

57. ЛАНТАН

57.1. Лантан-137

Общие характеристики

Период полураспада: $(6 \pm 2) \cdot 10^4$ лет.

Моды распада: e^- 100%.

Спин основного состояния: $7/2^+$.

Файлы

JEFF-3.1/A – оценка 2003 года файла для активационной библиотеки основанная на данных из активационной библиотеки ADL-3.

Данные

Все нейтронные сечения для ^{137}La из JEFF-3.1/A имеющие значения выше 10^{-5} барн приведены на рисунке 1. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей.

Рекомендация

Файл ^{137}La из библиотеки JEFF-3.1/A может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД¹.

Автор рекомендации

Проняев В.Г.

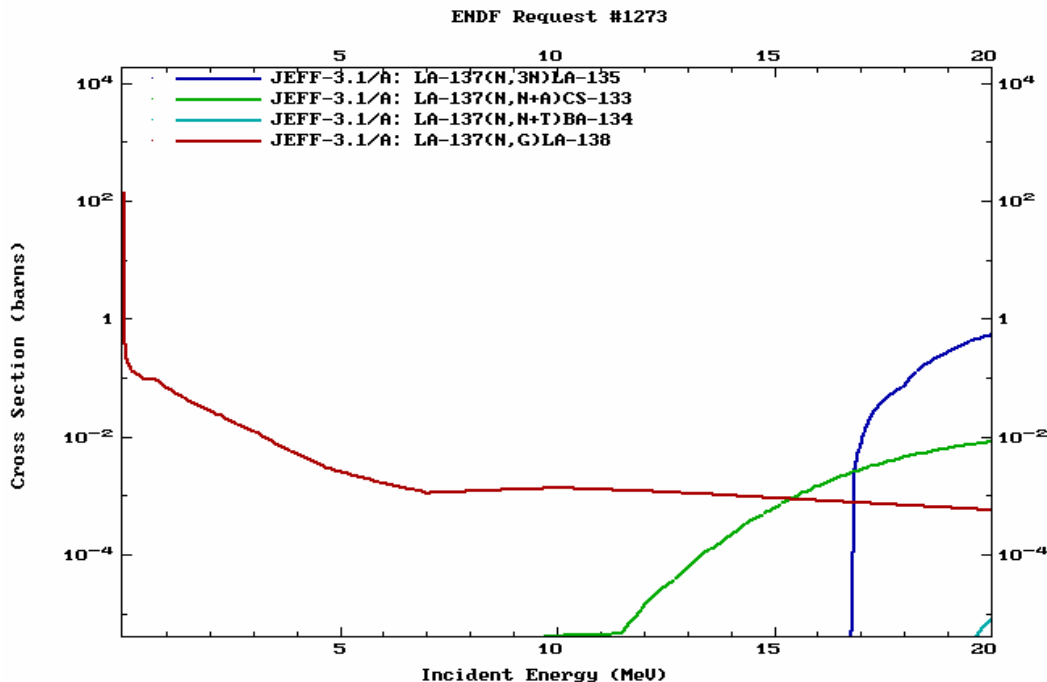


Рис. 1. Нейтронные сечения лантана-137 из библиотеки JEFF-3.1/A (EAF-2003).

¹ В файле MF=9 сохранить только данные об образовании долгоживущего Ba-135m (MT=105) – М.Николаев.

57.2. Лантан-138

Общие характеристики

Период полураспада: $(1.02 \pm 0.01) \cdot 10^{11}$ лет.

Содержание в естественной смеси: $0.090 \pm 0.001\%$.

Моды распада: e^- 65.6%, β 34.4%.

Спин основного состояния: 5^+ .

Файлы

ENDF/B-VII.2 и JEFF-3.1 – взяты без изменений из JENDL-3.3 (JENDL-3.2)

JENDL-3.3 (JENDL-3.2) – оценка выполненная рабочей группой JNDC FPND для JENDL-3.1 в 1990 году.

Тепловая и резонансная область энергий

Параметры в области разрешённых резонансов основываются на оценке Мугхабгхаба и др. [Mu81]. Отрицательный резонанс добавлен для воспроизводства сечения захвата в тепловой точке, равного 57.2 ± 5.7 барн [Mu81, Mi76]. Значения сечений в тепловой точке и резонансный интеграл захвата приведены в таблице 1.

Таблица 1. Тепловые сечения и резонансный интеграл (барн)

Библиотека/Эксперимент	Полное	Упругое	Захват	Рез. интеграл
JENDL-3.3	70.06	12.98	57.08	364
Мугхабгхаба и др. [Mu81]			57.2 ± 5.7	409 ± 90
Мугхабгхаба и др. [Mu03]			57.2 ± 5.7	362 ± 25
Михаэль и др. [Mi76]			57.2 ± 5.7	$384 \pm 90^{*)}$

*) Резонансный интеграл без учета $1/\nu$ вклада. Полный резонансный интеграл равен 410 ± 90 барн.

В области неразрешённых резонансов (330 эВ - 100 кэВ) использовались нейтронные силовые функции, рассчитанные по оптической модели. Среднее расстояние между уровнями выбиралось из условия описания сечения захвата в этой области полученного в расчётах по статистической модели (программа CASTHY).

Область быстрых нейтронов

Полное сечение, сечения упругого и неупругого рассеяния и сечения захвата были оценены в сферической оптической и статистической модели, используя программу CASTHY. Силовая функция для гамма-лучей была определена из систематики радиационной ширины (0.085 эВ) и среднего расстояния между уровнями (24.5 эВ). 15 возбуждённых уровней до энергии 0.836 МэВ использовались в расчётах неупругого рассеяния. Формула Бенци-Реффо [Be69]

использовалась в расчётах прямого-полупрямого захвата. Все другие сечения реакций оценены в модели предравновесного распада и многоступенчатого испарительного механизма реакций с использованием программы PEGASUS. Сечения реакций (n,p) и (n, α) нормировались на 5.16 мбарн [Fo86], и 2.29 мбарн [Fo86] при 14.5 МэВ. Энергетические распределения вторичных частиц оценивались по программе PEGASUS. Угловые распределения упругого и неупругого рассеяния оценивались по программе CASTHY. Для других реакций они предполагались изотропными.

