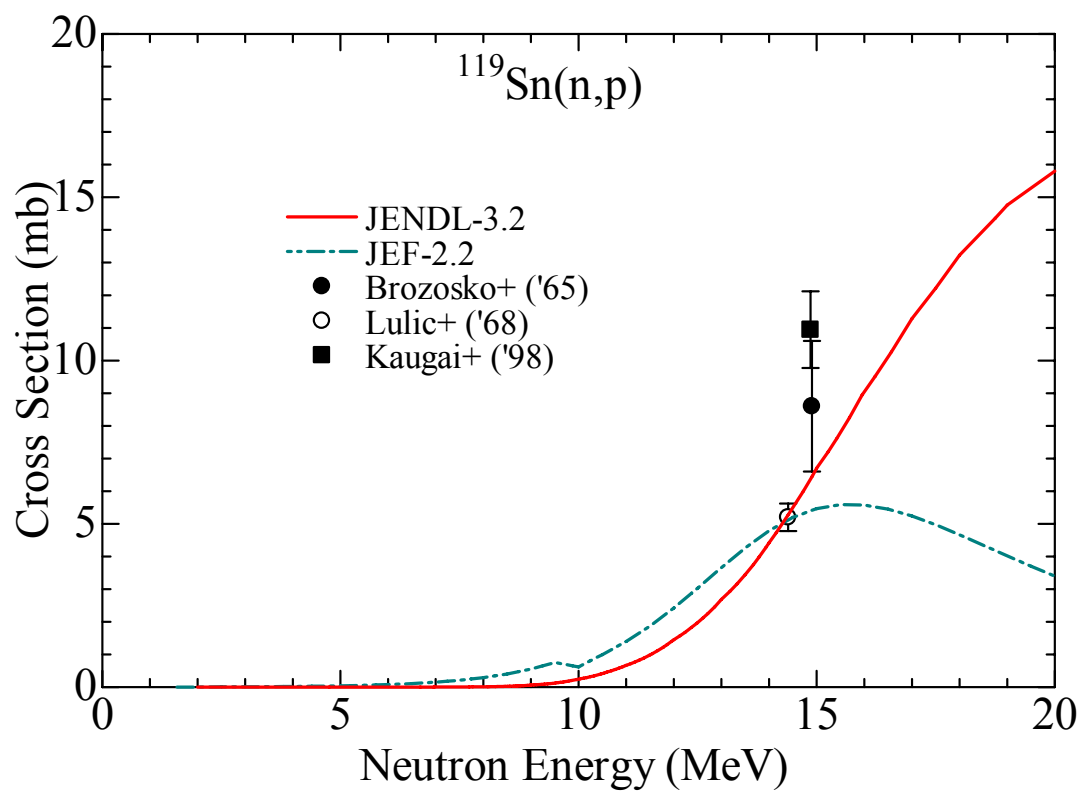


Рис. 8. Сечение (n,p) на ^{119}Sn .

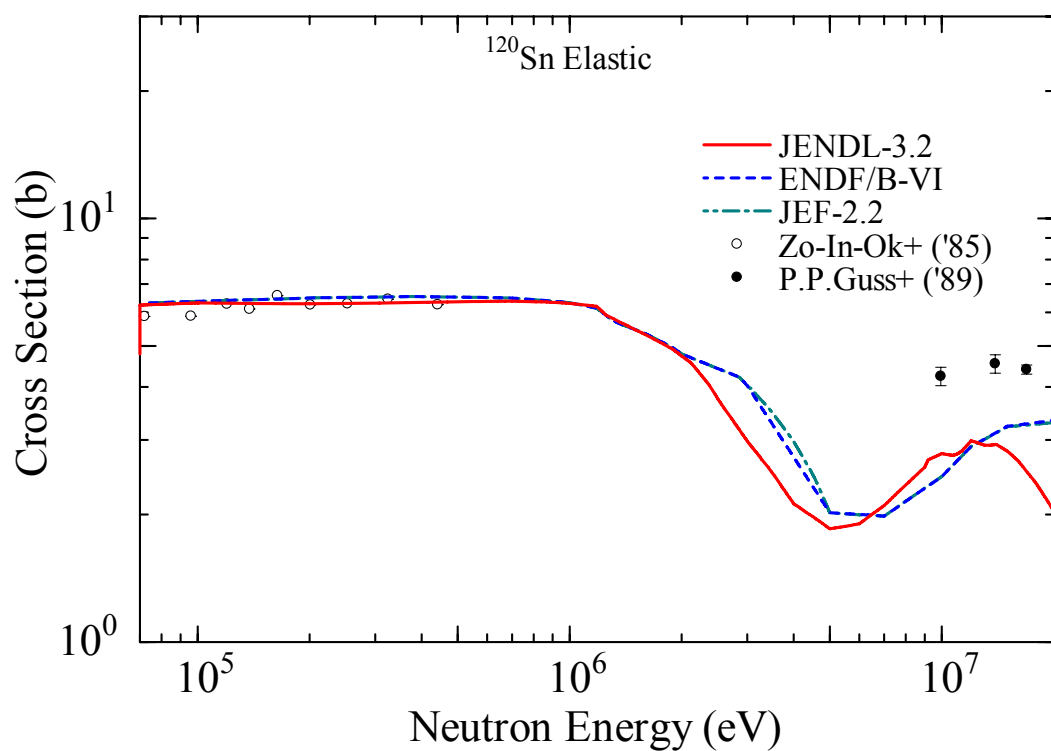


Рис. 9. Сечение упругого рассеяния на ^{120}Sn .

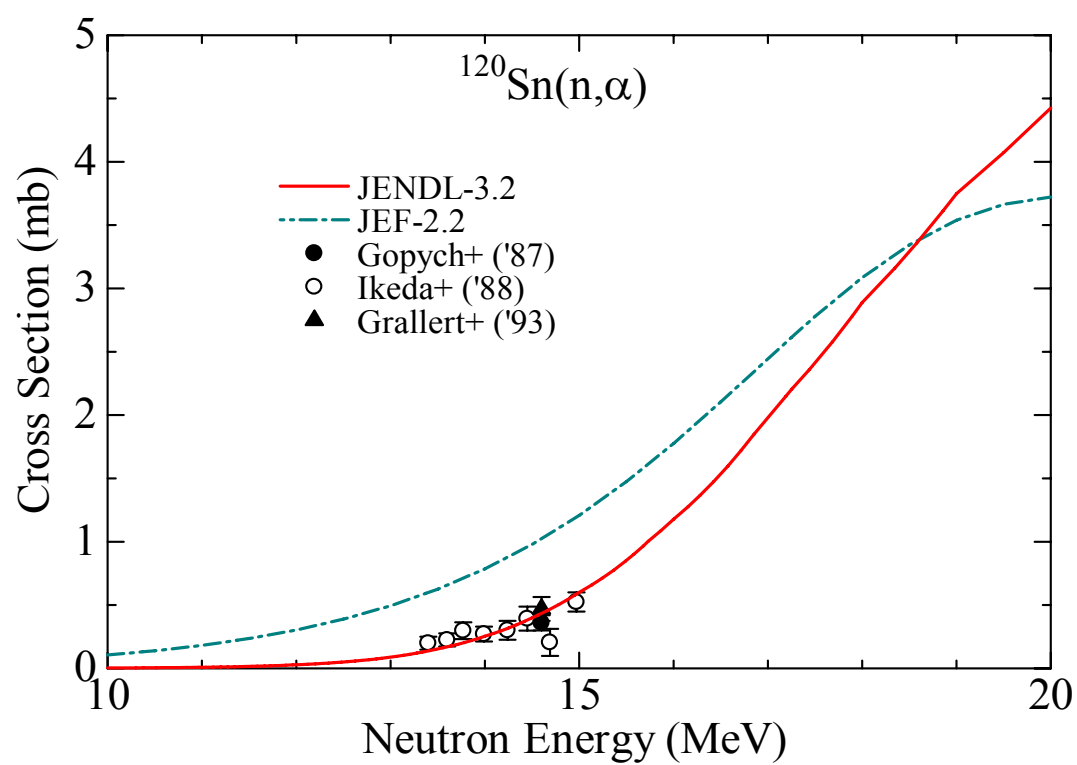


Рис. 10. Сечение (n,α) на ^{120}Sn .

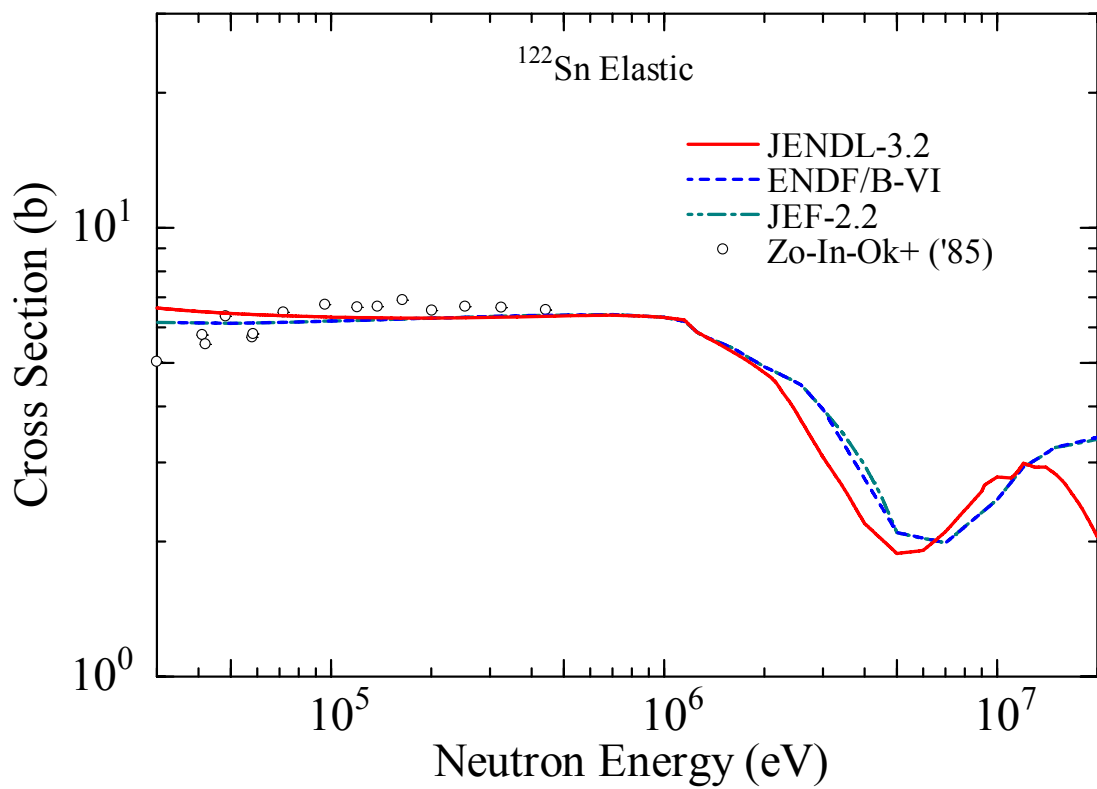


Рис. 11. Сечение упругого рассеяния на ^{122}Sn .