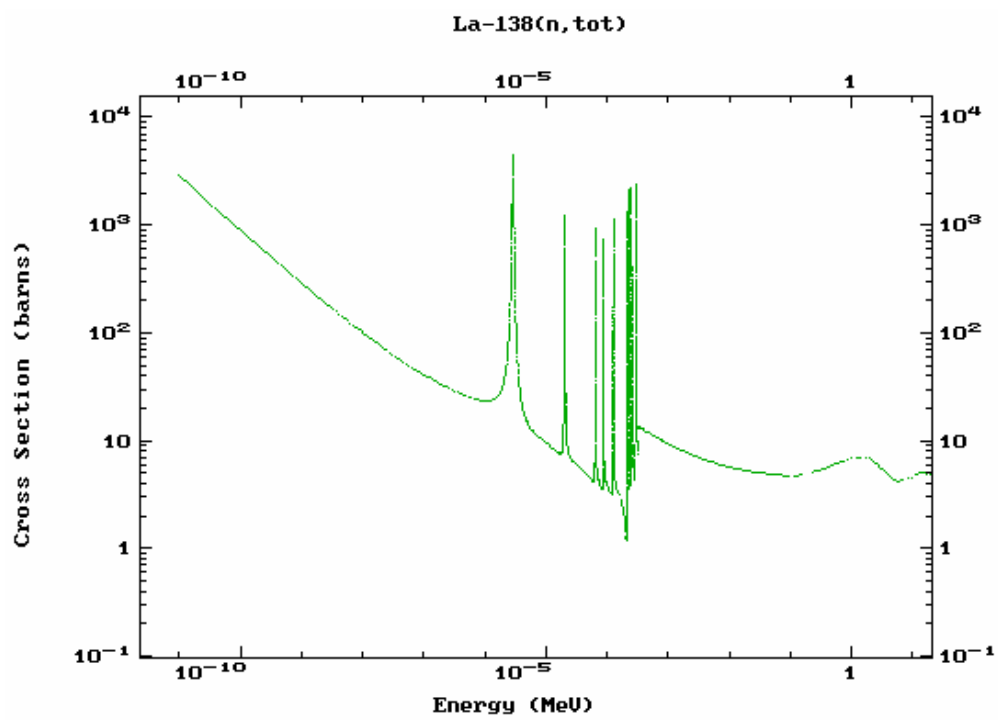


Рис. 1. Полное сечение в библиотеке JENDL-3.3.

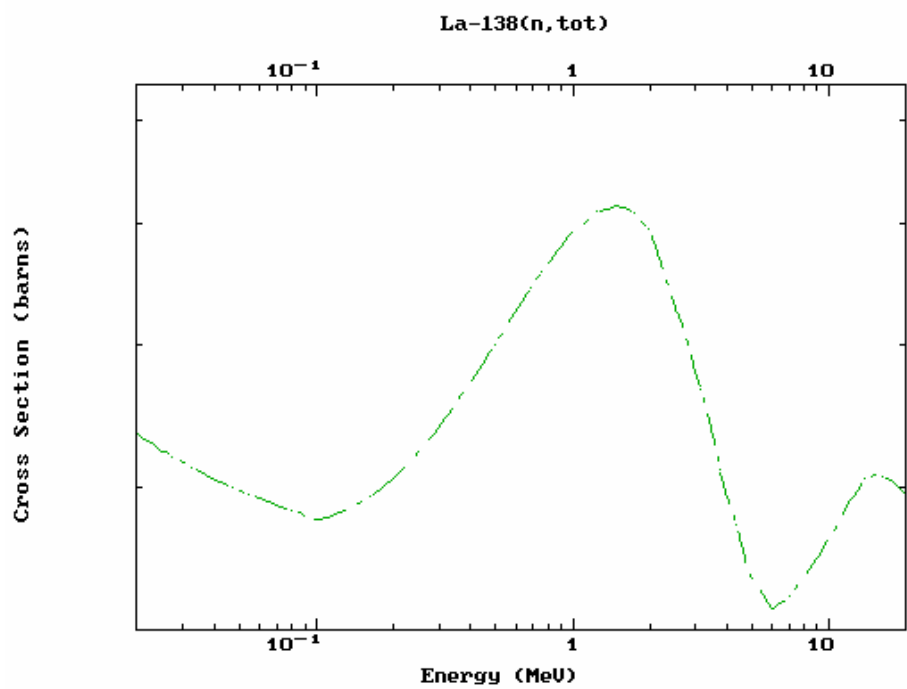


Рис. 2. Полное сечение в библиотеке JENDL-3.3 в быстрой области энергий.

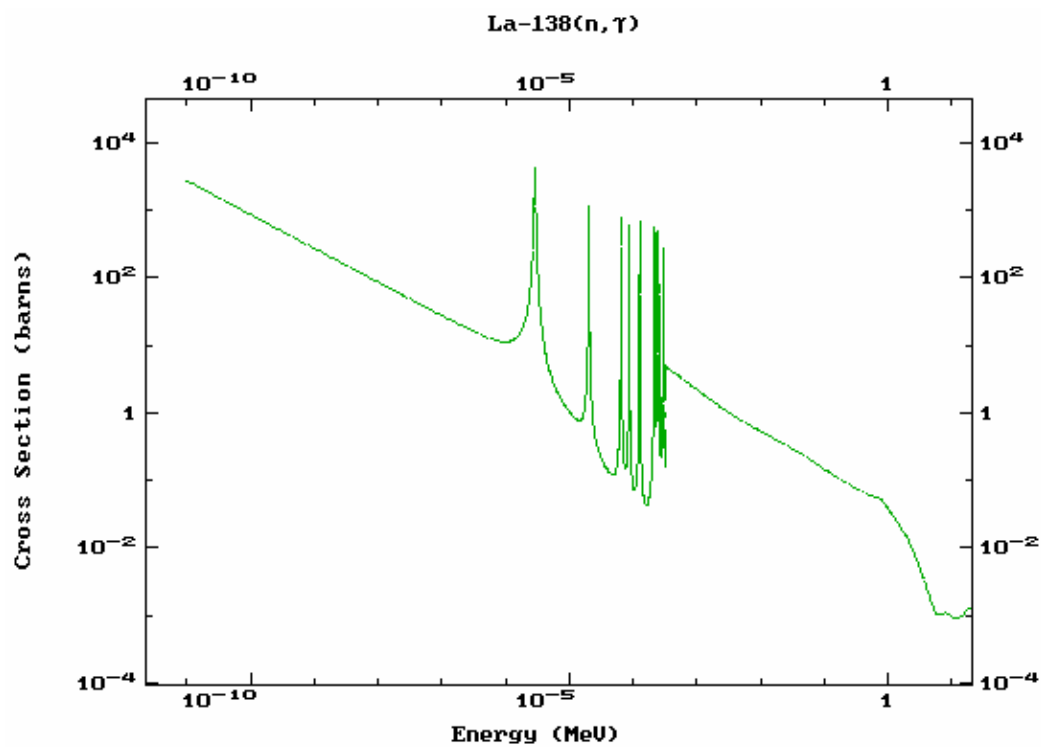


Рис. 3. Сечение радиационного захвата в библиотеке JENDL-3.3.

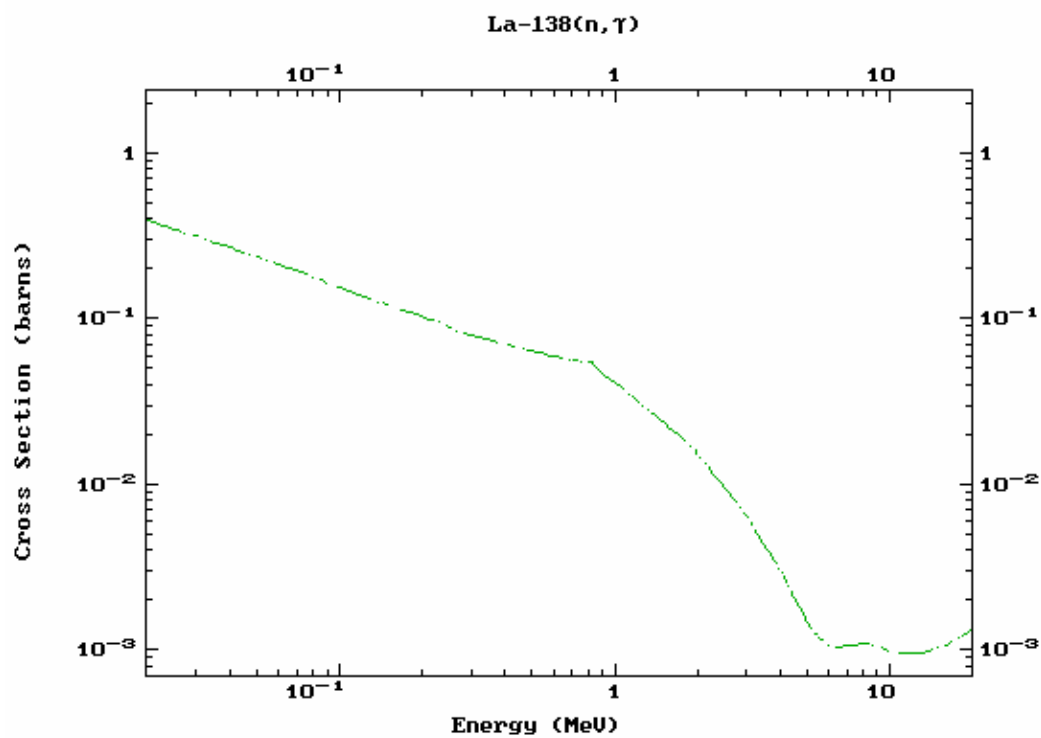


Рис. 4. Сечение радиационного захвата для быстрых нейтронов в библиотеке JENDL-3.3.

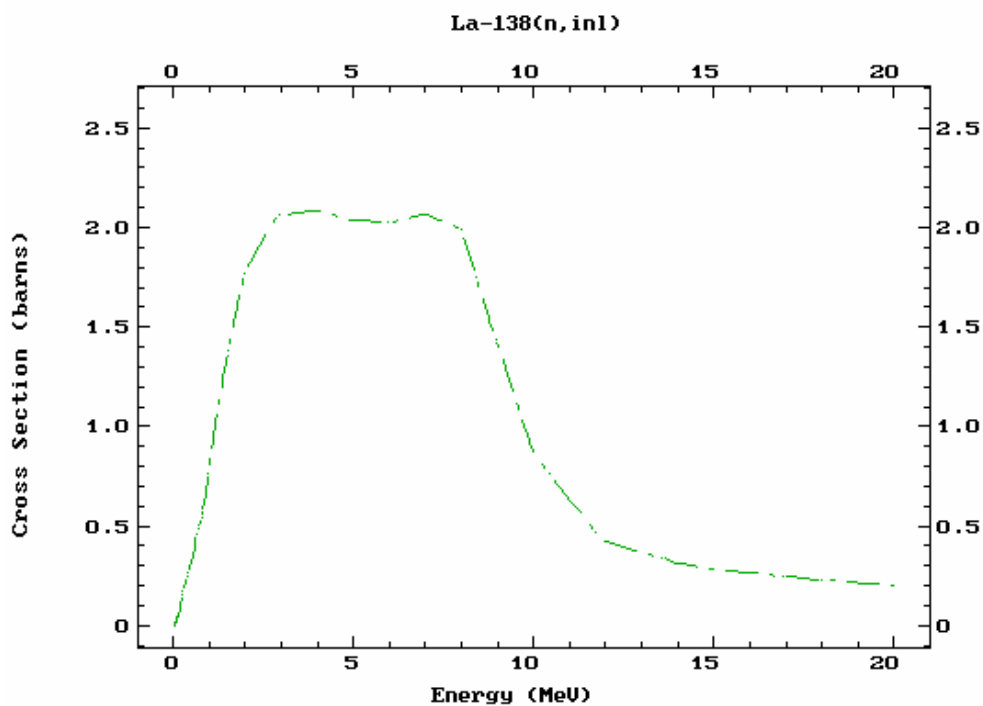


Рис. 5. Сечение неупругого рассеяния в библиотеке JENDL-3.3.

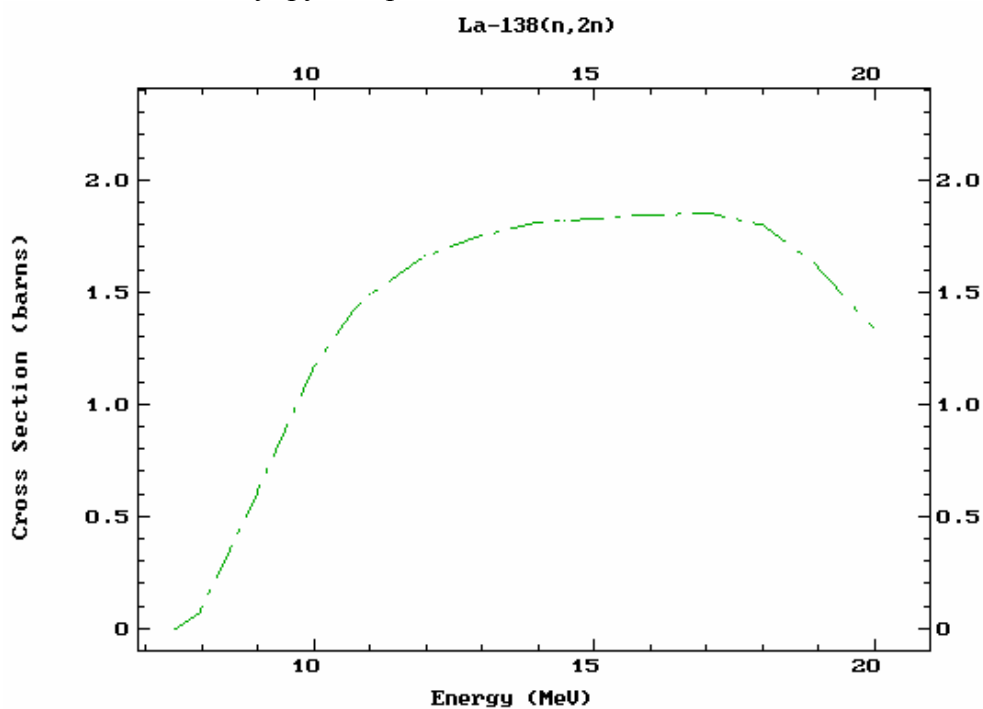


Рис. 6. Сечение (n,2n) в библиотеке JENDL-3.3.

Рекомендация

Оценка из библиотеки JENDL-3.3 рекомендуется для включения в библиотеку РОСФОНД.

Автор рекомендации

Проняев В.Г.