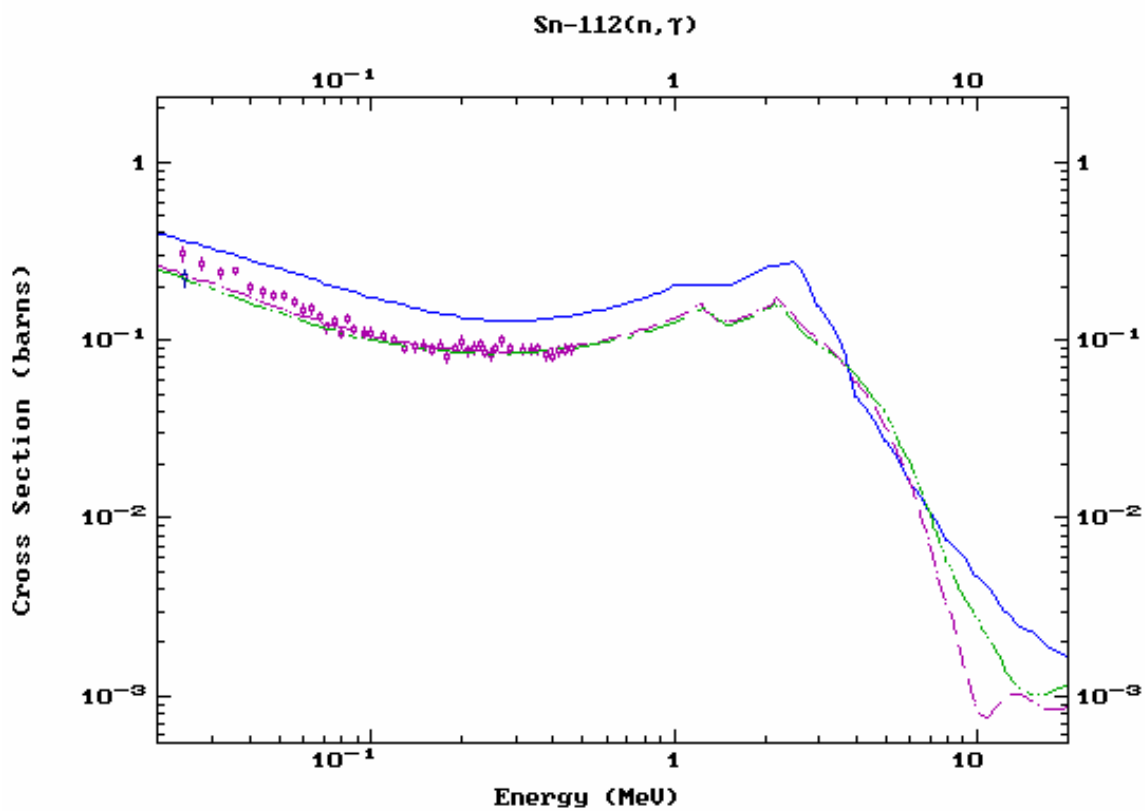


Рис. 12. Сечение захвата нейтронов на ^{112}Sn . Сплошная (синяя) линия – ENDF/B-VI, штрих-пунктирная (зелёная) линия – JENDL-3.3, пунктирная (фиолетовая) линия – JEF-2.

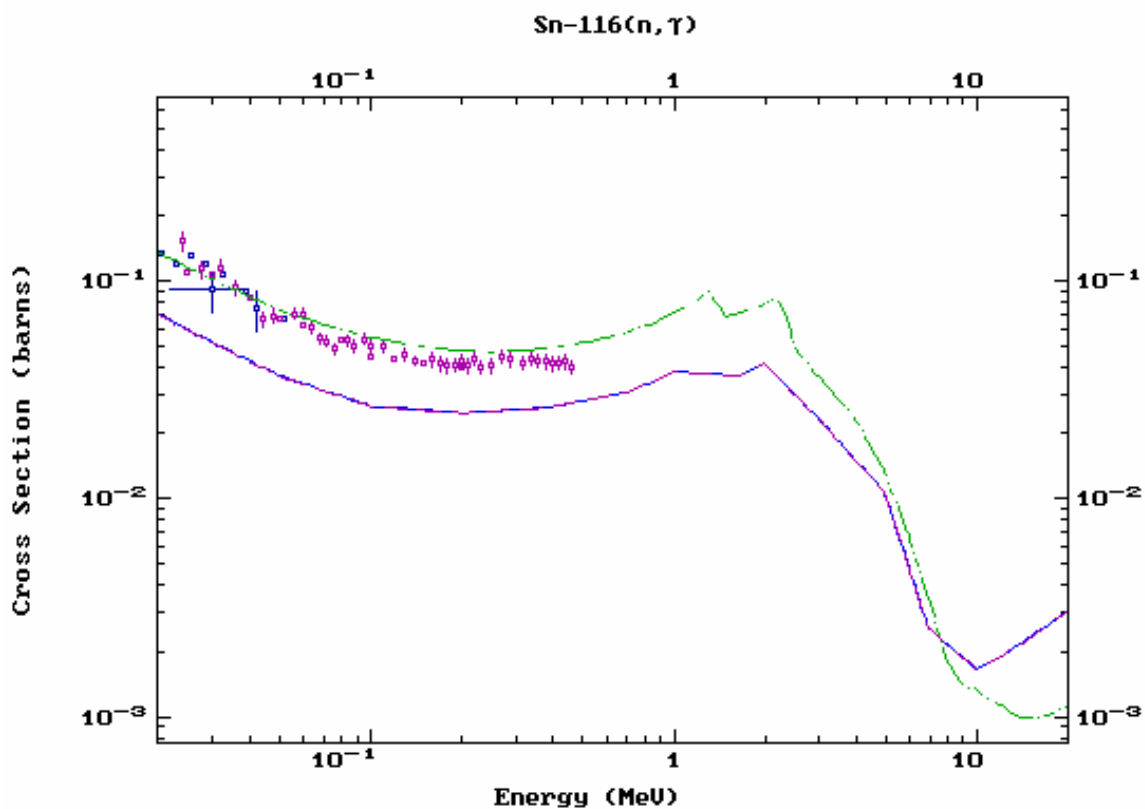


Рис. 13. Сечение захвата нейтронов на ^{116}Sn . Сплошная (синяя) линия – ENDF/B-VI, штрих-пунктирная (зелёная) линия – JENDL-3.3, пунктирная (фиолетовая) линия – JEF-2.

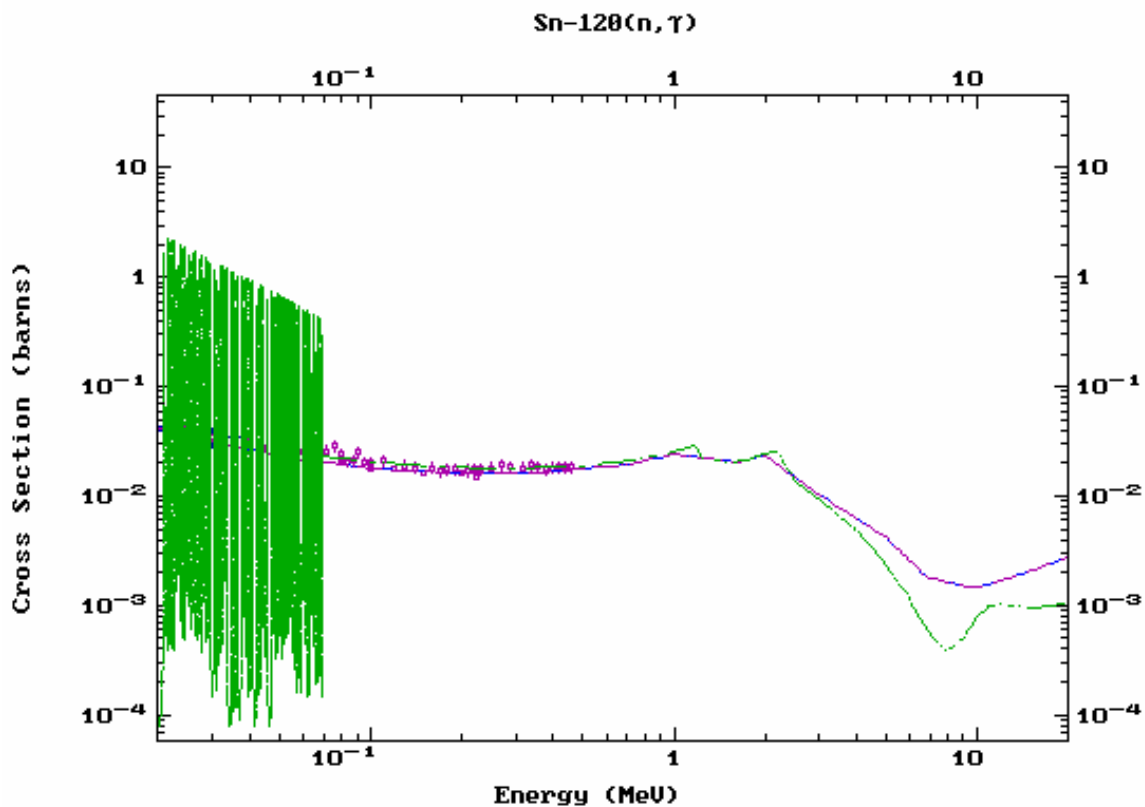


Рис. 14. Сечение захвата нейтронов на ^{120}Sn . Сплошная (синяя) линия – ENDF/B-VI, штрих-пунктирная (зелёная) линия – JENDL-3.3, пунктирная (фиолетовая) линия – JEF-2.

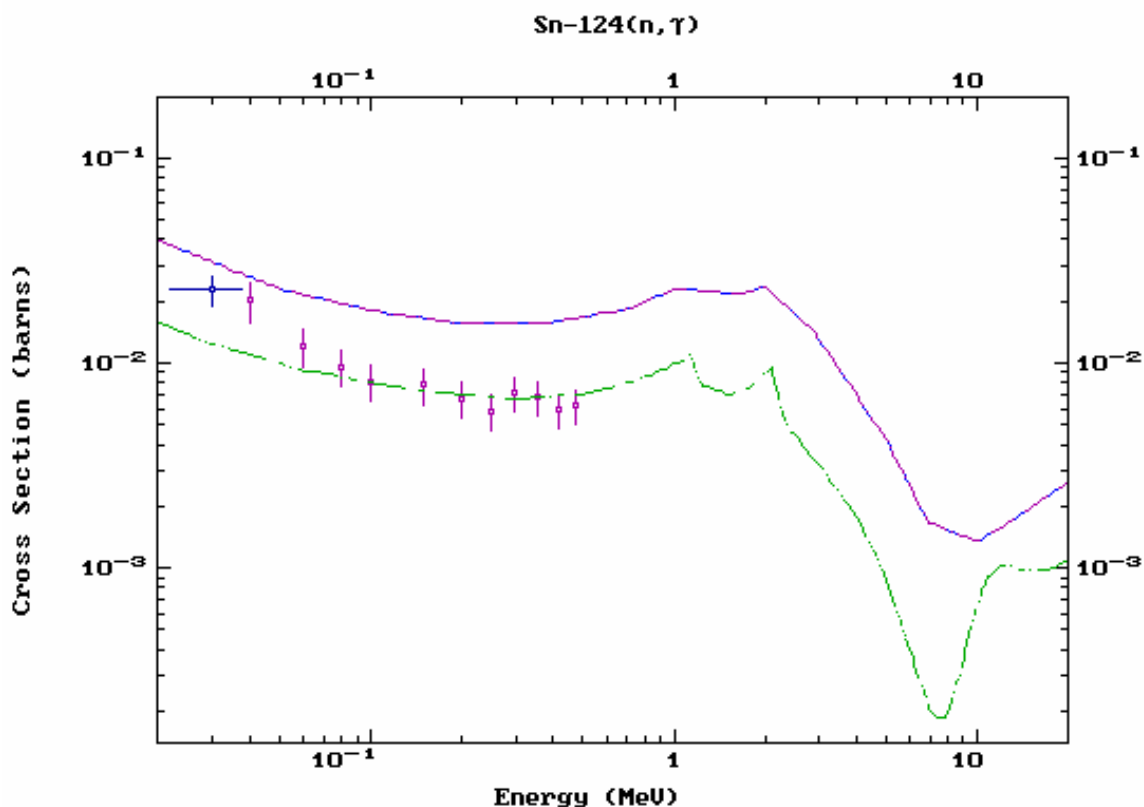


Рис. 15. Сечение захвата нейтронов на ^{124}Sn . Сплошная (синяя) линия – ENDF/B-VI, штрих-пунктирная (зелёная) линия – JENDL-3.3, пунктирная (фиолетовая) линия – JEF-2.