Литература

- [Be69] Benzi V. and Reffo G.: *CCDN-NW/10* (1969).
[Fo86] Forrest R.A.: *AERE-R 12419* (1986).
[Ka92] Kawai M. et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **29**, 195 (1992).
[Mi76] Michael H., Neubert A., Wagner R. and Blair A.J.: *Int. J. Appl. Radiat. Isotopes*, **27**, 533 (1976).
[Mu81] Mughabghab S.F. et al.: *Neutron Cross Sections, Vol. 1, part A*, Academic press (1981).
[Mu03] Mughabghab S.F.: "Thermal Neutron Capture Cross Sections Resonance Integrals and g-Factors," *INDC(NDS)-440* (2002)

57.3. Лантан-139

Общие характеристики

Содержание в естественной смеси: 99.91%.
Спин основного состояния: $7/2^+$.

Файлы

ENDF/B-VI – оценка выполнена Шентером и др. в 1980 году. Ревизия оценки выполнена в 1991 году.

ENDF/B-VII.b2 – оценка 2005 года получена объединением новой оценки Мугхабгхаба (2006) для области разрешённых резонансов с оценкой CENDL-3 в области неразрешённых резонансов и быстрой области энергий.

JENDL-3.3 – оценка 1984 года рабочей группы JNDC FPND для библиотеки JENDL-2. Ревизия оценки выполнена в 1990 [Ka92] для JENDL-3.1 и в 1993 [Ka01] для JENDL-3.2. JENDL-3.3 практически идентична JENDL-3.2.

JEFF-3.0 (JEF-2.2) – данные взяты из оценки RCN-3. Резонансные параметры были переоценены в 1987 году и сечения с вылетом заряженных частиц были добавлены в 1989 году из библиотеки REAC-ECN-4.

CENDL-3 – новая оценка выполненная в 1999 году Жао и др. и пересмотренная в 2001 году.

Тепловая и резонансная область энергий

Верхняя граница областей разрешённых и неразрешённых резонансов в разных библиотеках приведена в Таблице 1.

Таблица 1. Характеристики областей разрешённых (PP) и неразрешённых (NP) резонансов в разных библиотеках. Формализм используемый в области разрешённых резонансов: SLBW – одноуровневый Брейт-Вигнер, MLBW – многоуровневый Брейт-Вигнер.

Библиотека	Верхняя граница PP	Верхняя граница NP
ENDF/B-VI	9.0293 кэВ, SLBW	-
JENDL-3.3	15 кэВ, MLBW	100 кэВ
JEFF-3.1	10.801 кэВ, MLBW	250 кэВ
CENDL-3	15 кэВ, MLBW	100 кэВ

Сравнение тепловые сечений и резонансных интегралов захвата из разных библиотек с имеющимися экспериментальными данными приведены в таблице 2.

Таблица 2. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата для ^{139}La . Все значения приведены в барнах.

Библиотека/Эксперимент	Полное	Упругое	Захват	Рез. интеграл
ENDF/B-VII	19.208	10.169	9.039	11.4
ENDF/B-VI	21.447	12.452	8.995	12.0
JENDL-3.3	19.060	10.130	8.930	11.7
JEFF-3.0	19.443	10.512	8.931	11.9
CENDL-3	18.371	10.130	8.241	11.5
Mughabghab et al. [Mu81]	--	10.13±0.22	8.93±0.04	11.8±0.8
Mughabghab [Mu01]	--	--	8.24±0.05	--
(Экспериментальные данные после 1970)				
De Corte et al. [De71]				11
Ryves et al. [Ry71]			9.03±0.33	
Steinnes [St72]				11.8±1.2
Alian et al. [Al73]				17.1
Van der Linden et al. [Va74]				11.6±0.7
Gleason [Gl75]			9.15±0.25 ^{*1}	12.5±0.4
Mannhart [Ma75]			8.933±0.036	
Steinnes [St75]				11.2±0.5
Takiue et al. [Ta78]			8.63±0.34 ^{*1}	
Heft [He78]				12.6±0.6

*1 Усреднённое по спектру Максвелла

Оценка Мугхабгхаба 2006 года [Mu06], включённая в файл ENDF/B-VII является последней оценкой резонансных параметров. На рисунках 1 – 3 показаны статистические распределения, построенные для s-резонансов. Как видно, имеются лишь незначительные пропуски слабых s-резонансов. Для p- волны, пропуски резонансов с малыми нейтронными ширинами, по сравнению с предсказаниями статистической модели, являются более заметными, как видно даже из рисунка 5 суммы числа резонансов от энергии нейтрона. Но вклад от этих слабых резонансов в сечения мал и может не учитываться. Описание сечений в области неразрешённых резонансов в JENDL-3.3 (те же параметры приводятся в CENDL-3 и ENDF/B-VII) является согласованным как с областью разрешённых резонансов в ENDF/B-VII, так и с областью нейтронов быстрых энергий в CENDL-3 и ENDF/B-VII. Поэтому оценка ENDF/B-VII является наилучшей для тепловой области и области разрешённых и неразрешённых резонансов.

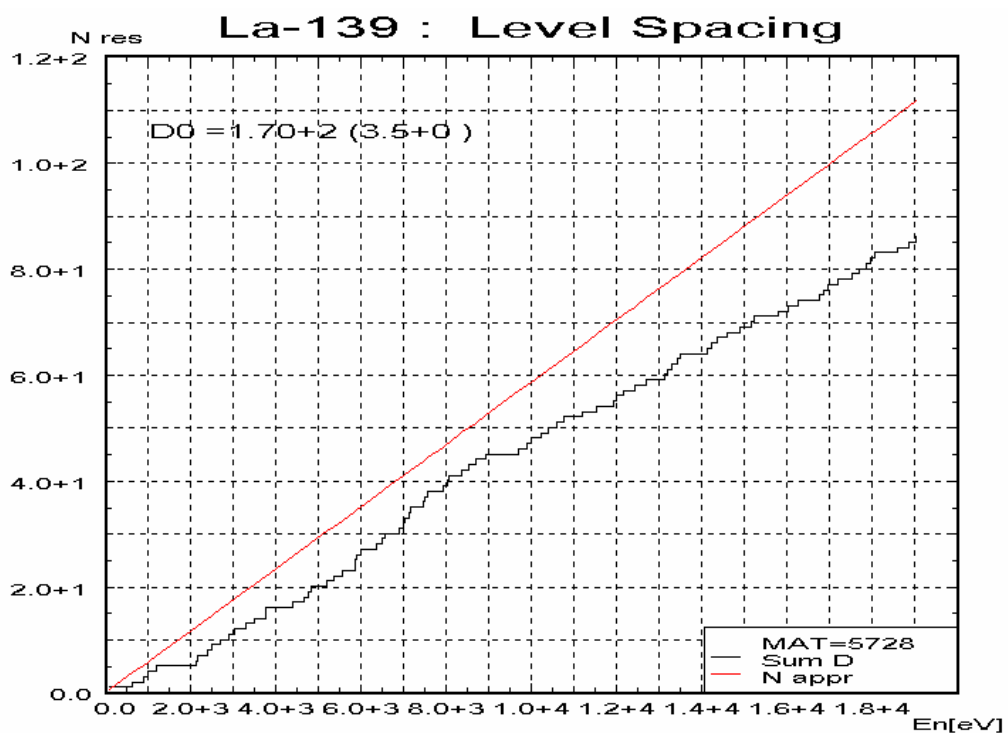


Рис. 1. Нарастающая сумма числа s- резонансов в зависимости от верхней границы области разрешённых резонансов.

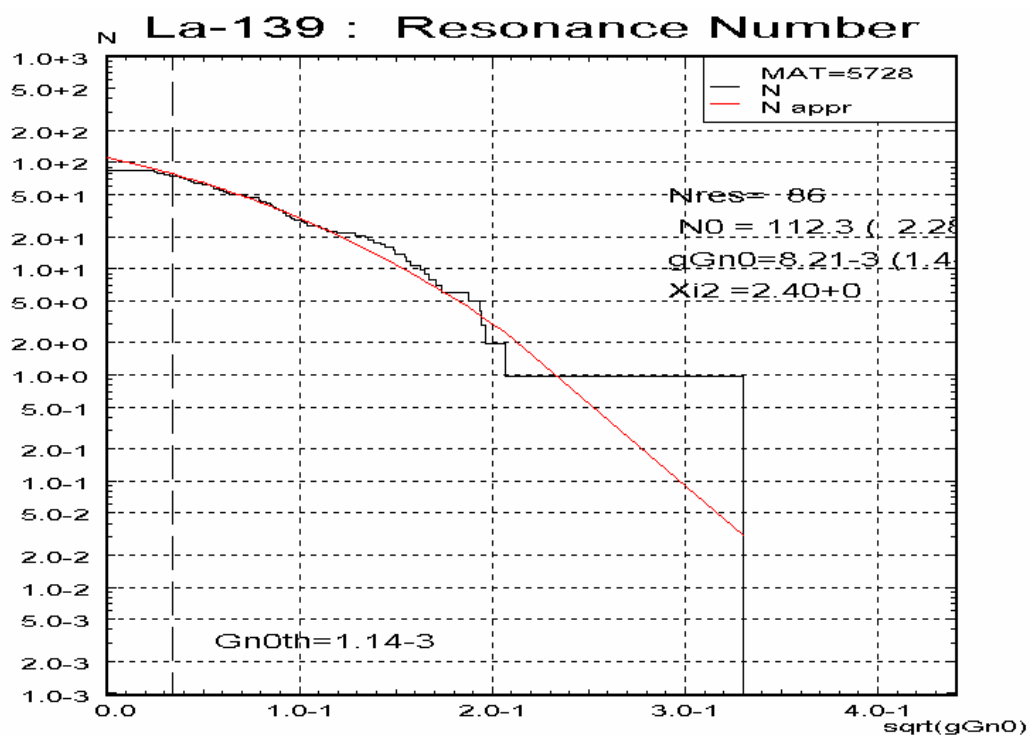


Рис. 2 . Распределение числа s- резонансов от их приведённой нейтронной ширины.

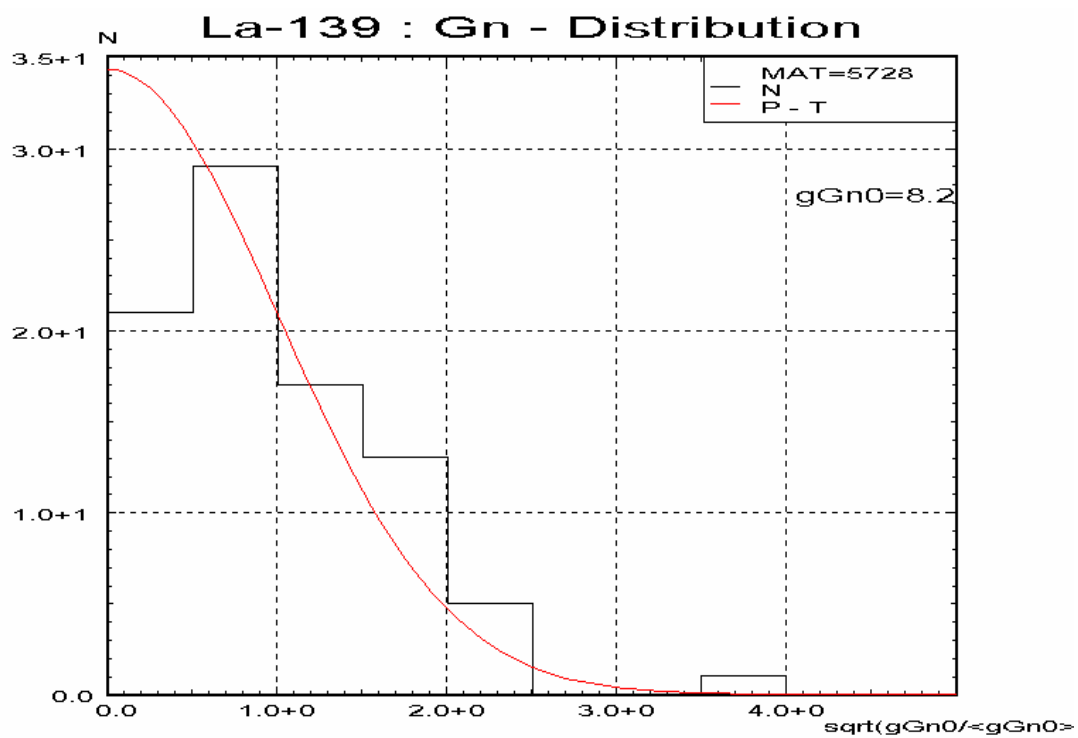


Рис. 3 . Распределение Портера-Томаса для приведённых нейтронных ширин s-резонансов.

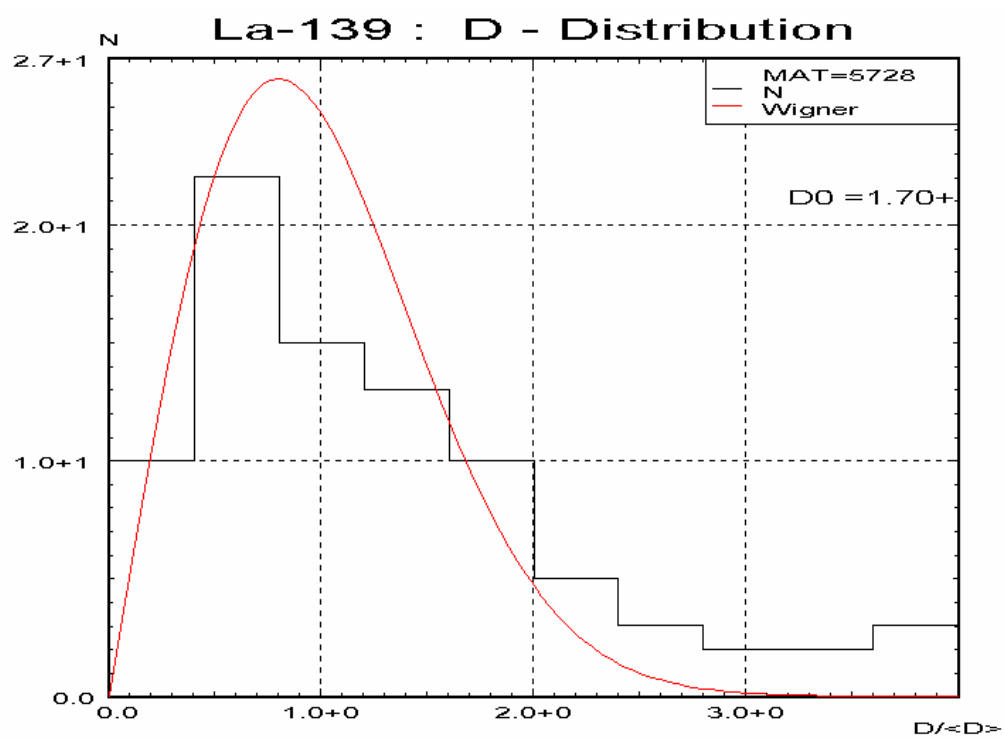


Рис. 4 . Распределение Вигнера для расстояний между уровнями s- резонансов.