Общие характеристики и область разрешённых резонансов для изотопов олова

50.1. Олово-112

Содержание в естественной смеси: $0.97 \pm 0.01\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

Сравнение областей разрешённых резонансов и тепловых сечений в различных библиотеках с новой оценкой Мугхабгхаба, включённой в файл ENDF/B-VII.b2, приведены в таблицах 1 и 2. Необходимо отметить, что существует заметный пропуск р-резонансов, который, как остаётся надеяться, из-за малой нейтронной ширины не приводит к заметной недооценки сечения захвата в резонансную область энергий.

Для включения в библиотеку РОСФОНД рекомендуется файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2, который включает оценку для области неразрешённых резонансов и для быстрой области энергий из библиотеки JENDL-3.3 (взята без изменений из JENDL-3.2) с небольшими исправлениями формата и для резонансной области – новая оценка Мугхабгхаба (2006).

Таблица 1. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формат описания | Число резонансов |
|---------------|--|---------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ~1.5 кеВ, MLBW | 10 s-рез., 3 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ~1.5 кеВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ~1.5 кеВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ~1.5 кеВ, MLBW | 10 s-рез., 5 p-рез. |

Таблица 2. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансн. интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|----------------------------|
| JENDL-3.2 | 5.61853E+00 | 4.60926E+00 | 1.00927E+00 | 3.00705E+01 |
| JEF-2.2 | 5.30419E+00 | 4.57306E+00 | 7.31136E-01 | 2.98856E+01 |
| ENDF/B-VI | 6.36189E+00 | 5.21929E+00 | 1.14260E+00 | 2.97161E+01 |
| Mughabghab(Mu81) | - | - | 1.01±0.09 | 29±2 |
| ENDF/B-VII.b2 | 5.2748 | 4.4247 | 0.85005 | 30.0 |

50.2. Олово-113

Период полураспада: (115.09±0.03) дней.

Моды распада: e^- 100%.

Спин основного состояния: $1/2^+$.

Библиотека ENDF/B-VII.b2 является единственной содержащей полный файл для ^{113}Sn . Оценка в области высоких энергий выполнена в рамках модельных расчётов более полно учитывающих механизмы реакций, чем расчёты для JENDL-3. В резонансной области оценка основывается на резонансных параметрах рекомендованных Мугхабгхабом (2006) дополненных, где необходимо фиктивными резонансами, так что бы воспроизвести средние резонансные параметры на соседних ядрах и статистические распределения уровней и ширин. Область разрешённых резонансов от 10^{-5} эВ до 510 эВ содержит 11 s- и 18 p- резонансов в область неразрешённых резонансов расположена от 510 эВ до 78.09 кэВ – порога неупругого рассеяния. Следующие тепловые значения сечений рекомендованы как полученные из приведённых резонансных параметров: полное – 13.16 барн, упругое – 4.3 барна, захват 8.87 барн и резонансный интеграл захвата – 228 барн. Сечение захвата и резонансный интеграл близки к экспериментальным значениям полученным Ануфриевым (9±3 и 210±5 барн соответственно) [X4=40957]. На рисунке 16 приведены основные нейтронные сечения во всём интервале энергий. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей. Для включения в библиотеку РОСФОНД рекомендуется файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2.

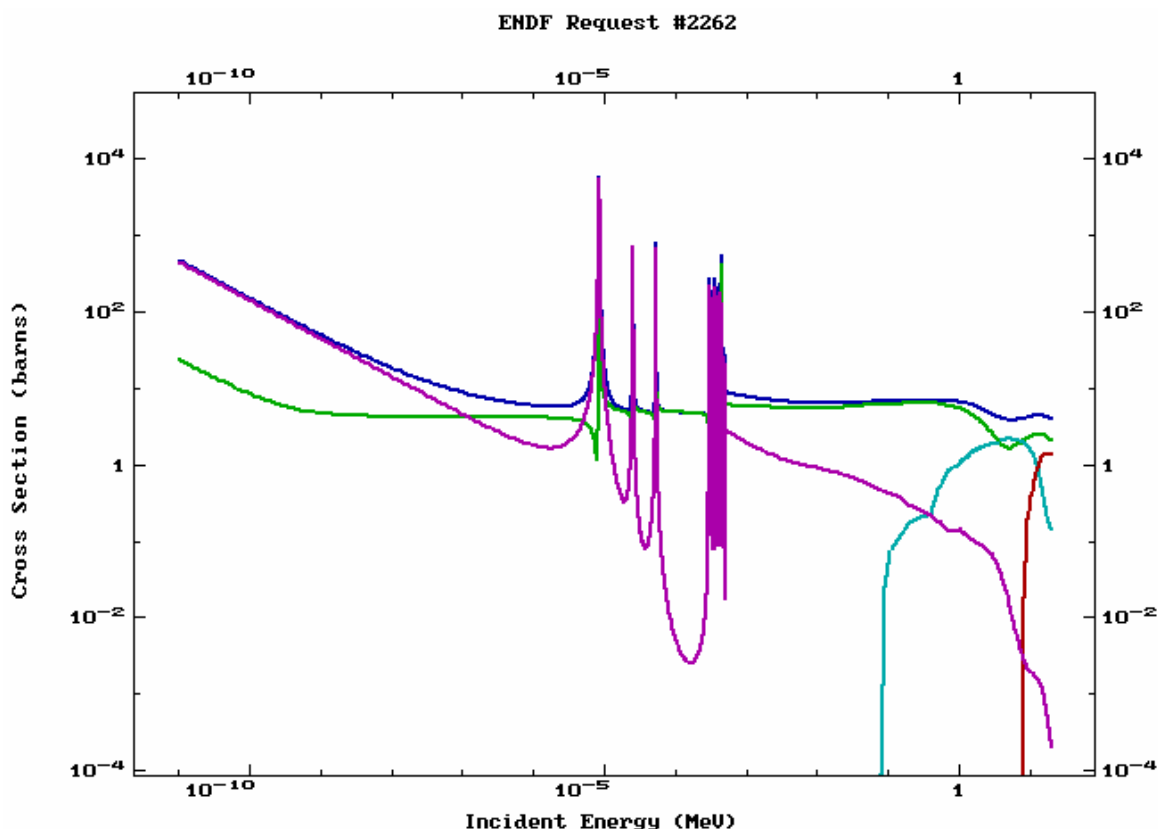


Рис. 16. Сечения из файла библиотеки ENDF/B-VII.b2. Синяя линия – полное сечение, зелёная линия – сечение упругого рассеяния, фиолетовая линия – сечение захвата, голубая линия – сечение неупругого рассеяния, красная линия – сечение (n,2n).

50.3. Олово-114

Содержание в естественной смеси: $0.66 \pm 0.01\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

Сравнение областей разрешённых резонансов и тепловых сечений в различных библиотеках с новой оценкой Мугхабгхаба, включённой в файл ENDF/B-VII.b2, приведены в таблицах 3 и 4. Необходимо отметить, что верхняя граница области разрешённых резонансов была понижена в ENDF/B-VII.b2 до 2 кэВ, а нижняя граница области неразрешённых резонансов соответственно понижена до 2 кэВ. На рисунке 17 приводится сравнение сечений радиационного захвата из ENDF/B-VII.b2 с JENDL-3.2 в резонансной области энергий. Сечения совпадают для s- резонансов и существенно отличаются для p- резонансов. Причиной этого является ошибка в задании нейтронных ширин для p-резонансов в ENDF/B-VII.b2 (одинаковое значение 0.003 эВ задано для всех резонансов) и небольшом увеличении ширин захвата для p- резонансов (с 0.09 до 0.11 эВ). Более высокий резонансный интеграл захвата в ENDF/B-VII.b2 объясняется большим вкладом в сечение от первого p- резонанса имеющего нейтронную ширину 0.003 эВ в файле ENDF/B-VII.b2 и 0.0001532 эВ в файле JENDL-3.2. Нейтронные ширины p-резонансов были исправлены на приведённые в JENDL-3.2 и таким образом откорректированный файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендован для библиотеки

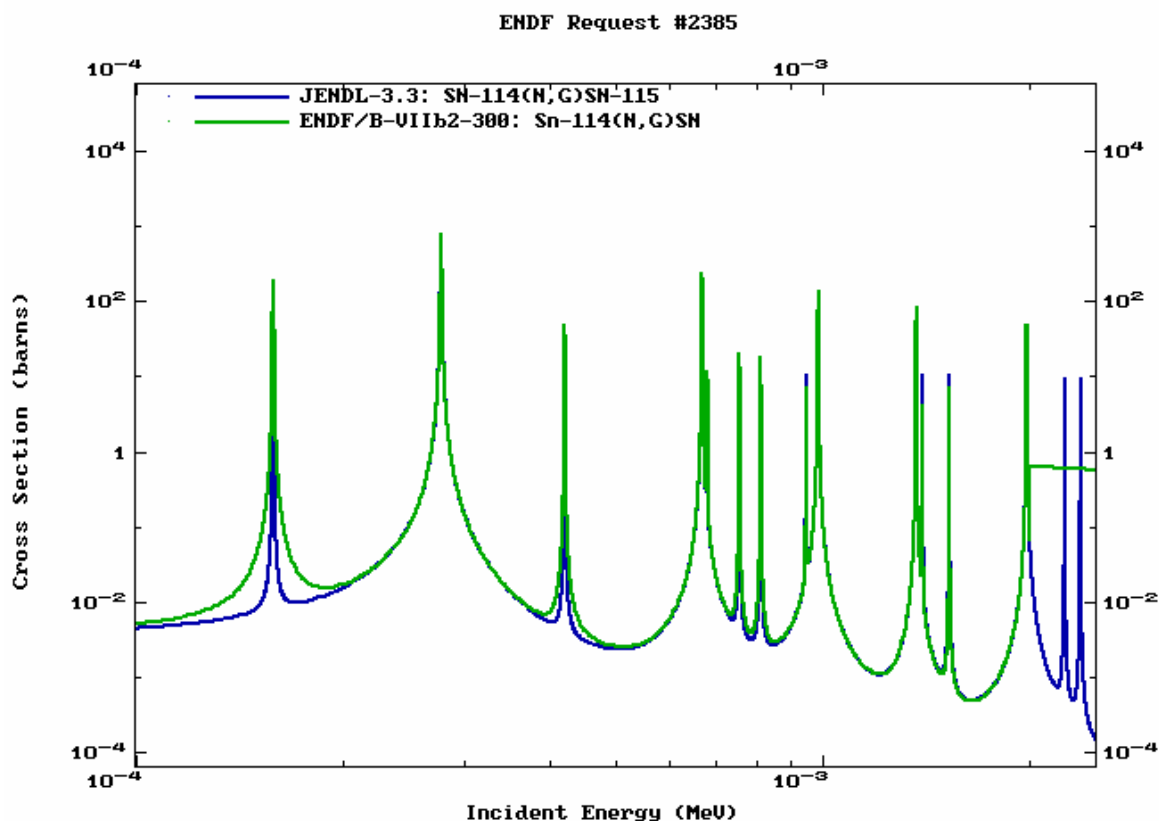
РОСФОНД¹. Резонансный интеграл захвата с откорректированными параметрам р-резонансов равен 6.7845 барн.

Таблица 3. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|---------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ~2.5 кэВ, MLBW | 5 s-рез., 10 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ~2.0 кэВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ~2.0 кэВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ~2.0 кэВ, MLBW | 5 s-рез., 8 p-рез. |

Таблица 4. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансн. интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|----------------------------|
| JENDL-3.2 | 4.69162E+00 | 4.56632E+00 | 1.25306E-01 | 6.33087E+00 |
| JEF-2.2 | 6.78957E+00 | 5.68846E+00 | 1.10111E+00 | 3.43628E+00 |
| ENDF/B-VI | 6.78892E+00 | 5.68831E+00 | 1.10061E+00 | 3.43860E+00 |
| Mughabghab(Mu81) | - | 4.6±0.5 | 0.115±0.030 | 5.1±1.5 |
| ENDF/B-VII.b2 | 4.6710 | 4.5458 | 0.1252 | 7.83 |



¹ Включен файл MF=9 с вероятностью образования долгоживущего изомера ¹¹⁴In^m в реакции (n,p) – М.Николаев

Рис. 17. Сравнение сечений захвата из библиотеки ENDF/B-VII.b2 (зелёная линия) и JENDL-3.3 (синяя линия) в резонансной области энергий.

50.4. Олово-115

Содержание в естественной смеси: $0.34 \pm 0.01\%$.

Спин основного состояния: $1/2^+$.

В таблицах 5 и 6 приведены основные характеристики области разрешённых резонансов, тепловые сечения и резонансные интегралы захвата в файлах различных библиотек оценённых данных. Обращают внимание большие изменения сечений в ENDF/B-VII.b2 по сравнению с JENDL-3.3, что обусловлено в первую очередь изменением положения отрицательного резонанса и его ширины. Предыдущая оценка JENDL-3.3 в тепловой точке и резонансного интеграла захвата основывались на оценке Мугхабгхаба 1981 года. Нынешняя оценка ENDF/B-VII.b2 основывается на последней оценке Мугхабгхаба (2006). В связи с тем, что опубликованные данные сечений в тепловой точке отсутствуют следует принять последние рекомендации Мугхабгхаба даже в условиях, что источник таких данных не известен. Файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД.²

Таблица 5. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ~950 эВ, MLBW | 5 s-резонансов |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ~692.75 эВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ~692.75 эВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ~950 эВ, MLBW | 5 s-резонансов |

Таблица 6. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 3.82628E+01 | 8.40713E+00 | 2.98557E+01 | 1.33809E+01 |
| JEF-2.2 | 5.43199E+01 | 4.29735E+00 | 5.00224E+01 | 2.36832E+01 |
| ENDF/B-VI | 5.42999E+01 | 4.29724E+00 | 5.00027E+01 | 2.38852E+01 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 30 ± 7 | 29 ± 6 |
| ENDF/B-VII.b2 | 67.048 | 9.0469 | 58.001 | 20.7 |

50.5. Олово-116

Содержание в естественной смеси: $14.34 \pm 0.09\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

² Дополнить оценку файлом MF=9 с данными об образовании долгоживущего изомера $^{114}\text{In}^m$ в реакциях (n,d) и (n,n'p) на основе данных EAF-2003. _ М. Николаев.

В таблицах 7 и 8 приведены основные характеристики области разрешённых резонансов, тепловые сечения и резонансные интегралы захвата. Несмотря на то, что тепловые сечения и резонансный интеграл захвата в оценке ENDF/B-VII.b2 существенно не изменились по сравнению с оценкой JENDL-3.3, резонансная область в ENDF/B-VII.b2 существенно расширена по сравнению с JENDL-3.3. Статистический анализ распределения уровней и их нейтронных ширин показывает, что до энергии нейтронов в 20 кэВ в файле библиотеки ENDF/B-VII.b2 нет заметных пропусков уровней как в s-, так и в p- волне в области разрешённых резонансов. Файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД³.

Таблица 7. Характеристики области разрешённых резонансов.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|-----------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ~2 кэВ, MLBW | 7 s-рез., 5 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ~2.1549 кэВ, MLBW | 7 s-рез., 5 p-рез. |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ~2.1549 кэВ, SLBW | 4 s-рез., 4 p-рез. |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ~30 кэВ, MLBW | 34 s-рез., 179 p-рез. |

Таблица 8. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 4.45852E+00 | 4.33078E+00 | 1.27736E-01 | 1.21663E+01 |
| JEF-2.2 | 4.12163E+00 | 4.00120E+00 | 1.20426E-01 | 1.15953E+01 |
| ENDF/B-VI | 4.11705E+00 | 3.99663E+00 | 1.20421E-01 | 1.16212E+01 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 0.13±0.03 | 11.9±1.0 |
| ENDF/B-VII.b2 | 4.4286 | 4.3009 | 0.12766 | 12.3 |

50.6. Олово-117

Содержание в естественной смеси: $7.68 \pm 0.07\%$.

Спин основного состояния: $1/2^+$.

Как видно из таблиц 9 и 10 новая оценка ENDF/B-VII.b2 существенно понижает значение сечения захвата в тепловой точке и содержит больше резонансов. Несмотря на возможные пропуски p- резонансов оценка ENDF/B-VII.b2 является предпочтительнее оценки JENDL-3.2. Низкое тепловое сечение захвата в ENDF/B-VII.b2 вероятно обусловлено учётом последних экспериментальных данных Кнопфа и др. (X4=22451, 1997). Файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД⁴.

Таблица 9. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

³ Дополнить оценку файлом MF=9 с данными об образовании долгоживущих изомеров $^{113}\text{Cd}^m$, $^{115}\text{Cd}^m$ и $^{117}\text{Sn}^m$ на основе данных EAF-2003. _ М. Николаев.

⁴ Дополнить оценку файлом MF=9 с данными об образовании долгоживущего изомера $^{115}\text{Cd}^m$ на основе данных EAF-2003. _ М. Николаев.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|----------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~2.35 кэВ, MLBW | 47 s-рез., 10 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~610.91 эВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~610.91 эВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~2.30 кэВ, MLBW | 37 s-рез., 40 p-рез. |

Таблица 10. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 7.30032E+00 | 5.12651E+00 | 2.17380E+00 | 1.78631E+01 |
| JEF-2.2 | 6.85852E+00 | 4.25925E+00 | 2.59920E+00 | 1.83251E+01 |
| ENDF/B-VI | 6.85669E+00 | 4.25849E+00 | 2.59820E+00 | 1.83977E+01 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 1.32±0.18 | 15.7±2.5 |
| ENDF/B-VII.b2 | 6.3760 | 5.3055 | 1.0705 | 17.6 |

50.7. Олово-117m

Период полураспада: (13.76±0.04) дней.

Моды распада: изомерный переход, 100%, E=0.3146 МэВ.

Спин метастабильного состояния: 11/2⁻.

Единственный файл оценённых сечений имеющийся для ядра ^{117m}Sn является файл из активационной библиотеки JEFF-3.1/A. Сечения приведённые в файле представлены на рисунке 18. В связи с отсутствием каких-либо других данных файл JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД⁵.

⁵ Сохранить в файлу MF=9 лишь данные об образовании долгоживущих изомеров $^{115}\text{Cd}^m$ и $^{113}\text{Cd}^m$. Данные о сечении перехода в основное состояние перенести из файла MF=3 в файл MF=10 - М. Николаев.

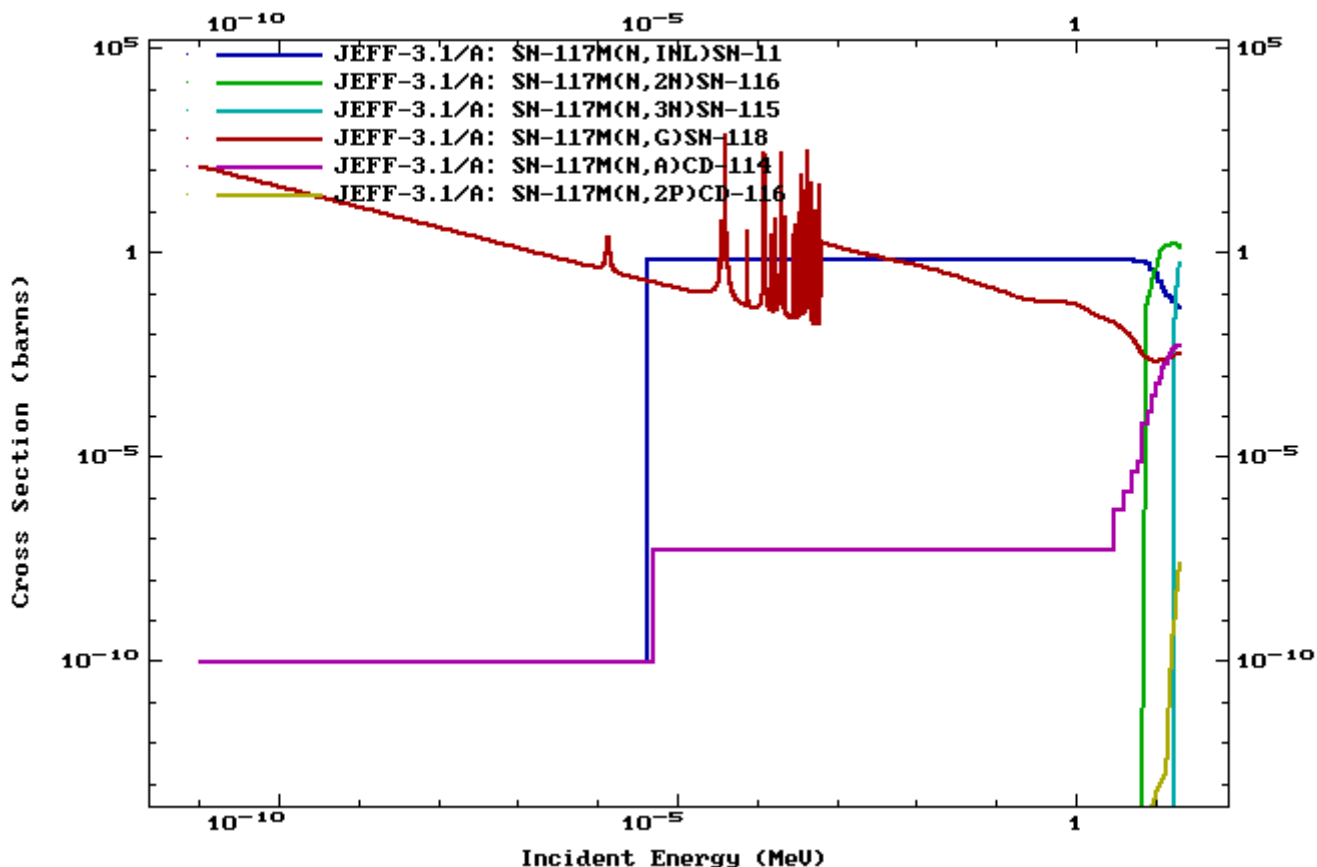


Рис. 18. Сечения в библиотеке JEFF-3.1/A.

50.8. Олово-118

Содержание в естественной смеси: $24.22 \pm 0.09\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

Файл ENDF/B-VII.b2 в области разрешённых резонансов содержит только уровни с идентифицированными квантовыми характеристиками; уровням с неизвестными спинами, чётностями и ширинами были приписаны средние характеристики р-резонансов в JENDL-3.2. Этим объясняется большее число р-резонансов и более высокое значение максимальной энергии области разрешённых резонансов в JENDL-3.2 (таблица 11). Очевидно также, что в ENDF/B-VII.b2 наблюдается пропуск р-резонансов, хотя из-за возможно малых нейтронных ширин этих резонансов, их вклад в среднее сечение захвата может быть и невелик. Как видно из таблицы 12, резонансный интеграл захвата в ENDF/B-VII.b2 заметно ниже чем в JENDL-3.2, что объясняется в основном меньшими ширинами захвата как для s-, так и для р-резонансов в этой оценке. На рисунке 19 приведены сечения захвата из библиотек ENDF/B-VII.b2 и JENDL-3.3 (=JENDL-3.2) в области энергий нейтронов определяющей вклад в резонансный интеграл захвата. С учётом новых результатов измерения площадей сечения захвата под резонансами (Висшак, Х4=22387, 1998), область разрешённых резонансов могла бы быть существенно расширена. Вероятно, что ревизия параметров резонансов Мугхабгхабом (2006) обусловлена корректировкой старых экспериментальных данных из-за изменения оценки