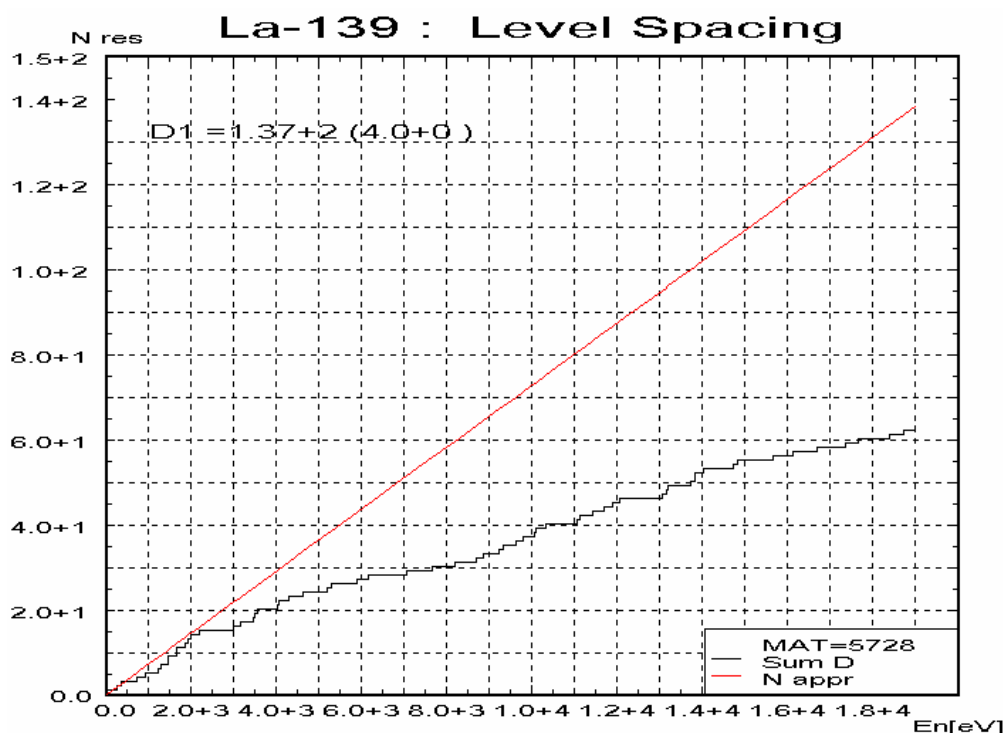


Рис. 5. Нарастающая сумма числа р- резонансов в зависимости от верхней границы области разрешённых резонансов.

Область быстрых нейтронов

ENDF/B-VI – модельные оптико-статистические расчёты выполнены с использованием оптического потенциала Молдауера [Mo63]. Сечение неупругого рассеяния рассчитано по программе COMNUC-3 с учётом 19 дискретных уровней. Сечение захвата рассчитано по программе NCAP. Пороговые реакции не приводятся.

Все угловые распределения вторичных частиц заданы изотропными в лабораторной системе координат. Испарительные спектры заданы для континуума уровней неупругого рассеяния.

JENDL-3.3 – сечения полного, упругого и неупругого рассеяния и сечение захвата рассчитаны в рамках сферической оптической модели по программе CASTHY. Силовая функция для канала захвата подбиралась таким образом, чтобы описать сечение захвата в 38 мбарн при 30 кэВ [Mu78]. 12 уровней неупругого рассеяния учитывались в расчётах. Упрощённая формула Бенци и Реффо [Be69] использовалась в оценке прямого-полупрямого захвата. Сечения других реакций рассчитывались по программе PEGASUS с учётом многоступенчатого испарительного и предравновесного механизмов реакции. Сечения реакций (n,p) and (n,α) нормировались к значениям 12 мбарн и 2.5 мбарн при энергии 14.5 МэВ рекомендованные соответственно Форрестом [Fo86] и Вёльффе и др. [Wo88].

Угловые распределения упругого и неупругого рассеяния были рассчитаны по программе CASTHY, а энергетические распределения вторичных частиц – по программе PEGASUS.

JEFF-3.0 – результаты расчёта по оптической модели с потенциалом Игараши. Сечения с вылетом заряженных частиц взяты из библиотеки REAC-ECN-4.

CENDL-3 – результаты расчёта по программе SUNF. Угловые и энергетические распределения вторичных частиц рассчитаны по программам SUNF и DWUCK.

ENDF/B-VII – оценка взята из CENDL-3 по рекомендации SG23 WPEC.

Результаты сравнения различных оценок с имеющимися экспериментальными данными для полного сечения и сечения захвата показаны на рисунках 6 – 7. Сравнение этих и других сечений, а также учитывая полноту представления данных, можно считать CENDL-3 (ENDF/B-VII) наилучшей оценкой в области энергий быстрых нейтронов.

Рекомендация

Учитывая изложенное выше, оценка из библиотеки ENDF/B-VII может быть рекомендована для включения в библиотеку РОСФОНД.

Автор рекомендации

Проняев В.Г.