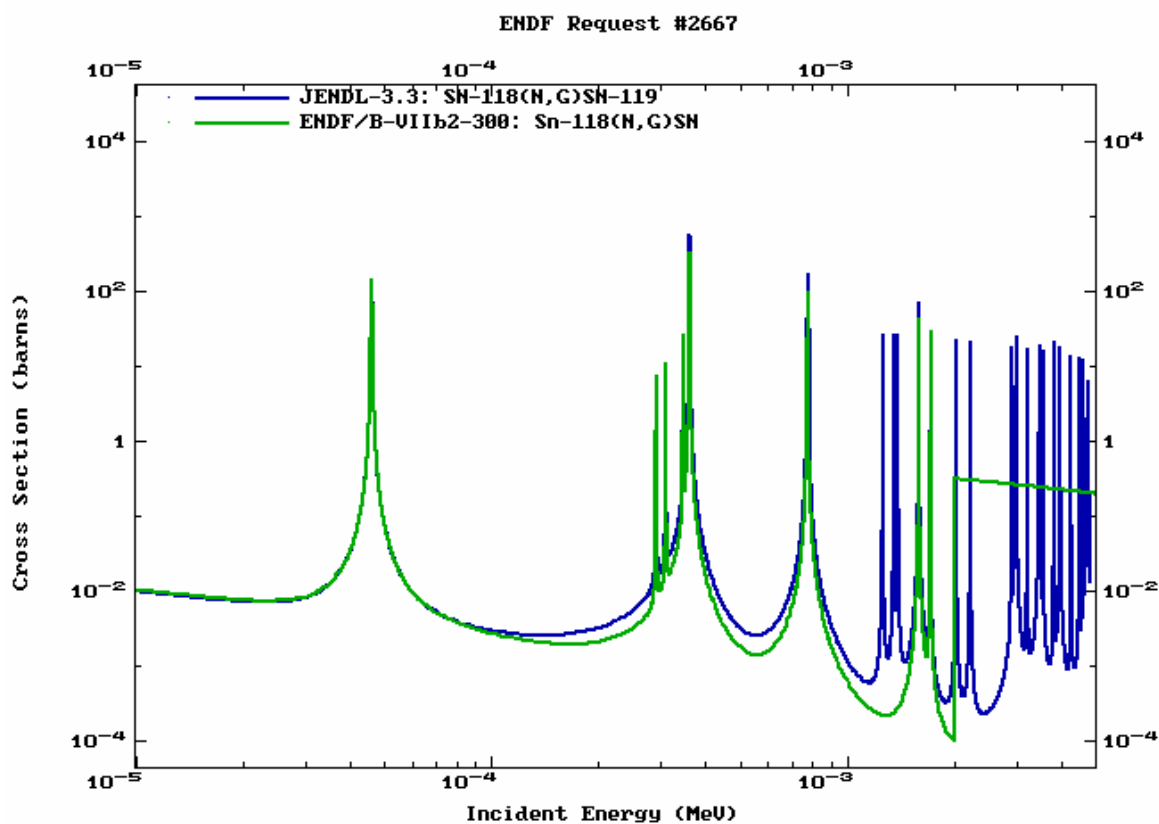
эффективности гамма-детектора. Файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД⁶.

Таблица 11. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|---------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~4.8 кэВ, MLBW | 8 s-рез., 20 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~1.8927 кэВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~1.8927 кэВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~2.0 кэВ, MLBW | 8 s-рез., 5 p-рез. |

Таблица 12. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 4.45810E+00 | 4.24017E+00 | 2.17925E-01 | 5.21290E+00 |
| JEF-2.2 | 4.20199E+00 | 4.11958E+00 | 8.24121E-02 | 5.99428E+00 |
| ENDF/B-VI | 4.19912E+00 | 4.11673E+00 | 8.23898E-02 | 5.99591E+00 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 0.220±0.050 | 3.4±0.4 |
| ENDF/B-VII.b2 | 4.8836 | 4.6639 | 0.21796 | 3.96 |



⁶ Включить данные об образовании изомеров Cd-115m, Sn-117m и Sn-119m на основе EAF-2003 – М.Николаев.

Рис. 19. Сравнение сечений захвата в области энергий определяющих вклад в резонансный интеграл захвата.

50.9. Олово-119

Содержание в естественной смеси: $8.59 \pm 0.04\%$.

Спин основного состояния: $1/2^+$.

Новая оценка Мугхабгхаба (2006) включённая в ENDF/B-VII.b2 (таблица 13) содержит большее число резонансов, чем его оценка 1981 года использованная в JENDL-3.2. Значения нейтронных и гамма-ширин многих резонансов существенно изменились, что привело как к изменению сечения захвата в области разрешённых и увеличению резонансного интеграла захвата. Файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД⁷.

Таблица 13. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|---------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~1.3 кэВ, MLBW | 12 s-рез., 5 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~547.2 эВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~547.2 эВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~1.26 кэВ, MLBW | 14 s-рез., 9 p-рез. |

Таблица 14. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 6.87246E+00 | 4.69590E+00 | 2.17657E+00 | 5.15017E+00 |
| JEF-2.2 | 6.72503E+00 | 4.42416E+00 | 2.30080E+00 | 3.88332E+00 |
| ENDF/B-VI | 6.72404E+00 | 4.42415E+00 | 2.29989E+00 | 3.85999E+00 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 2.2 ± 0.5 | 2.9 ± 0.5 |
| ENDF/B-VII.b2 | 7.1619 | 4.9878 | 2.1741 | 5.64 |

⁷ Включит данные об образовании изомера Cd-115m на основе EAF-2003 – М.Николаев.

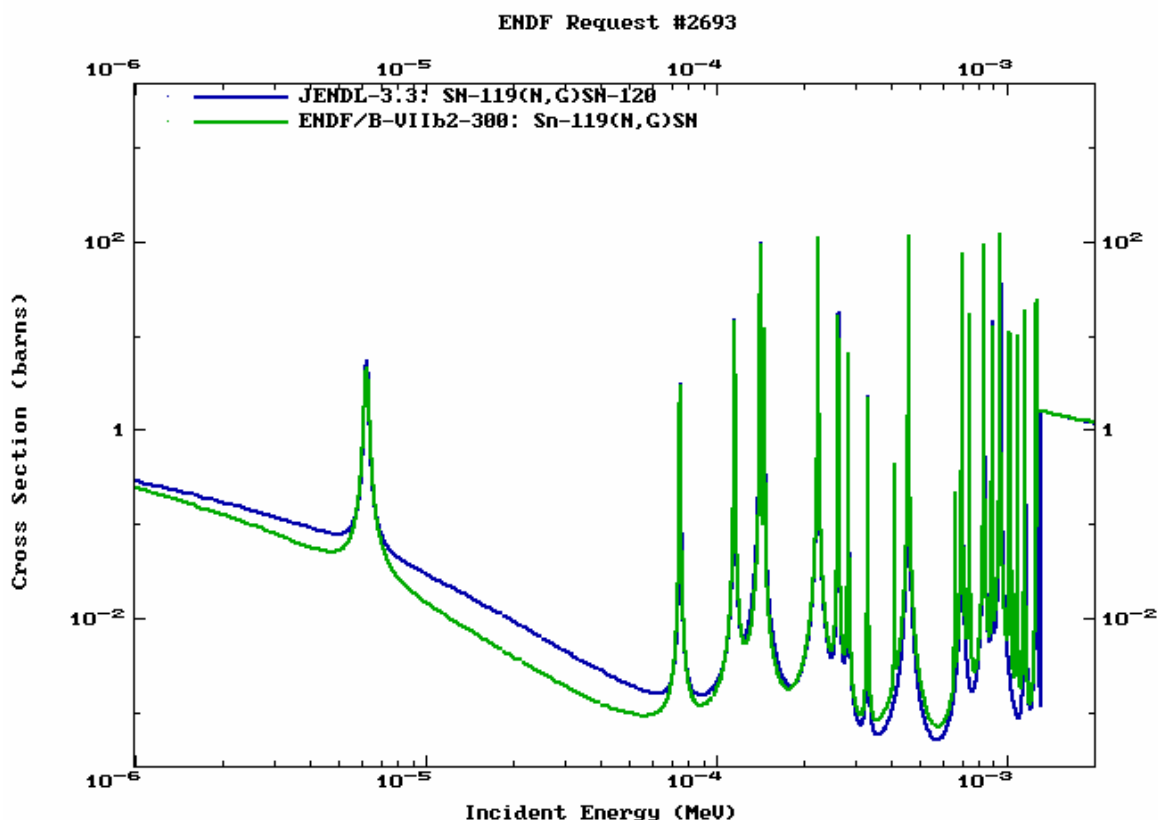


Рис. 20. Сравнение сечений захвата в области энергий определяющих вклад в резонансный интеграл захвата.

50.10. Олово-119m

Период полураспада: (293.1 ± 0.7) дней.

Моды распада: изомерный переход, 100%, $E=0.089531$ МэВ.

Спин метастабильного состояния: $11/2^-$.

Единственный файл оценённых сечений имеющийся для ядра ^{119m}Sn является файл из активационной библиотеки JEFF-3.1/A. Сечения приведённые в файле представлены на рисунке 21. В связи с отсутствием каких-либо других данных файл JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД⁸.

⁸ Сохранить в файле MF=9 только данные об образовании изомера Cd-117m . Данные о сечении перехода в основное состояние перенести из файла MF=3 в файл MF=10. – М.Николаев.

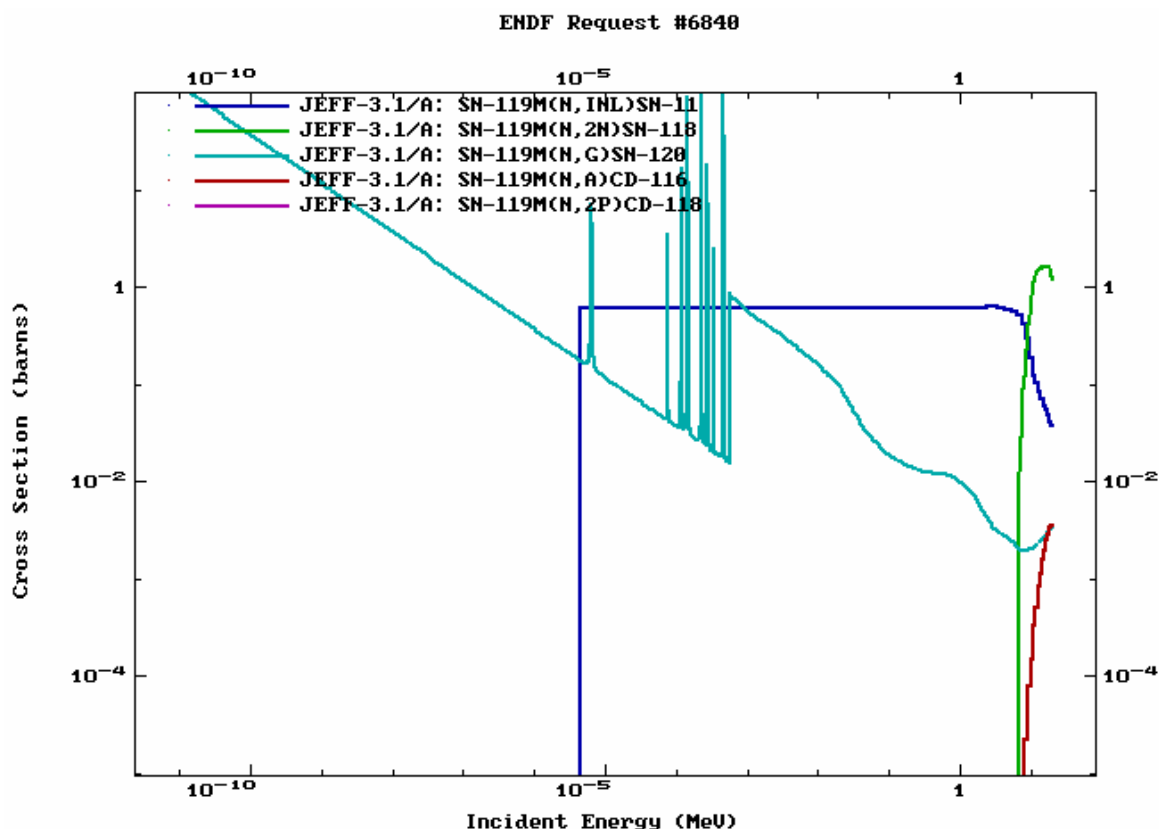


Рис. 21. Сечения в библиотеке JEFF-3.1/A.

50.11. Олово-120

Содержание в естественной смеси: $32.58 \pm 0.09\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

В таблицах 15 и 16 и на рисунке 22 приводится сравнение различных оценок в резонансной области. Как видно, различия между ENDF/B-VII.b2 и JENDL-3.2 небольшие. Статистический анализ распределения резонансов и их нейтронных ширин показывает, что как в файле библиотеки JENDL-3.2 так и в ENDF/B-VII.b2 отсутствуют заметные пропуски как s-, так и p- резонансов. Новая оценка Мугхабгхаба (2006) включённая в ENDF/B-VII.b2 учитывает результаты последних измерений Кёхлера и др. (X4=13909, 2001). Поэтому файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД⁹.

Таблица 15. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формат описания | Число резонансов |
|------------|--|-----------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~70 кэВ, MLBW | 28 s-рез., 223 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~14.271 кэВ, MLBW | |

⁹ Включить данные об образовании изомеров Sn-119m и Sn-121m на основе EAF-2003. – М.Николаев.

| | | |
|---------------|--------------------------------|-----------------------|
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~14.271 кэВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~50 кэВ, MLBW | 37 s-рез., 223 p-рез. |

Таблица 16. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K)

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| JENDL-3.2 | 5.50203E+00 | 5.36278E+00 | 1.39248E-01 | 1.14579E+00 |
| JEF-2.2 | 4.54696E+00 | 4.40590E+00 | 1.41036E-01 | 1.18566E+00 |
| ENDF/B-VI | 4.54704E+00 | 4.40576E+00 | 1.41036E-01 | 1.17896E+00 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 0.14±0.03 | 1.2±0.3 |
| ENDF/B-VII.b2 | 5.7523 | 5.6128 | 0.13951 | 1.14 |

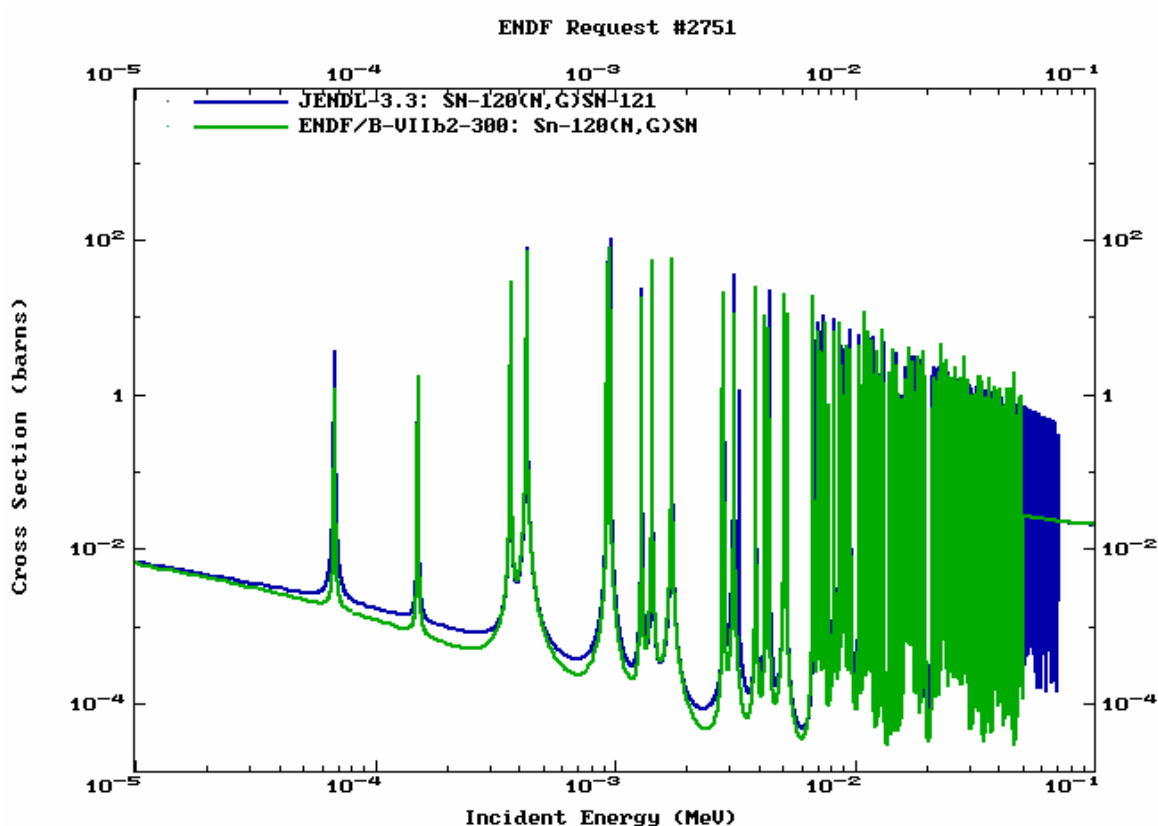


Рис. 22. Сравнение сечений захвата в области энергий определяющих вклад в резонансный интеграл захвата.

50.12. Олово-121

Период полураспада: (27.03 ± 0.04) часа.

Моды распада: β , 100%.

Спин основного состояния: $3/2^+$.

Единственный файл оценённых сечений имеющийся для ядра ^{121}Sn является файл из активационной библиотеки JEFF-3.1/A. Сечения приведённые в файле представлены на рисунке 23. В связи с отсутствием каких-либо других данных файл JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД¹⁰.

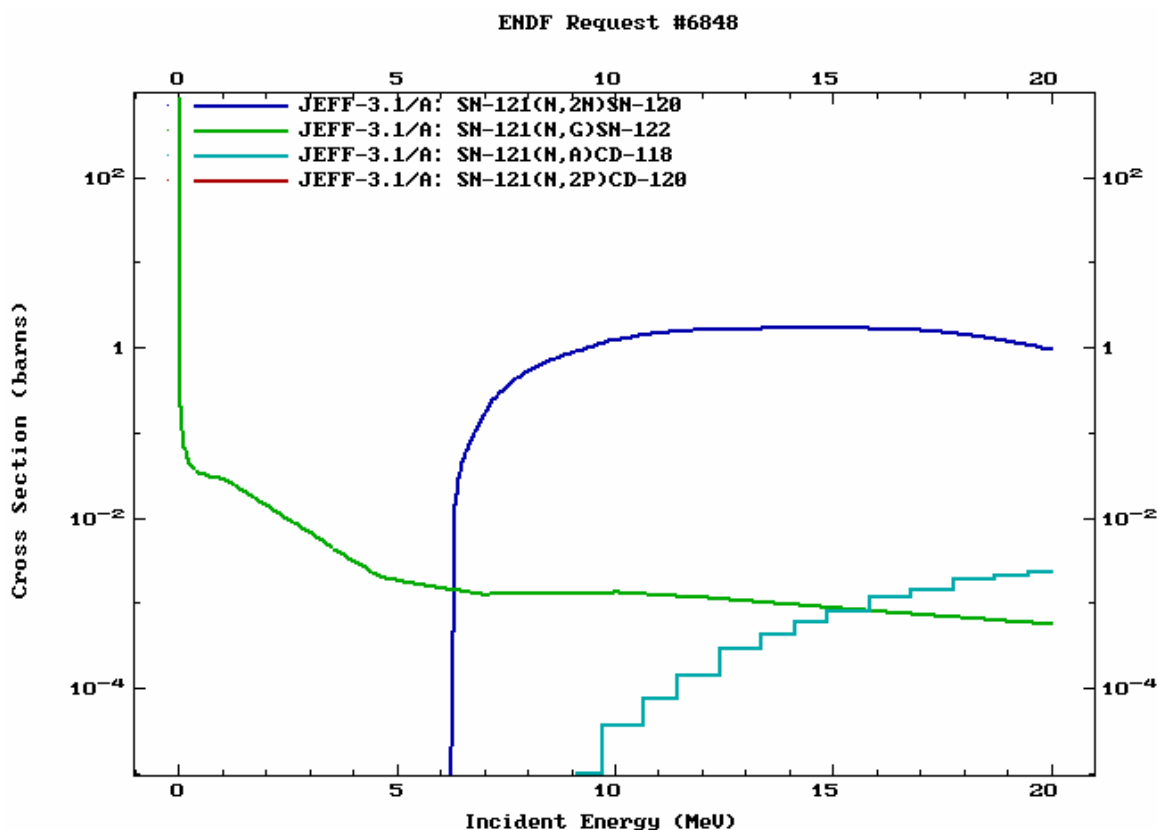


Рис. 23. Сечения в библиотеке JEFF-3.1/A.

50.13. Олово-121m

Период полураспада: (43.9 ± 0.3) года.

Моды распада: изомерный переход, 77.6%; β , 22.4%.

Спин изомерного состояния: $11/2^-$.

Единственный файл оценённых сечений имеющийся для ядра ^{121}Sn является файл из активационной библиотеки JEFF-3.1/A. Сечения приведённые в файле представлены на рисунке 24. В связи с отсутствием каких-либо других данных, файл JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД.

¹⁰ Сохранить в файле MF=9 только данные об образовании Sn-119m. Перенести сечение образования основного состояния из MF=3 в MF=10 – М.Николаев.

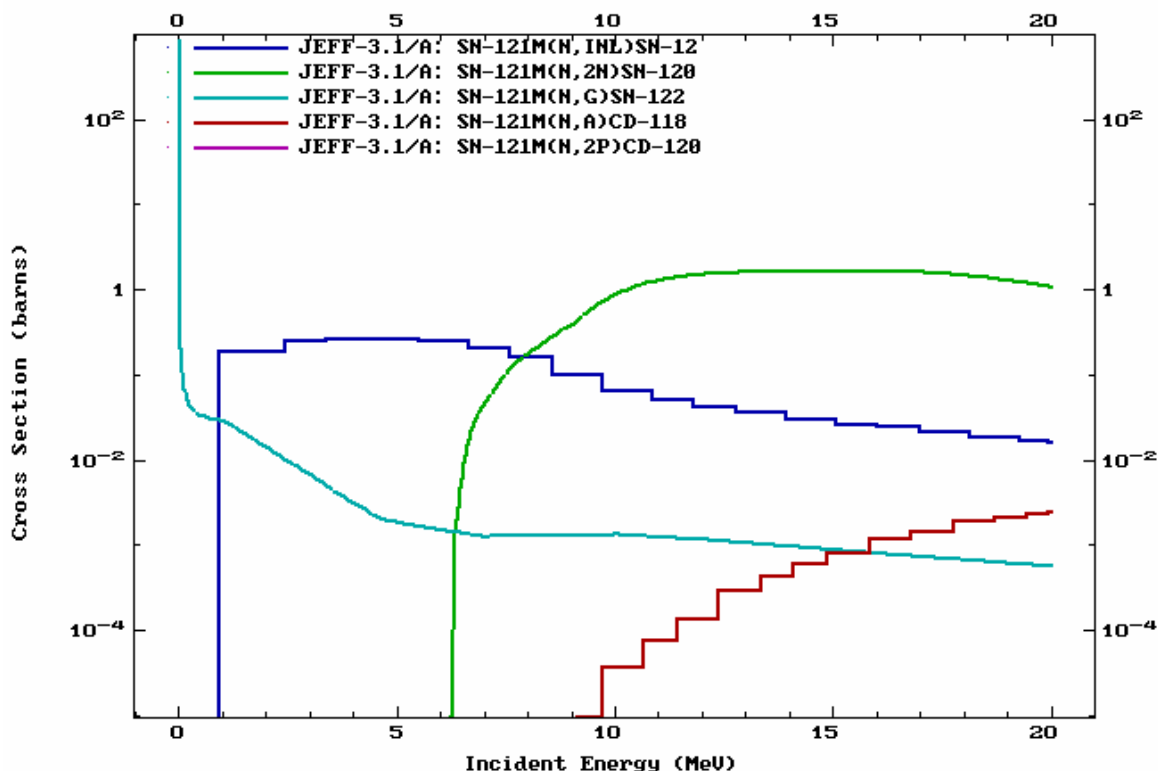


Рис. 24. Сечения в библиотеке JEFF-3.1/A.