Литература

- [Al73] Alian A. et al.: *J. Radioanal. Chem.*, **15**, 535 (1973) EXFOR20644.
- [Be69] Benzi V. and Reffo G.: *CCDN-NW/10* (1969).
- [De71] De Corte F. et al.: *J. Radioanal. Chem.*, **9**, 9 (1971) EXFOR20646.
- [Fo86] Forrest R.A.: *AERE-R* 12419 (1986).
- [Gl75] Gleason G.: *Radiochem. Radioanaly. Lett.*, **23**, 317 (1975) EXFOR10644.
- [Ha76] Hacken G. et al.: *Phys. Rev.*, **C13**, 1884 (1976).
- [He78] Heft R.E.: 78Mayag, 495 (1978) EXFOR12866.
- [Ka92] Kawai M. et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **29**, 195 (1992).
- [Ka01] Kawai M. et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **38**, 261 (2001).
- [Ma75] Mannhart W.: *Z. Phys.*, **A272**, 273 (1975) EXFOR20610.
- [Mo63] Moldauer P.A.: *Nucl. Phys.*, **47**, 65 (1963).
- [Mo69] Morgenstern J. et al.: *Nucl. Phys.*, **A123**, 561 (1961).
- [Mu73] Mughabghab S.F. and Garber D.I.: *BNL-325* 3rd Edition (1973).
- [Mu77] Musgrove A.R. de L. et al.: *Aust. J. Phys.*, **30**, 599 (1977).
- [Mu78] Musgrove A.R. de L. et al.: 78Harwell, 449 (1978).
- [Mu81] Mughabghab S.F. et al.: *Neutron Cross Sections, Vol. 1, part A*, Academic press (1981).
- [Mu01] Mughabghab S.F.: *INDC(NDS)-424*, p.69 (2001).
- [Mu06] Mughabghab S.F.: *Atlas of Neutron Resonances*, Elsevier Publ. (2006).
- [Na83] Nakajima Y. et al.: *J. Nucl. Sci. Technol.*, **20**, 183 (1983).
- [Ry71] Ryves T.B. et al.: *J. Nucl. Energy*, **25**, 129 (1971) EXFOR20791.
- [Sh67] Shwe H. et al.: *Phys. Rev.*, **159**, 1050 (1967).
- [St72] Steinnes E.: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **34**, 2699 (1972) EXFOR20188.
- [St75] Steinnes E.: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **37**, 1591 (1975) EXFOR20635.
- [Ta78] Takiue M. et al.: *Nucl. Instrum. Methods*, **148**, 157 (1978) EXFOR20853.
- [Va74] Van der Linden R. et al.: *J. Radioanal. Chem.*, **20**, 695 (1974) EXFOR20645.
- [Wo88] Woelfle R. et al.: *Appl. Radiat. Isot.*, **39**, 497 (1988).

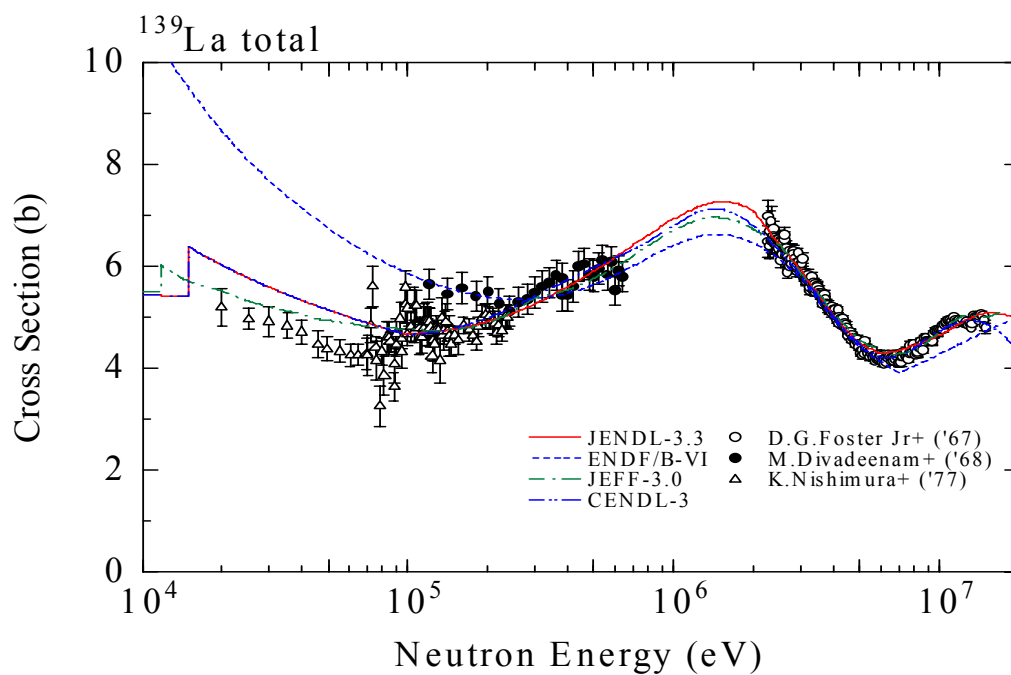


Рис. 6. Полное сечение ^{139}La в быстрой области энергий.

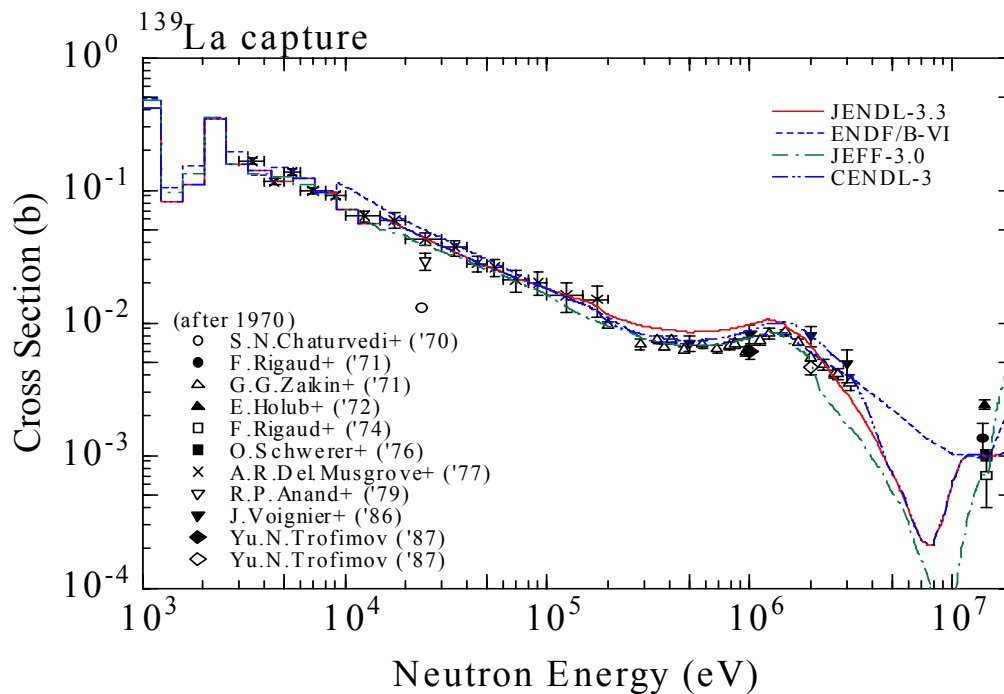


Рис. 7. Сечение захвата ^{139}La в быстрой области энергий.

57.4. Лантан-140

Общие характеристики

Период полураспада: (1.6781 ± 0.0003) дней.

Моды распада: β 100%.

Спин основного состояния: 3^- .

Файлы

ENDF/B-VI – оценка Шентера и Шмитроса 1974 года.

JEFF-3.0 (JEF-2.2) - взята из ENDF/B-V.

ENDF/B-VII – новая оценка (2005 – 2006) Хермана, Обложинского и Мугхабгхаба.

Тепловая и резонансная область энергий

Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата для ^{140}La приведённый в разных библиотеках в сравнении с имеющимися экспериментальными данными показаны в таблице 1. Необходимо отметить, что экспериментальные данные по полному сечению и по сечению упругого рассеяния отсутствуют и низкое сечение упругого рассеяния в ENDF/B-VII обусловлено как отсутствием вклада от отрицательных резонансов, так и небольшим по величине радиусом потенциального рассеяния (5 ферми), выбранным близким к радиусу на ^{139}La .