50.14. Олово-122

Содержание в естественной смеси: $4.63 \pm 0.03\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

Оценка ENDF/B-VII.b2 основывается на результатах новых измерений выполненных на ORELA Карлтоном и др. (X4=13148, 1995), поэтому резонансная область существенно расширена Мугхабгхабом (таблица 17). Значения в тепловой точке были также подвергнуты ревизии (таблица 18). Сравнение сечений в области разрешённых резонансов для библиотек ENDF/B-VII.b2 и JENDL-3.2 показано на рисунке 25. Учитывая, что оценка Мугхабгхаба (2006) включает анализ последних экспериментальных данных, файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД¹¹.

Таблица 17. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|-----------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~29 кэВ, MLBW | 5 s-рез., 23 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~8.603903 кэВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~8.6039 кэВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~300 кэВ, MLBW | 68 s-рез., 287 p-рез. |

¹¹ Включить данные об образовании Sn-121m на основе EAF-2003. – М.Николаев.

Таблица 18. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K).

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|------------------|------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|
| JENDL-3.2 | 3.99507E+00 | 3.81134E+00 | 1.83731E-01 | 8.85827E-01 |
| JEF-2.2 | 4.38384E+00 | 4.20279E+00 | 1.81032E-01 | 7.08441E-01 |
| ENDF/B-VI | 4.38065E+00 | 4.19941E+00 | 1.81032E-01 | 7.12665E-01 |
| Mughabghab(Mu03) | - | - | 0.139±0.015 | 0.81±0.04 |
| ENDF/B-VII.b2 | 4.5884 | 4.4424 | 0.1460 | 0.655 |

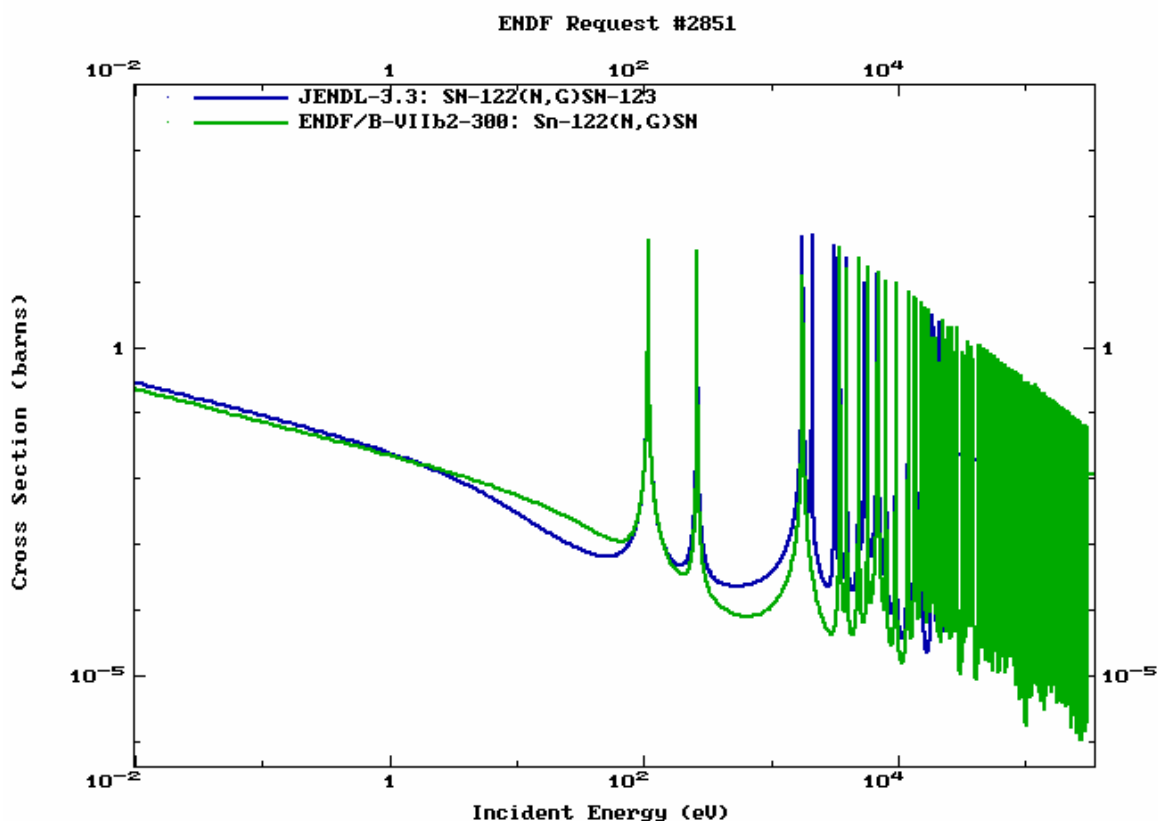


Рис. 25. Сравнение сечений захвата в резонансной области энергий.

50.15. Олово-123

Период полураспада: (129.2±0.4) дня.

Моды распада: β , 100%.

Спин основного состояния: 11/2⁻.

Экспериментальные данные для ядра ^{123}Sn отсутствуют. Последней оценкой выполненной в рамках модельных расчётов является оценка JENDL-3.2 которая после небольшой коррекции в соответствии с требованиями формата была включена в библиотеку ENDF/B-VII.b2. Сравнение сечений захвата из библиотеки ENDF/B-VI (=ENDF/B-V) и ENDF/B-VII.b2 (=JENDL-3.2) показано на рисунке 26. Так как модельные расчёты JENDL-3.2 основываются на современных значениях силовых функций и средних ширин, файл из

библиотеки ENDF/B-VII.b2, являющийся исправленной версией файла из JENDL-3.2, может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД¹².

ENDF Request #2858

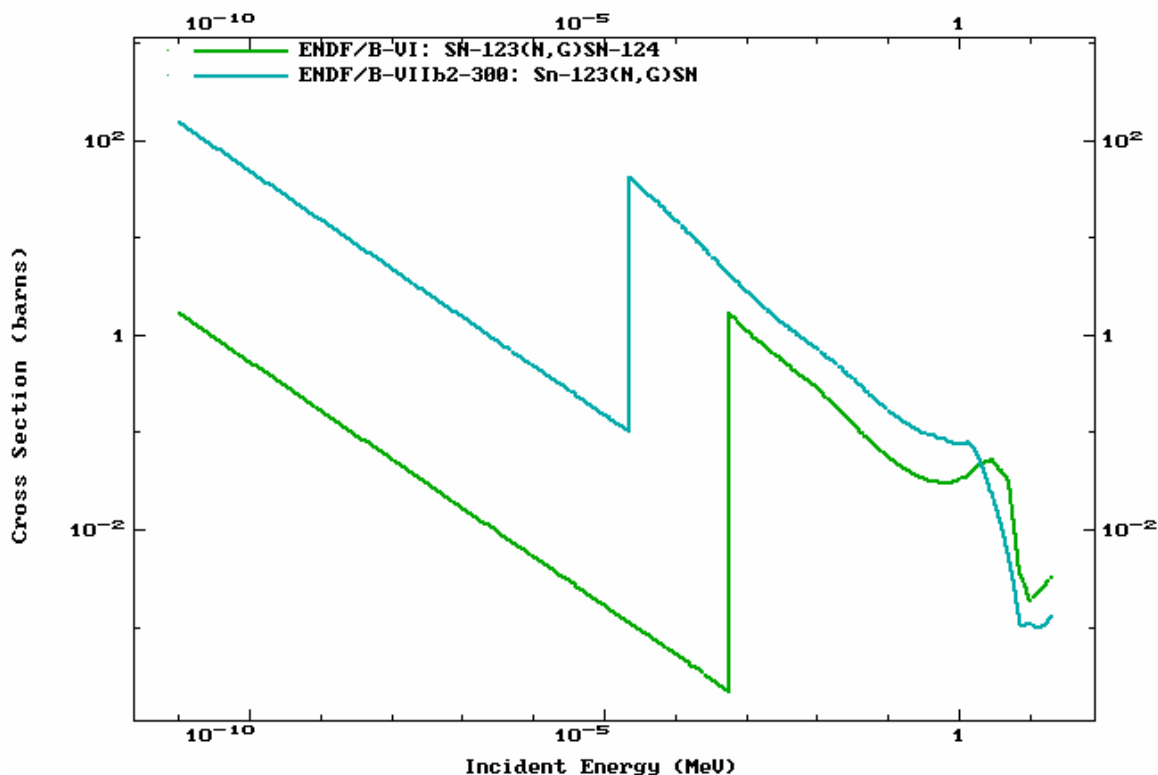


Рис. 26. Сравнение сечений захвата.

50.16. Олово-124

Содержание в естественной смеси: $5.79 \pm 0.05\%$.

Спин основного состояния: 0^+ .

Оценка ENDF/B-VII.b2 существенно расширена в резонансной области за счёт результатов новых измерений выполненных на ORELA Карлтоном и др. (X4=13605, 1996), поэтому резонансная область существенно расширена Мугхабгхабом (таблица 19). Значения сечений в тепловой точке практически не изменились, в то время как сечение резонансного захвата несколько возросло (таблица 20). Сравнение сечений в области разрешённых резонансов для библиотек ENDF/B-VII.b2 и JENDL-3.2 показано на рисунке 26. Учитывая, что оценка Мугхабгхаба (2006) включает анализ последних экспериментальных данных, файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД.

¹² Включить данные об образовании Sn-121m на основе EAF-2003. – М.Николаев.

Таблица 19. Характеристики области разрешённых резонансов. Число резонансов приведено только для 2-х последних оценок.

| Библиотека | Энергетический диапазон, формализм описания | Число резонансов |
|---------------|---|-----------------------|
| JENDL-3.2 | 10^{-5} эВ ~10.7 кэВ, MLBW | 1 s-рез., 9 p-рез. |
| JEF-2.2 | 10^{-5} эВ ~6.5067 кэВ, MLBW | |
| ENDF/B-VI | 10^{-5} эВ ~6.5067 кэВ, SLBW | |
| ENDF/B-VII.b2 | 10^{-5} эВ ~315 кэВ, MLBW | 35 s-рез., 156 p-рез. |

Таблица 20. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата (T=300K).

| Библиотека | Полное (барн) | Упругое (барн) | Захват (барн) | Резонансный интеграл (барн) |
|-------------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| JENDL-3.2 | 4.55368E+00 | 4.41818E+00 | 1.35499E-01 | 7.82079E+00 |
| ENDF/B-VI | 4.59022E+00 | 4.46009E+00 | 1.29954E-01 | 7.05961E+00 |
| JEF-2.2 | 4.59028E+00 | 4.46031E+00 | 1.29954E-01 | 7.05968E+00 |
| Mughabghab (Mu03) | | | 0.134±0.005 | |
| ENDF/B-VII.b2 | 4.9195 | 4.7858 | 0.13372 | 8.03 |