Область разрешенных резонансов в ENDF/B-VII простирается до 999 эВ и содержит параметры 15 резонансов, из которых последний лежит именно при 999 эВ и имеет полную ширину 1 эВ.

Область неразрешенных резонансов простирается до порога неупругого рассеяния – 30.178 кэВ.

Table 1. Тепловые сечения и резонансный интеграл захвата для ^{140}La . Все величины в барнах.

Библиотека/Эксперимент	Полное	Упругое	Захват	Рез. интеграл
ENDF/B-VII	4.680	1.970	2.700	68.9
ENDF/B-VI	7.630	4.930	2.700	65.1
JEFF-3.0	7.630	4.930	2.700	65.1
Mughabghab et al. [Mu73]			2.7±0.3	
Mughabghab et al. [Mu81]			2.7±0.3	69±4
Katcoff et al. [Ka49]			3.1±1.0*	
O'brien et al. [Ob67]			2.7±0.3	69±4 (0.54 эВ)

*) Усреднённое по спектру Максвелла.

Область быстрых нейтронов

Имеет смысл рассмотреть только результаты оценки ENDF/B-VII, как последней и выполненной с использованием оттестированного программного комплекса EMPIRE-2 с использованием параметров из библиотеки оценённых параметров RIPL-2. Все другие оценки неполные или существенно устаревшие.

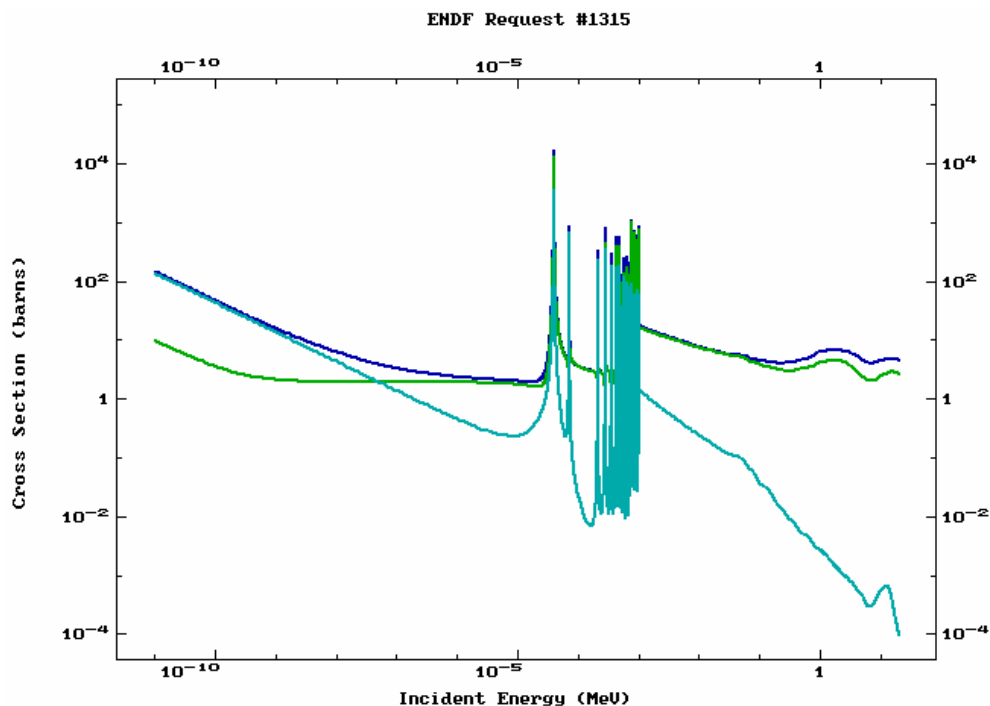


Рис. 3. Полное, упругое сечение и сечение захвата из библиотеки ENDF/B-VII.

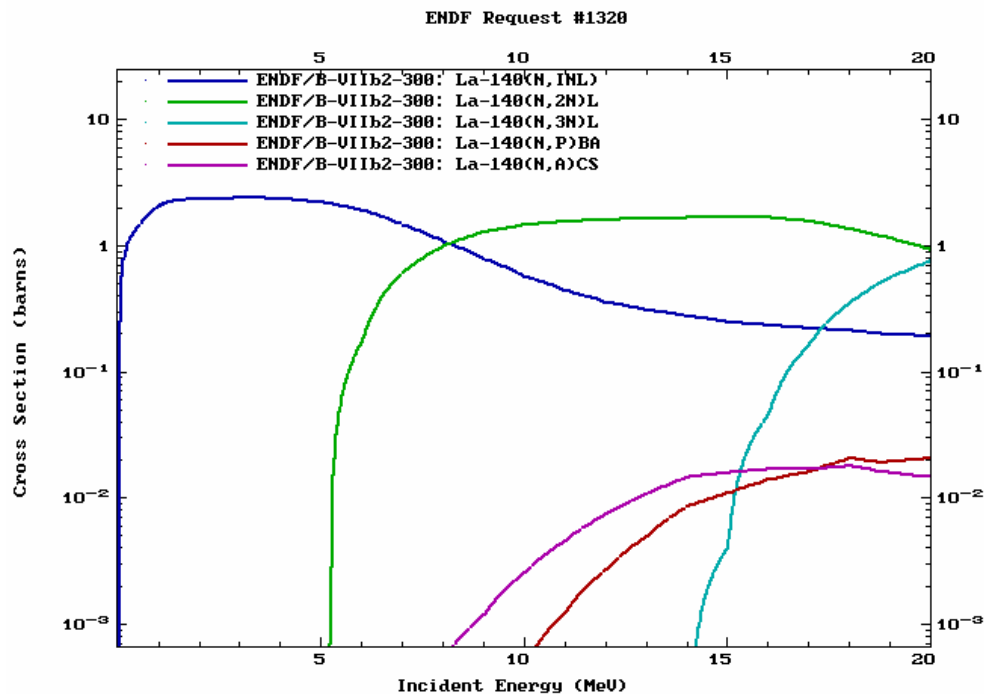


Рис. 4. Сечения реакций из библиотеки ENDF/B-VII.

На рисунках 3 и 4 показаны основные сечения библиотеки ENDF/B-VII. Экспериментальные данные отсутствуют. Сечения не имеют каких-либо аномальных нефизических зависимостей.

Рекомендация

Файл ^{140}La из библиотеки ENDF/B-VII может быть рекомендован для включения в библиотеку РОСФОНД. Целесообразно сместить границу области разрешенных и неразрешенных резонансов до 1000эВ.

Литература

- [Ka49] Katcoff S. et al.: *J. Chem. Phys.*, **17**, 421 (1949).
- [Mu73] Mughabghab S.F. and Garber D.I.: "Neutron Cross Sections, Vol. I," *BNL-325* 3-rd Edition (1973).
- [Mu81] Mughabghab S.F. et al.: *Neutron Cross Sections, Vol. 1, part A*, Academic press (1981).
- [Ob67] O'brien H.A. et al.: *J. Inorg. Nucl. Chem.*, **29**, 584 (1967).