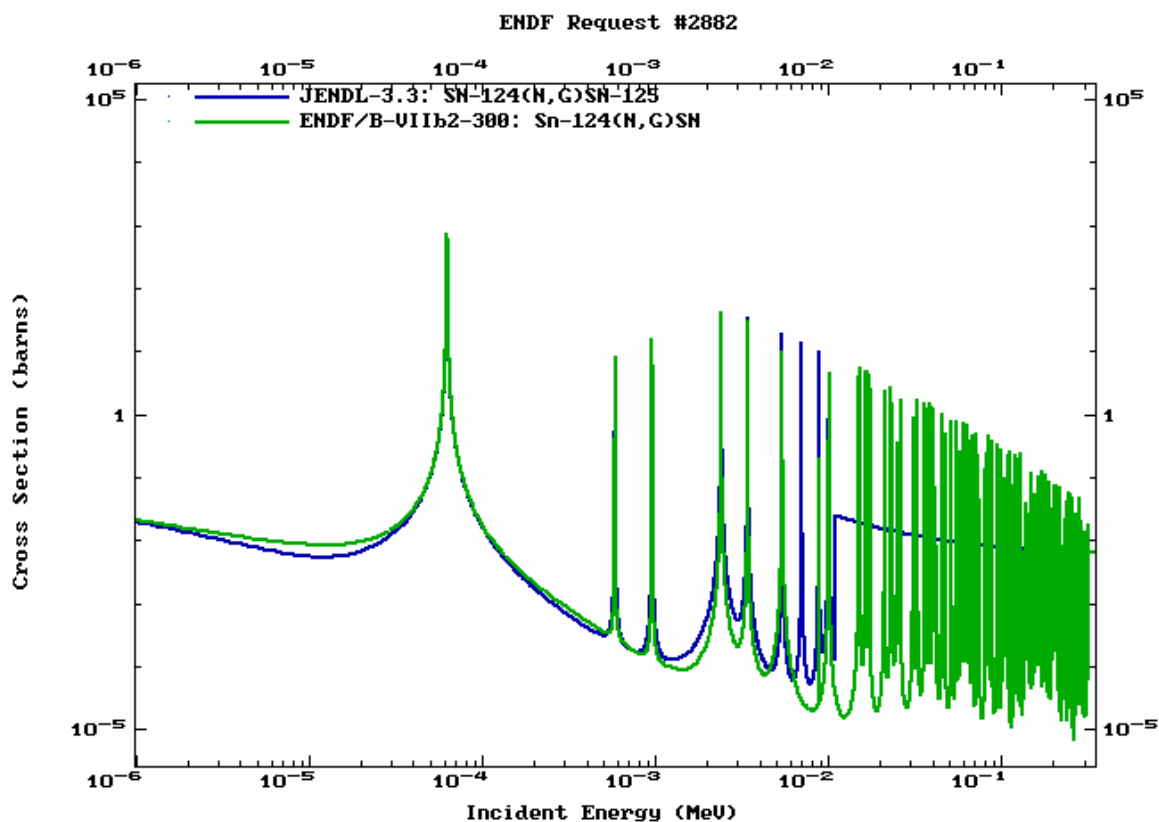


Рис. 27. Сравнение сечений захвата в резонансной области энергий.

50.17. Олово-125

Период полураспада: (9.64 ± 0.03) дня.

Моды распада: β , 100%.

Спин основного состояния: $11/2^-$.

Экспериментальные данные для ^{125}Sn отсутствуют. Последняя оценка для ^{125}Sn (ENDF/B-VII.b2) выполнена на основании модельных расчётов с учетом вклада различных механизмов реакций и использованием параметров оцененных из их анализа на соседних ядрах. В области разрешённых резонансов были введены фиктивные резонансы построенные исходя из систематик средних резонансных параметров для соседних ядер. На рисунке 28 приводится сравнение сечений радиационного захвата нейтронов для файлов библиотек ENDF/B-VII.b2 и ENDF/B-VI. Учитывая, что оценка ENDF/B-VII.b2 базируется на наиболее последовательном модельном описании сечений, файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД.

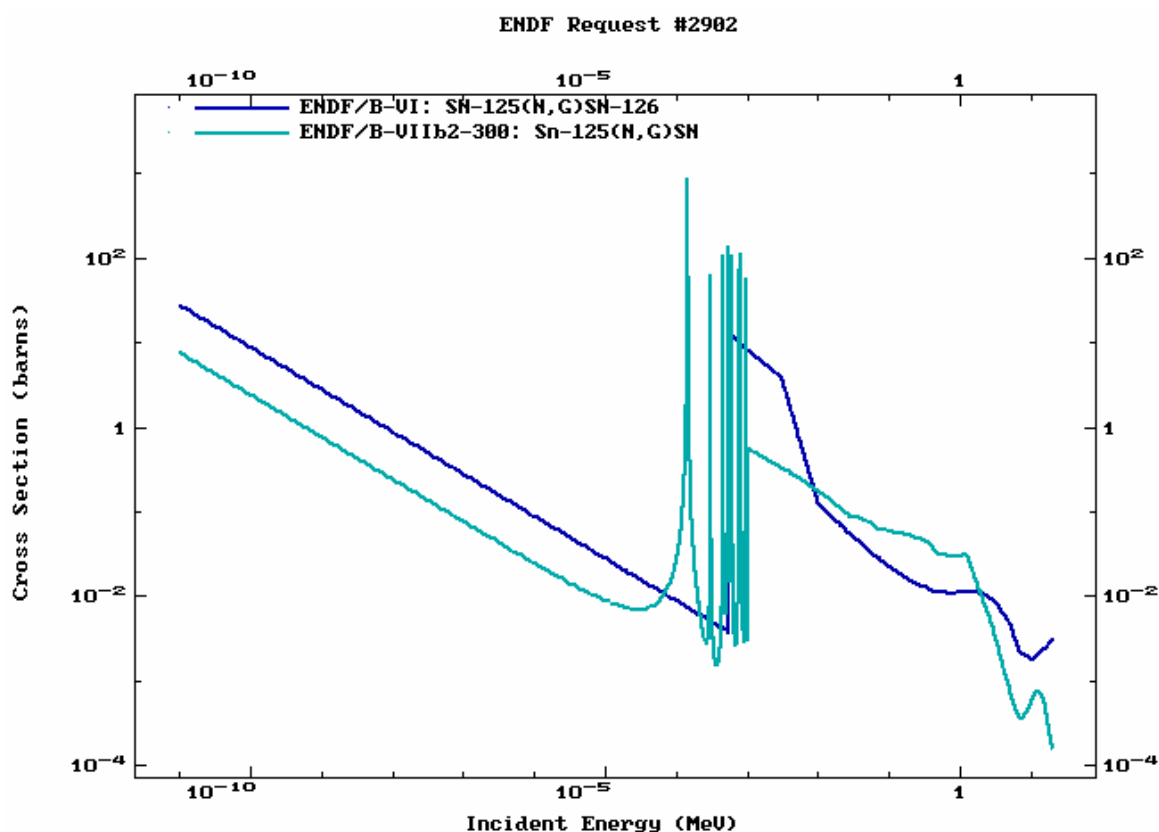


Рис. 28. Сравнение сечений радиационного захвата.

50.18. Олово-126

Период полураспада: $(2.30 \pm 0.14) \cdot 10^5$ лет.

Моды распада: β , 100%.

Спин основного состояния: 0^+ .

Экспериментальные данные по нейтронным сечениям для ^{126}Sn отсутствуют. Существуют две независимые оценки для ^{126}Sn , обе полученные в рамках модельных расчётов: оценка ENDF/B-V 1980 года, которая с незначительными изменениями и дополнениями была включена в ENDF/B-VI и JEFF-3.1, и оценка JENDL-3.2, которая была принята с небольшими поправками в формате в библиотеку ENDF/B-VII.b2. Сравнение сечения захвата из этих двух библиотек приведено на рисунке 29. Степень достоверности сечения для энергий нейтронов ниже нескольких кэВ мала в обеих библиотеках. Тем не менее учитывая, что оценка ENDF/B-VII.b2 (JENDL-3.2) опирается на систематику силовых функций и ширин учитывающую более поздние данные, файл из библиотеки ENDF/B-VII.b2 рекомендуется для библиотеки РОСФОНД.

Данные
для

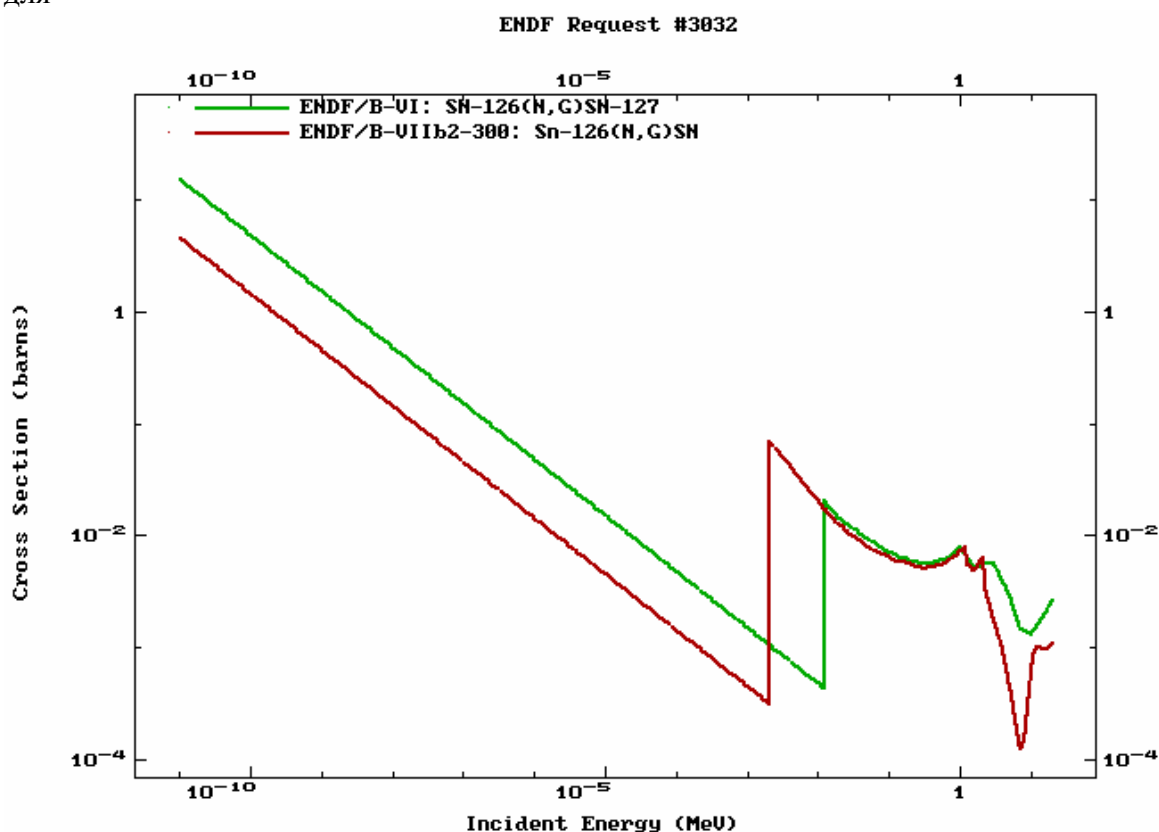


Рис. 29. Сравнение сечений радиационного захвата.

Литература

1. <http://www.nndc.bnl.gov/sg23/> (2006) и ссылки на этой странице.
2. S.F. Mughabghab, Atlas of Neutron Resonances, Elsevier Science (2006).

Общее заключение для изотопов олова

На основании вышеизложенного рекомендуется:

1. Для стабильных изотопов олова- ^{112}Sn , ^{114}Sn ¹³, ^{115}Sn , ^{116}Sn , ^{117}Sn , ^{118}Sn , ^{119}Sn , ^{120}Sn , ^{122}Sn , ^{124}Sn – принять в РОСФОНД файлы оцененных данных из ENDF/B-VII,

¹³ С учетом коррекции нейтроны ширин р-резонансов, сделанной в мае 2006 г.

содержащие последние рекомендации международной рабочей группы и уточненные Мухабхабом резонансные параметры. Файлы данных для изотопов с подчеркнутыми символами пополнить вероятностями образования долгоживущих изомеров, получив которые из данных файлов MF=10 для соответствующих изотопов из библиотеки EAF-2003.

2. Для радионуклидов ^{113}Sn , ^{123}Sn , ^{125}Sn , ^{126}Sn также принять файлы оцененных данных из ENDF/B-VIIb2.
3. Для ^{121}Sn , для которого данных в библиотеках общего назначения не содержится, а также для долгоживущих изомеров олова - $^{117}\text{Sn}^m$, $^{119}\text{Sn}^m$, $^{121}\text{Sn}^m$ включить в РОСФОНД данные из библиотеки EAF-2003 (=JEFF-3.1/A), сложив парциальные сечения реакций, приведенные в файле MF=10 и включив полученные суммы в виде дополнительных секций файла MF=3; данные об образовании долгоживущих изомеров представить в виде вероятностей в файлах MF=9, оставив в файлах MF=10 только сечения образования изомеров ядра-мишени.

Автор рекомендации

Проняев В.Г.